

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**REKONSTRUKCE VĚTRACÍHO SYSTÉMU
BYTOVÉHO DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JAN DOLEJŠ

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Papež, CSc.

2015/2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dolejš Jméno: Jan Osobní číslo: 409748
Zadávající katedra: Katedra technických zařízení budov
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Rekonstrukce větracího systému bytového domu

Název bakalářské práce anglicky: Reconstruction of ventilation system in residential house

Pokyny pro vypracování:

Zpracování projektu systému vzduchotechniky ve stávajícím bytovém domě. Analýza objektu a zhodnocení současného stavu. Výpočet množství větracího vzduchu dle požadavků prostředí. Návrh koncepce nového větracího systému. Návrh vzduchotechnické jednotky. Posouzení z pohledu tlakových ztrát. Vypracování výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

Gebauer, G., et. al. Vzduchotechnika, Era, 2005
portál Tzb-info.cz

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Karel Papež, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 29.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

29.2.2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 20. 5. 2016

Jan Dolejš

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Karlu Papežovi, CSc. za odborné rady, vstřícnosti a ochotu, které mi věnoval po celou dobu psaní této bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	8
I. TEORETICKÁ ČÁST	9
1. SOUČASNÝ STAV VĚTRACÍCH SYSTÉMŮ BYTOVÝCH DOMŮ	9
1.1. HISTORICKÝ VÝVOJ	9
1.2. PŘEHLED BĚŽNÝCH SYSTÉMŮ VĚTRÁNÍ VE STÁVAJÍCÍCH BYTOVÝCH DOMECH	11
1.2.1. <i>Přirozené větrání</i>	11
1.2.2. <i>Šachtové větrání - systém SHUNT</i>	11
1.2.3. <i>Centrální podtlakový systém</i>	12
1.2.4. <i>Lokální podtlakový systém</i>	13
1.2.5. <i>Horizontální větrací systém</i>	14
1.2.6. <i>Rovnotlaké systémy</i>	14
2. PLATNÁ LEGISLATIVA	16
2.1. STAVEBNÍ ZÁKON	16
2.2. PŘÍBUZNÁ LEGISLATIVA	18
2.3. SHRNUÍ	19
3. MOŽNÁ ŘEŠENÍ REKONSTRUKCE	21
3.1. OPRAVA STÁVAJÍCÍHO SYSTÉMU	21
3.2. INTELIGENTNÍ CENTRÁLNÍ SYSTÉM	22
3.3. DECENTRÁLNÍ PODTLAKOVÝ SYSTÉM	23
3.4. LOKÁLNÍ ROVNOTLAKÝ SYSTÉM	23
3.5. CENTRÁLNÍ ROVNOTLAKÝ SYSTÉM	24
II. PRAKTICKÁ ČÁST	26
4. POPIS OBJEKTU	26
4.1. DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ	26
4.2. POPIS STÁVAJÍCÍ VZDUCHOTECHNIKY	27
5. KONCEPCE REKONSTRUKCE	30
6. NÁVRH DCV SYSTÉMU	31
6.1. POPIS SYSTÉMU	31
6.1.1. <i>Princip systému</i>	31
6.1.2. <i>Parametry systému</i>	31
6.1.3. <i>Postup návrhu</i>	32
6.2. NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍVODNÍCH PRVKŮ – BYT Č. 1	33

6.2.1.	<i>Tlaková ztráta vnitřních dveří</i>	33
6.2.2.	<i>Infiltrace</i>	33
6.2.3.	<i>Štěrbiny</i>	34
6.2.4.	<i>Souhrn</i>	35
6.3.	NÁVRH A POSOUZENÍ PŘÍVODNÍCH PRVKŮ – BYT Č. 2	35
6.3.1.	<i>Infiltrace</i>	35
6.3.2.	<i>Přívod potrubím</i>	35
6.4.	NÁVRH A POSOUZENÍ ODVODNÍCH PRVKŮ.....	37
6.4.1.	<i>Určení tlakové ztráty</i>	37
6.5.	TLAKOVÁ ZTRÁTA ODVODNÍ STOUPAČKY	38
6.6.	TLUMIČ HLUKU	39
6.7.	SOUHRN TLAKOVÝCH ZTRÁTA	40
6.8.	NÁVRH CENTRÁLNÍHO VENTILÁTORU	40
7.	NÁVRH LOKÁLNÍHO ROVNOTLAKÉHO VĚTRÁNÍ	42
7.1.	POŽADAVKY	42
7.2.	VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE BYTOVÉ JEDNOTKY	43
7.3.	POSOUZENÍ MOŽNOSTI CHLAZENÍ.....	48
7.4.	NÁVRH VĚTRACÍ JEDNOTKY	48
7.4.1.	<i>Základní parametry větracího systému</i>	48
7.4.2.	<i>Stanovení tlakových ztrát</i>	49
7.4.3.	<i>Posouzení hlučnosti</i>	53
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PODKLADŮ	57
	SEZNAM PŘÍLOH	59

Anotace

DOLEJŠ, J. *Rekonstrukce větracího systému bytového domu*. Praha, 2016. Bakalářská práce na Fakultě stavební ČVUT v Praze. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Papež, CSc. Počet stran 59s.

Bakalářská práce se zabývá problematikou rekonstrukcí stávajících systémů větrání v bytových domech s důrazem na panelové objekty. Práce shrnuje a hodnotí standartní koncepce řešení a poukazuje na současné legislativní a normové požadavky. V praktické části je proveden podrobný návrh rekonstrukce větrání vybraného objektu s cílem vytvoření moderního vzduchotechnického systému.

Klíčková slova: Vzduchotechnika, větrání, bytový dům, tlakové ztráty, tepelná zátěž, šíření hluku.

Annotation

DOLEJŠ, J. *Reconstruction of ventilation system in residential house*. Prague, 2016. Bachelor Thesis at Faculty of Civil Engineering ČVUT in Prague. Thesis supervisor doc. Ing. Karel Papež, CSc. Počet stran 59 p.

The bachelor thesis deals with reconstruction of current ventilation systems in residential houses with focus on the panel buildings. The thesis summarizes and evaluates the standard solution concept and points to the current laws and technical standards. In the practical part is made a detailed design of reconstruction of ventilation in chosen building to create a modern ventilation system.

Keywords: HVAC, ventilation, residential house, pressure drop, heat loss, noise propagation.

Úvod

V novodobém pozemním stavitelství hraje vzduchotechnika naprosto zásadní roli. V posledních letech lze sledovat překotný vývoj bytových staveb s cílem maximalizace energetické efektivity. To se nemůže obejít bez kladení důrazu na řešení otázky vnitřního mikroklimatu. Dosažení energetických úspor není možné bez navržení správného nuceného větrání. Bohužel při rekonstrukcích stávajících objektů často dochází k různorodým zásahům s cílem snížení energetické náročnosti bez řešení kvality vnitřního prostředí. Z tohoto důvodu jsem napsal bakalářskou práci, která ukazuje jak postupovat při řešení této problematiky. Důraz je kladen na panelovou výstavbu z druhé poloviny 20. století, která v současnosti prochází masivní vlnou revitalizačních úprav.

Bakalářská práce se bude zabývat rekonstrukcí systému větrání zvoleného bytového domu.

Práce se bude skládat ze dvou částí. Teoretické a praktické. V teoretické části bude nastíněn vývoj větrání bytových domů. Dále bude podrobně rozebrán legislativní a normový rámec této oblasti v České republice. V neposlední řadě bude v této části navrženo a posouzeno několik typických metod řešení rekonstrukce.

Praktická část si klade za cíl detailně navrhnout proměnu větrací soustavy vybraného stávajícího bytového domu. Při tom bude kladen důraz na technickou správnost a praktickou proveditelnost. Díky typizaci panelových objektů bude možné aplikovat toto řešení i na jiné obdobné stavby.

I. Teoretická část

Tak jako všechny příbuzné stavební disciplíny, i takzvaná malá vzduchotechnika v bytových domech prochází nezadržitelným vývojem. Standarty a nároky platné v minulých desetiletích se mohou dnes jevit zastaralé a již značně nevyhovující. Cílem každé rekonstrukce by mělo být nejen dodržení soudobých požadavků a právních norem, ale i jistý technický nadhled s cílem vytvořit komplexní systém, který bude i na konci své životnosti plnit na něj kladené nároky.

Pro zvládnutí správného návrhu rekonstrukce je třeba znát dobový kontext a podmínky vzniku původního vzduchotechnického systému. Stejně tak je důležité být obeznámen s veškerou právní legislativou a příslušnými technickými normami svazující parametry návrhu. Ty často shrnují nejdůležitější poznatky z oboru a mohou tak usnadnit návrh daného vzduchotechnického systému.

1. Současný stav větracích systémů bytových domů

1.1. Historický vývoj

Postupný vývoj lidské civilizace je od svého počátku úzce spjat s úpravou vnitřního prostředí. Již zapálení ohně významně ovlivnilo čistotu a kvalitu ovzduší v lidském obydlí. V raných začátcích lze mluvit pouze o přirozených principech proudění, ale již ve starověku se objevují první ventilátory. Nejprve poháněná ručně, později mechanickou energií. (Drkal, Lain, Zmrhal, 2015)

Bytové domy mají dlouhou historii, ale teprve v posledním století v nich začalo bydlet srovnatelné množství obyvatel jako v rodinných domech. Proces intenzivního přesunu obyvatelstva do měst lze v naší zemi vysledovat do přibližně poloviny 19. století v návaznosti na prudký rozvoj industrializace. S tím samozřejmě souvisí hromadná výstavba bytových domů. (Hampl, Kühln, Gardavský, 1989) Čerstvý vzduch byl k obyvatelům těchto domů dodáván díky vytápění. Vzduch potřebný pro spalování paliv v kamnech se obvykle přiváděl přes obytné prostory. Odtud byl znehodnocený vzduch odváděn přes topeniště komínovým průduchem. Nucené větrání tedy nebylo zapotřebí. Z této doby také pochází první výzkumy škodlivin ve vzduchu a potřeby větrání. Dodnes používané je známé Pettenkoferovo kritérium, které určuje hranici koncentrace oxidu uhličitého při které se člověk ještě cítí komfortně. Jedná se

o 0,1 %¹, čemuž odpovídá přívod čerstvého vzduchu 25 – 30m³/h. Díky bohatému používání lokálních topidel v tehdejších bytech bylo této hodnoty bezpečně dosahováno. (Drkal, Lain, Zmrhal, 2015)

Vzhledem k tomu, že bytové domy z tohoto období obvykle prošly značným množstvím různorodých stavebních úprav, je nemožné stanovit univerzální postupy jak v nich vytvořit moderních vzduchotechnický systém.

Další zásadní proměna podoby bytových domů se týká vývoje poválečného stavebnictví. Díky myšlence zprůmyslnění stavebnictví a nedostatku kvalifikovaných pracovních sil je pro toto období typická naprostá prefabrikace bytové výstavby. Díky tomu mohly být rychle uspokojena potřeba bydlení širokých vrstev obyvatelstva. V České republice byli první panelové domy navrženy v roce 1953 a jejich rozvoj trval až do začátku 90. let. Koupelna a WC byly v těchto domech situovány uprostřed domu, tedy nebyly vybaveny okny. V průběhu let byla vyvinuta celá řada konstrukčních soustav. Ty se lišily jak v rozměrech panelů či materiálové skladbě, tak i typu použitých bytových jader (viz tab. 1). Jedná se o prefabrikát osazovaný do prostoru instalační šachty zahrnující vybavenou koupelnu a WC a veškeré rozvody včetně větracího systému. (Čechová, 2015) Takových jader bylo v České republice vyrobeno a namontováno cca 1,2 milionu kusů. Většina byla z lehkých prefabrikátů, výjimečně se užívala jádra železobetonová. Jádra z lehkých prefabrikátů byla označována písmenem B a specifickým číslem určujícím jejich typ (B2 – B10). (Matura, 1998)

Typ panelové soustavy	Doba výstavby	Typy panelových jader
G 57	1957 - 1967	B2
HKS 70	1971 - 1990	B2, B3
T06B	1964 - 1989	B3, B4
T08B	1962 - 1980	B3, B4
BANKS	1971 - 1990	B6, B7
VVÚ ETA	1972 - 1992	B3, B6, B7, B9, B10
Larsen & Nielsen	1972 - 1989	B6, B7, B9

Tab. 1 Přehled typů bytových jader instalované do vybraných konstrukčních soustav (Matura, 1998; Krajčová, Kotek, Vogel, Antonín a Macholda, 2010)

Od počátku 90. let dochází k úplné proměně konceptu větrání. Zatímco dřívější projekty počítaly s výměnou vzduchu díky netěsnosti oken, dnes se domy naopak záměrně hermeticky uzavírají pro dosažení nízké spotřeby energií. V bytových domech se tak lze běžně setkat

¹ 0,1 % = 1000 ppm

s nuceným odvodem i přívodem vzduchu. Vzduchotechnické jednotky mohou využívat systém zpětného získávání tepla k zamezení tepelných ztrát větráním. (Standarty, 2016)

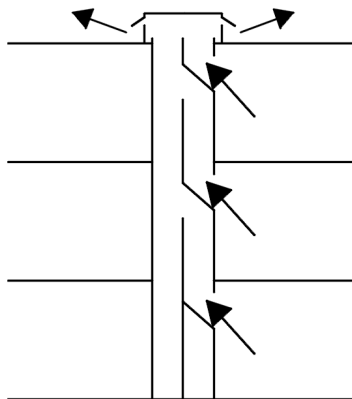
1.2. Přehled běžných systémů větrání ve stávajících bytových domech

1.2.1. Přirozené větrání

K pohybu vzduchu při tomto systému větrání dochází vlivem rozdílných tlaků vně a uvnitř budovy či působením tlaku větru na budovu. Jedná se o infiltraci vzduchu spárami oken či provětrávání bytu otevřením oken. Přirozeným větráním jsou také šachtové systémy využívající komínový efekt (výškovým rozdílem přívodu a odvodu vzniká tlakový rozdíl). (Gebauer, 2007)

1.2.2. Šachtové větrání - systém SHUNT

Systém SHUNT je nejstarším větracím systémem instalovaným v panelových domech. Je tvořen třemi větracími průduchy. Střední sběrná šachta probíhá přes všechna podlaží a je zakončena na střeše objektu. Jeden vedlejší průduch obsluhuje kuchyni, kde je umístěn odsavač par, a ústí do sběrné šachty pod stropem téhož podlaží. Druhý vedlejší průduch slouží pro větrání WC a koupelny a ústí do sběrné šachty v úrovni dalšího podlaží (viz obr. 1). V nejnižším podlaží



Obr. 1 Schéma systému SHUNT

je šachta ukončena čistícím poklopem. V některých případech byly dispozice bytů navrženy se samostatným jádrem pro koupelnu a WC a druhým jádrem v oblasti kuchyně. Pak je systém SHUNT tvořen sběrnou šachtou a pouze jedním vedlejším průduchem. Šachty jsou nejčastěji obdélníkového tvaru zhotovené z pozinkovaného plechu a opatřeny požární izolací z tuhých desek z minerálních vláken. Fyzikálně systém pracuje na principu rozdílu statických tlaků vzduchu vně a uvnitř objektu z důvodu působení větru či rozdílu teplot. Přirozené proudění šachtou bylo umocněno větrací hlavicí CAGI. Příznivé atmosférické podmínky působí jen v některých ročních obdobích a proto někdy býval systém doplněn střešním ventilátorem. Ten byl

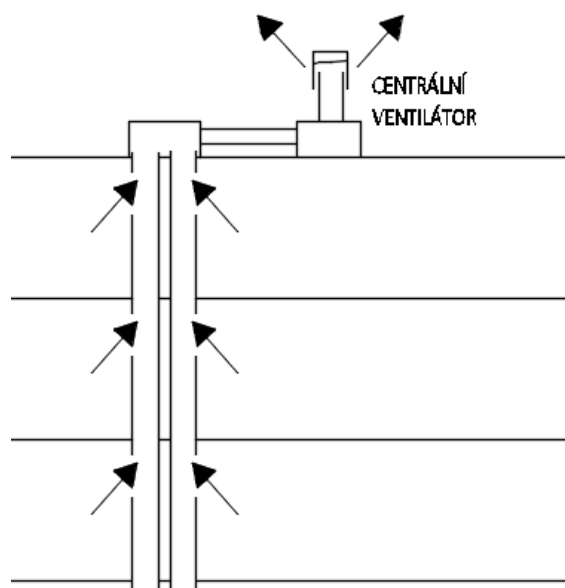
spouštěn uživateli tlačítkovými ovladači v době, kdy byl samotížný provoz nedostatečný. (Šafránek, 2000)

Zásadním problémem tohoto systému je značná proměnlivost účinnosti větrání v závislosti na meteorologických podmínkách. Ventilátor, který měl tento problém vyřešit, je většinou záměrně vyřazen z provozu. K takto radikálnímu zásahu vedla značná hlučnost jeho provozu obtěžující obyvatele bytů v horních patrech. Další nevýhodou systému SHUNT je obtížná regulovatelnost průtoků vzduchu a časté pronikání pachů mezi jednotlivými byty. To může být výrazně zhoršeno instalací lokálních ventilátorů, které znehodnocený vzduch neodvádějí mimo objekt, ale jen přetlačují do jiných bytů. (Šafránek, 2000; Witzany, 2000).

Větrací systém SHUNT se vyskytuje v panelových objektech s instalovanými jádry typu B2, B3 a B4 (Matura, 1998).

1.2.3. Centrální podtlakový systém

Základem centrálního podtlakového systému jsou dva svislé větrací průduchy umístěné v instalační šachtě procházející přes všechna podlaží objektu. Jeden obsluhuje kuchyně, druhý koupelny a WC. Jsou vyrobeny z vláknocementu či pozinkovaného plechu a opatřeny protipožární izolací. Mohou mít jak obdélníkový, tak kruhový průřez. Do nich je odváděn znečištěný vzduch z větraných prostor krátkými odbočkami (viz obr. 2). V případě bytů, kde dispozice vyžadovala instalaci dvou stoupaček (jedna pro kuchyň, druhá pro koupelnu a WC), je v každé umístěn pouze jeden průduch. (Šafránek, 2001) Každý odvětrávaný prostor je napojen do šachty krátkou horizontální odbočkou s regulátorem průtoku vzduchu. Ten může být zanesený nečistotami a neplnit tak svou funkci (Chlum, 2003)



Obr. 2 Schéma centrálního podtlakového systému

Větrání zpočátku zajišťoval ventilátor umístěný přímo nad vyústěním šachty se sběrnou komorou bez použití tlumiče. Takové řešení vedlo k přenosu hluku a vibrací do bytů v posledním podlaží. Později byly instalovány ventilátory ve vzdálenosti několika metrů od vyústění šachty. S ní byly propojeny sběrným potrubím (viz obr. 3). (Witzany, 2000)

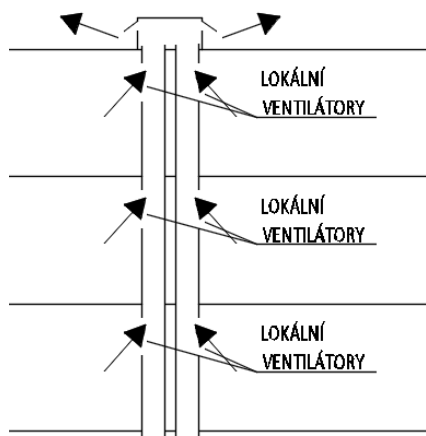


Obr. 3 Vlevo sběrná komora osazená na nástavci na vyústění ventilačních šachet, vpravo centrální ventilátor připojený sběrným potrubím

Mezi nejčastější závady patří šíření hluku a vibrací z ventilátorů. Stejně jako v případě systému SHUNT může docházet k pronikání pachů mezi jednotlivými byty (viz kap. 1.2.2.). Běžné jsou i vady ovládacích prvků či netěsnosti potrubí. (Witzany, 2000)

1.2.4. Lokální podtlakový systém

Lokální systém má šachtu totožnou s centrální variantou. Pouze společný ventilátor umístěný na střeše je nahrazen malými axiálními ventilátory v jednotlivých bytech (nejčastěji *ELKO VHV* a *MEZAXIÁL*, příkon cca 30W)(viz obr. 4). Ty byly spolu se zpětnou klapkou a krycí mřížkou zaústěny pomocí nástavců do svislé šachty. Umístění ventilátorů přímo v bytech vedlo ke značné hlučnosti systému. Díky zanášení nečistotami bývají zpětné klapky nefunkční. Následkem je pronikání pachů mezi jednotlivými byty tak jako bylo popsáno v kap. 1.2.2. Nedostatečný výkon běžně užívaných ventilátorů způsobuje proměnlivost účinnosti v závislosti na klimatických podmínkách. Na střeše je větrací průduch ukončen větrací komorou s protidešťovou stříškou (viz obr. 4). (Šafránek, 2001)

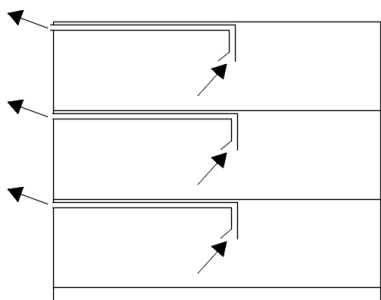


Obr. 4 Schéma systému podtlakového větrání

Oproti centrálnímu systému se může tento systém přesto jevit výhodnější. Dochází totiž k odvětrání bytů na základě jejich potřeby, na rozdíl od centrálního systému kdy dochází k odvětrání všech bytů napojených na danou stoupačku. Navíc náklady na energie a zodpovědnost za funkčnost má v rukou přímo majitel bytové jednotky. (Chlum, 2003)

1.2.5. Horizontální větrací systém

Některé staré panelové objekty s jádry typu B2 nemají větrání řešeno společnou větrací šachtou (viz obr. 5). V každém bytě je instalováno samostatné horizontální potrubí vyvedené na fasádu a větrání zajišťuje malý ventilátor (Chlum, 2003).



Obr. 5 Schéma horizontálního větracího systému

1.2.6. Rovnotlaké systémy

Se zvyšováním komfortu bydlení a tlakem na snižování energetické náročnosti budov se v posledních desetiletích začínají instalovat do nových objektů systémy rovnotlakého větrání. To může být realizována jak v lokální, tak v centrální variantě. (Atrea, 2016)

V případě centrální varianty je základem vzduchotechnická jednotka společná pro všechny nebo skupinu bytů. Ta obvykle obsahuje filtry, systém zpětného získávání tepla a dohřev. Je umístěna na střeše s výdechy a sáním do okolí. Další možností je umístění v suterénu objektu

s výdechy a sáním na fasádě. Rozvod vzduchu do bytů probíhá společnými šachtami a odbočkami s regulací do každého bytu. V samotném bytě je vzduch rozváděn podstropními vzduchovody do všech obytných místností. Ty jsou zakryty podhledem či soklem. Odvod znečištěného vzduchu probíhá z koupelen, WC a kuchyní. Díky regulačním klapkám je možné řídit i rozdělení vzduchu mezi jednotlivé místnosti v rámci bytu dle aktuální potřeby. (Atrea, 2016)

V případě decentrální varianty probíhá úprava vzduchu v jednotlivých bytech v malé větrací jednotce. Ta se umísťuje pod strop WC. Rozvod vzduchu v bytě probíhá stejným způsobem jako v centrální variantě. (Atrea, 2016)

2. Platná legislativa

Oblast větrání bytových domů, stejně tak jako všechny příbuzné disciplíny technického zařízení budov, je svázána zákonnými požadavky, které musí navržený systém dodržet.

2.1. Stavební zákon

V současné době je legislativní rámec problematiky větrání bytových staveb dán především zákonem č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (takzvaný stavební zákon), který stanovuje povinnost respektovat obecné požadavky na výstavbu (§ 169 odst. 1). Ty jsou stanoveny vyhláškou č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby, která platí i pro změny dokončených staveb či udržovací práce jako je rekonstrukce systému větrání. Z této vyhlášky vyplývá mimo jiné povinnost zajistit větrání obytných místností², kuchyní, WC a koupelen dle platných českých technický norem: „(3) Obytné místnosti musí mít zajištěno dostatečné větrání venkovním vzduchem a vytápění v souladu s normovými hodnotami“, „(7) Záchody, prostory pro osobní hygienu a prostory pro vaření musí mít umělé osvětlení v souladu s normovými hodnotami, musí být účinně odvětrány v souladu s normovými hodnotami a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty.“ V případě větrání případných pobytových místností³ vyhláška neodkazuje na technické normy, ale předepisuje požadované parametry: „Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m³/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 h⁻¹. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1 500 ppm.“ Nejmenší požadavky jsou ve vyhlášce kladeny na spíže, komory a komunikační komory, kde si vyhláška vystačila s obecným požadavkem odvětrat tyto prostory bez bližšího určení metody a parametrů: „(8) Spíže a komory na uskladnění potravin musí být

² Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby se „obytnou místností část bytu, která splňuje požadavky předepsané touto vyhláškou, je určena k trvalému bydlení a má nejmenší podlahovou plochu 8 m². Kuchyň, která má plochu nejméně 12 m² a má zajištěno přímé denní osvětlení, přímé větrání a vytápění s možností regulace tepla, je obytnou místností. Pokud tvoří byt jedna obytná místnost, musí mít podlahovou plochu nejméně 16 m²; u místností se šikmými stropy se do plochy obytné místnosti nezapočítává plocha se světlou výškou menší než 1,2 m“

³ Dle vyhlášky č. 268/2009 Sb. O technických požadavcích na stavby se Pobytovou místností rozumí „místnost nebo prostor, které svou polohou, velikostí a stavebním uspořádáním splňují požadavky k tomu, aby se v nich zdržovaly osoby“

účinně odvětrány,“ „(9) Komunikační prostory musí mít umělé osvětlení v souladu s normovými hodnotami a musí být odvětrány.“

Jak je uvedeno výše, ze stavebního zákona přímo vyplývá povinnost při větrání většiny místností v bytech dodržovat platné technické normy. Větrání obytných budov v současné době řeší tyto normy:

- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky,
- ČSN 74 7110 Bytová jádra,
- ČSN 73 4301 Obytné budovy,
- ČSN EN 15 665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov.

Technická norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky řeší větrání místností v kapitole 7.2. rozlišuje místnosti, které jsou užívány a které ne. V případě neužívaných místností je stanoven požadavek intenzity větrání $0,1 \text{ h}^{-1}$. Pro užívané místnosti je požadována intenzita $0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$. Zajímavostí je i stanovení maximálních hodnot intenzity větrání, ale sama norma říká, že „hygienické a provozní požadavky jsou nadřazené hlediskům úspor energie“ a odkazuje na ČSN 15 665.

ČSN 74 7110 Bytová jádra z roku 1987 je určena především pro návrh a výrobu bytových jader a v případě „modernizace bytového fondu se použije přiměřeně“. Norma je tedy spíše užitečným ukazatelem na jaké hodnoty byly dimenzovány větrací systémy panelových objektů než striktním nařízením jak rekonstruovat větrací systém (viz tab. 2).

Odvětrávaný prostor	Výpočtová hodnota výkonu $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Dovolený rozsah výkonů $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
záchod	25	20 až 30
koupelna	75	60 až 80
kuchyně	100	80 až 100
bytové jádro celkem	200	160 až 220

Tab. 2 Větrání bytových jader dle ČSN EN 74 7110

Třetí z výše uvedených norem, ČSN 73 4301 Obytné budovy, byla v roce 2012 upravena změnou Z3, která veškeré v ní uvedené požadavky na větrání ruší a odkazuje na poslední z výše zmíněných norem: „Při navrhování větrání bytů se postupuje podle ustanovení národní přílohy k ČSN EN 15665:2009“.

Vzhledem k obsahu předchozích norem je zřejmé, že hlavní a nejdůležitější normou pro navrhování větracích systémů bytových domů je ČSN EN 15 665 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Do této normy z roku 2009 byla v roce

2011 změnou Z1 doplněna národní příloha (NA), která stanovuje požadavky na větrání obytných budov v České republice. Velmi důležitý je druh této přílohy – jedná se o informativní přílohu. Znamená to, že je to část normy, která obsahuje informace a doporučení na rozdíl od normativních příloh, které obsahují normové hodnoty. Řídit se tedy touto částí normy je nezávazné.

Příloha umožňuje použití pouze nuceného podtlakového, hybridního nebo nuceného rovnotlakého systému větrání objektu. Větrání infiltrací spárami oken v budovách s novými či rekonstruovanými okny nelze použít. Norma dále velmi podrobně popisuje obecně známá pravidla pro návrh těchto větracích systémů, jako umístění přívaděčích otvorů, návrh ventilátoru apod.

Hodnoty množství a jakosti přiváděného vzduchu jsou stanoveny rozdílné pro různé prostory bytového objektu. Pro obytné prostory (například pokoj, ložnice apod.) a kuchyně je požadováno trvalé větrání čerstvým (tzn. venkovním) vzduchem. Minimální hodnoty množství vzduchu jsou uvedeny níže v souhrnné tabulce (tab. 3). Množství vzduchu může být řízeno koncentrací oxidu uhličitého. Ostatní prostory se větrají čerstvým nebo převáděným vzduchem (např. vzduch převáděný z obytných místností přes komunikační prostory). Intenzivní větrání hygienického zázemí a kuchyní se řeší nárazovým větráním. Norma umožňuje snížit celkové větrání domu na hodnotu $0,1 \text{ h}^{-1}$ při dlouhodobém neužívání, čehož lze využít při návrhu větracích systémů řízených na základě pobytu osob či kvality vzduchu.

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h^{-1}]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{os})$]	Kuchyně [m^3/h]	Koupelny [m^3/h]	WC [m^3/h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tab. 3 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1

2.2. Příbuzná legislativa

Kromě bytových domů existují i další typy objektů, která vyžadují účinné větrání. Pro řadu z nich byly vydány zákony a příslušné vyhlášky upravující parametry jejich vzduchotechnických systémů. Vzhledem k tomu, že vždy je cílem zajistit pohodlí a komfort uživatelů, je možné se těmito zákony inspirovat i při návrhu systému pro bytovou výstavbu.

Při návrhu je například možné brát v úvahu zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů doplněný vyhláškou č. 6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. Ta se vnitřního prostředí pobytových místností škol, ubytovacích zařízení apod. a řešící množství větraného vzduchu, limitní koncentrace škodlivých látek, rychlost proudění a teplotu vzduchu v místnosti apod. Vyhláška dovoluje jak nucené, tak přirozené větrání pobytových místností. Intenzita větrání hygienických zařízení je dána počtem a druhem hygienického vybavení, například na jedno umyvadlo připadá 30 m³/h či sprchu 35 – 110 m³/h odvětrávaného vzduchu.

Pro typické sociální zázemí v bytě lze uvažovat WC s jednou mísou a koupelnu s jednou sprchou a jedním umyvadlem. Množství odváděného vzduchu je pak 50m³/h pro WC a 65 – 140 m³/h pro koupelnu. Větrání kuchyně je možno odvodit z požadavku na vlhkost vzduchu v pobytových místnostech, který činí minimálně 30 % vzdušné vlhkosti v zimě a maximálně 65% vzdušné vlhkosti v létě.

Dalším zákonem, který řeší větrání místností s pobytem osob je zákon č. 361/2007 Sb. kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci se změnami 68/2010 Sb., 93/2012 Sb., 9/2013 Sb., 32/2016 Sb. Ten dovoluje jak nucené, tak i přirozené či kombinované větrání prostor pracovišť. Dále stanovuje množství přiváděného vzduchu 25 m³/h pro osoby pracující vsedě, či vykonávající lehkou manuální práci, což odpovídá i běžným činnostem v bytových prostorách.

Také je možné zohlednit vyhlášku č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Ta v příloze č. 3 stanovuje požadavky množství přiváděného čerstvého vzduchu v učebnách, tělocvičnách, šatnách a hygienických zařízeních v zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání. Pro navrhování větrání bytových prostor lze využít požadavek 20 – 30 m³/h na jednoho žáka, 50 m³/h pro záchodovou kabinu, 150 – 200 m³/h pro sprchu a 30 m³/h pro umyvadlo. Vyhláška také doporučuje relativní vlhkost všech prostorech 30 – 65% a rychlost proudění vzduchu 0,1 – 0,2 m/s.

2.3. Shrnutí

Při návrhu větracích systému bytových prostor je třeba se řídit veškerou platnou legislativou a z ní vyplývajícími normami. Vhodné je ale i brát v potaz požadavky nezávazných norem či předpisů pro příbuzné obory jako je například větrání pracovišť. Všechny tyto

požadavky a doporučení jsou podrobně popsány v přechozích odstavcích a shrnuty v následující tabulce (tab. 4).

Požadavek	Trvalé větrání		Nárazové větrání		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h·os)]	Kuchyně [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
ČSN 73 0540-2	0,3 – 0,6	15 - 25	-	-	-
ČSN 74 7110	-	-	80 - 100	60 - 80	20 - 30
ČSN EN 15 665/Z1	0,3 – 0,5	15 - 25	100 - 150	50 - 90	25 - 50
ČSN 74 7110	-	-	80 - 100	60 - 80	20 - 30
258/2000	-	-	RH 30 – 65%	65 - 140	50
361/2007	-	25	-	-	-
410/2005	-	20 - 30	RH 30 – 65%	180 - 210	50
Souhrn	0,3 – 0,6	15 - 30	80 - 150	50 - 210	20 - 50

Tab. 4 Přehled požadavků výše zmíněných norem a vyhlášek

3. Možná řešení rekonstrukce

Jak již bylo v předcházejících kapitolách zmíněno, větrací systémy jsou velmi často v nevyhovujícím stavu a uživatelé obvykle požadují změnu vedoucí minimálně k obnovení funkčnosti těchto systémů. Možné řešení je především ovlivněno typem stávajícího vzduchotechnického systému (potažmo typem bytového jádra v případě panelových domů), finančními možnostmi investora a rozsahem možných stavebních zásahů. Důležité pro samotný návrh je, aby uživatelé měli jasnou představu jakého komfortu chtějí novým systémem dosáhnout. Následující podkapitoly ukazují technicky a finančně smysluplná řešení úprav vzduchotechnických systémů ve stávajících objektech. Navržená řešení se týkají především bytového fondu v panelových objektech. Ty v současné době procházejí masivní vlnou rekonstrukcí. Generalizovat řešení větrání starších objektů stavěných tradičními technologiemi je téměř nemožné vzhledem k jejich individuálním parametrům a množství úprav. Naopak nové stavby z posledních desetiletí bývají ve vyhovujícím stavu.

3.1. Oprava stávajícího systému

Jedná se o dílčí opravy současných prvků vzduchotechniky k zajištění původní funkčnosti. Běžně se provádí repase stávajícího centrálního střešního ventilátoru. Ta probíhá tak, že se demontuje ze střechy objektu, důkladně vyčistí, vymění se ložiska a elektroinstalace. Následuje zpětná montáž na opravenou (vyklepání, nový nátěr) sběrnou komoru. (Benková, 2014)

Často bývají centrální ventilátory nahrazeny *ventilačními turbínami*. Jedná se o nástavec s pohyblivými částmi, který díky působení větru vytváří podtlak v připojené šachtě. Tím se bezpečně vyřeší problematika hlučnosti a sníží náklady na energii. Bohužel tímto krokem dojde k naprosté likvidaci celého systému větrání, díky malému a navíc značně proměnnému výkonu takové turbíny. Dokonce i obyčejná CAGI hlavice vytváří větší podtlak v šachtě. (Mareš, 2010)

V neposlední řadě je třeba v případě centrálních systémů odstranit všechny uživateli namontované lokální ventilátory. Ty způsobují přetlačování pachů do sousedních bytů. Alternativně lze do všech bytových vývodů osadit těsné zpětné klapky. (Witzany, 2000)

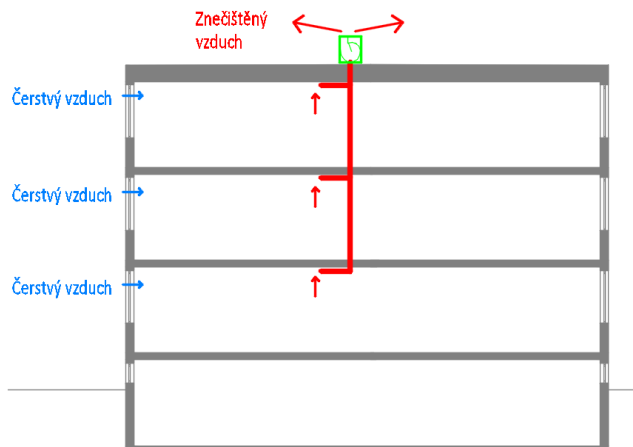
Za specifickou závadu stávajících podtlakových vzduchotechnických systémů lze považovat osazení nových oken s minimální spárovou průvzdušností. Je třeba si uvědomit, že spárová netěsnost původních oken tvořila součást vzduchotechnického systému (viz kap. 1) V případě výměny oken je tedy nutné obnovit přívod vzduchu do objektu. Běžným řešením jsou stěnové přívodní štěrby, které se instalují do obvodové zdi v místě radiátoru. Díky této poloze

dochází k okamžitému ohřevu přiváděného vzduchu. Další možností jsou okenní štěrbin, které se instalují do rámu, či jako nástavec zasklení. Chladný přiváděný vzduch klesá k radiátoru, kde je ohříván. Přívodní štěrbinu obvykle obsahují filtraci, tlumič hluku a mechanickou či elektronickou regulaci průtoku. (Šafránek, 2001)

Jednoznačnými výhodami takto zvoleného řešení je jeho finanční nenáročnost a minimální stavební zásahy v objektu. Ty jsou vykoupeny nízkým uživatelským komfortem stávajících systémů a technickou zastaralostí neumožňující například zpětné získávání tepla.

3.2. Inteligentní centrální systém

Základem inteligentního centrálního systému je ventilátor s vnitřní elektronikou umožňující automatickou regulaci otáček na základě signálu z tlakového čidla. Ten je obvykle osazen na střeše objektu v místě prostupu stoupačky (viz obr. 6). Cílem regulace je udržovat konstantní podtlak ve stoupačce. Ventilátor je trvale zapnutý v režimu minimálního výkonu a tak se neustále vytváří podtlak, který nedovolí zpětnému samovolnému pronikání pachů do jednotlivých bytů. V každém bytě jsou osazeny elektricky ovládané ventily, kterými se řídí intenzita větrání dle momentální obsazenosti bytů. Možné je použít jak jednoduché tlačítkové spínače, tak čidla oxidu uhličitého či vzdušné vlhkosti. Stejně jako v případě opravy stávajícího systému (viz kap. 3.1) je třeba vyřešit přívod vzduchu do bytu, například větracími štěrbinami v oknech či mikroventilací. (Benková, 2014) Pořizovací cena DCV systému činí cca 15 000 – 25 000 Kč/byt (Kotek, Beranovský, Vogel a Macholda, 2011a).



Obr. 6 Schéma centrálního podtlakového systému

Výhodou tohoto řešení je zvýšení uživatelského komfortu, stejně jako nenáročnost instalace. Díky neexistenci mechanické či elektrické vazby mezi uživateli a ventilátorem lze očekávat vysokou spolehlivost. Díky tomu, že systém odsává pouze byty, které to právě vyžadují,

je spotřeba energie menší než u původního centrálního systému. Za jedinou nevýhodou tohoto řešení je možné považovat nevyužití odpadního tepla v zimním období.

3.3. Decentrální podtlakový systém

Stejně jako v případě centrálních systémů větrá lokální systém každý prostor dle aktuálních potřeb. Místo soustavy centrálního ventilátoru a složitých koncových elementů k tomu ale využívá pouze malé lokální ventilátory v jednotlivých prostorech. Tím je systém velmi zjednodušen. Je nutné, aby lokální ventilátory měly dostatečný výkon pro překonání tlakových ztrát systému. Většina běžně používaných malých axiálních ventilátorů takový výkon nemá. Proto je vhodnější použít radiální ventilátory. Vzhledem ke vzniklému přetlaku v odvodním potrubí je nutné osadit na uživatelské odbočky kvalitní těsné zpětné klapky. Stejně jak bylo popsáno v kapitole 3.1, je třeba také ověřit zajištění dostatečného přívodu vzduchu do bytu infiltrací, větracími štěrbinami apod. (Šafránek, 2001)

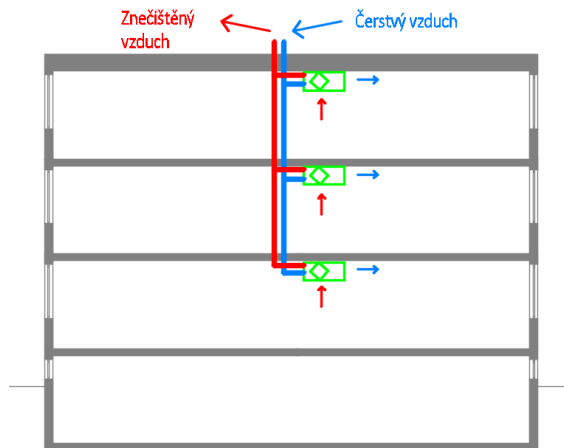
Díky jednoduchosti systému jsou hlavními přednostmi cena rekonstrukce, která se pohybuje okolo 10 000 Kč/byt⁴ a minimální stavební práce. Neméně důležitou výhodou je nezávislost jednotlivých uživatelů na sobě, kdy si každý může vytvořit libovolný lokální systém a nemůže tím ovlivnit funkčnost systémů ostatních. Nevýhodou těchto systémů je především hlučnost jednotlivých ventilátorů, která ale značně závisí na zvoleném výrobku a způsobu jeho zabudování. Dalším nebezpečím je těžko předvídatelná funkčnost zpětných klapek v dlouhodobém horizontu, kdy hrozí přenos pachů mezi byty. Také není řešeno zpětné získávání tepla.

3.4. Lokální rovnotlaký systém

Lokální systémy rovnotlakého větrání se realizují osazením vzduchotechnických jednotek do každého bytu. Jedná se o malé kompaktní jednotky, které lze zavěsit pod strop a zakrýt podhledem. Tyto jednotky mají předem nastavené parametry výrobcem a není možné je konfigurovat. Obvykle obsahují ventilátory s regulací otáček, vyměnitelné filtry, deskový výměník zpětného získávání tepla, případně elektrický ohřívač. Jejich vzduchový výkon činí asi 200 m³/h. Odvod vzduchu je řešen stávající stoupačkou na střechu objektu, kde je původní ventilátor demontován. V případě stávajícího systému s dvěma svislými průduchy lze přívod vzduchu do jednotky řešit druhým z těchto průduchů (viz obr. 7). Ten je před spuštěním systému nutné vyčistit. Přívodní průduch je také možné osadit společným filtrem pro snížení znečišťování jednotlivých jednotek. Všechny filtry v systému je nutné pravidelně měnit. V případě systému

⁴ Odhad autora: 3xventilátor CF 100 T (3x1 758 Kč dle ceníku Elektrodesign), 3xtěsná zpětná klapka RSKW (3x598 Kč dtto), stavební práce 3 000 Kč, celkem 10 000 Kč

s pouze jedním průduchem je nutné řešit přívod vzduchu lokálně pomocí horizontálního potrubí z fasády objektu. Rozvod vzduchu po bytě se realizuje přiváděním vzduchu do obytných místností a odvodem v koupelně, WC a kuchyni. Jednotka může být regulována například čidly oxidu uhličitého v obytných místnostech či vlhkostními čidly v koupelně a kuchyni. Cena takové systému se pohybuje okolo 75 000 Kč/byt (Atrea, 2016; Kotek, Beranovský, Vogel a Macholda, 2011b).



Obr. 7 Schéma lokálního rovnotlakého systému

Za výhody tohoto větracího systému lze považovat vysoký uživatelský komfort, kdy se uživatel vůbec nemusí starat o větrání bytu a vše probíhá zcela automaticky. Dále pak zpětné využívání tepla, které výrazně snižuje energetické nároky na vytápění oproti podtlakovým systémům. Nevýhodou popsané rekonstrukce jsou značné finanční nároky na pořízení i provoz systému.

3.5. Centrální rovnotlaký systém

Tento systém je téměř totožný s předchozím systémem. Rozdíl spočívá v osazení jedné společné vzduchotechnické jednotky obvykle na střeše objektu (viz obr. 8). Její vzduchový výkon činí asi 400 – 3000 m³/h. Vzhledem k umístění jednotky je možnost instalace pouze u objektů, které mají dva větrací průduchy ve stoupačce. Další nevýhodou se může jevit jednotná

teplota vzduchu přiváděného do všech bytových jednotek. (Kotek, Beranovský, Vogel a Macholda, 2011c)



Obr. 8 Schéma centrálního rovnotlakého systému

Cena za instalaci systému se pohybují okolo 40 000 až 50 000 Kč v závislosti na počtu podlaží objektu díky čemuž je jeho pořízení finančně příznivější než vybavení objektu lokálními jednotkami. (Kotek, Beranovský, Vogel a Macholda, 2011c)

II. Praktická část

V dnešní době probíhá masivní vlna rekonstrukcí panelových objektů. Ty se samozřejmě týkají i větracích systémů, které bývají ve značně nevyhovujícím stavu. V teoretické části byly podrobně rozebrány požadavky a možná řešení rekonstrukce. Tyto znalosti jsou v následující části aplikovány na návrhu komplexní rekonstrukce systému vzduchotechniky vybraného panelového bytového domu.

4. Popis objektu

4.1. Dispoziční řešení

Jedná se o stávající devítipodlažní bytový dům, ulice Bukolská 772-774, Praha 8 - Bohnice. Ten je označený jako objekt „D“ v rámci stavebního komplexu „615 b.j. ČIMICKÁ“, který byl vystavěn v letech 1985 - 1989. Konstrukční systém je panelový s využitím soustavy Larsen-Nielsen II. Dům je samostatně stojící, od ostatních ho odděluje příjezdová komunikace. Skládá ze tří sekcí, dvou krajních a jedné prostřední. Každá je přístupna dvěma vchody v úrovni terénu. Všechny sekce mají totožné dispoziční řešení (viz obr. 9).



Obr. 9 Půdorys typického podlaží (krajní sekce)

Objekt je podsklepený, má 8 nadzemních podlaží a je zastřešen plochou střechou, nad kterou vystupují v každém schodišťovém prostoru objekty strojovny výtahu. Střecha je

dvouplášťová s větranou vzduchovou mezerou. Horní plášť je dřevěný, opatřený povlakovou hydroizolací z asfaltových pásů. V podzemním podlaží jsou umístěny sklepy, sušárny, kancelář domovníka a zázemí uklízečky včetně WC. V 2. až 8. NP jsou v každém patře v každé sekci dva byty o dispozici 3+1, jeden byt 1+1 a jeden byt 1+kk. Ve vstupním podlaží je v každé sekci místo bytu o dispozici 1+1 vstupní prostor do příslušné sekce. Celkově se v objektu nachází 93 bytů. Jednotlivá podlaží jsou propojena dvouramenným schodištěm a výtahovou šachtou. Prostor schodiště je přímo větrán stávajícími okny. Výstup na plochou střechu je zajištěn žebříkem přes výlez s ocelovým poklopem, či přes okno ze strojovny výtahu. Ta je přístupna žebříkem přes výlez s ocelovým poklopem v každém schodišťovém prostoru v posledním podlaží. Bytový dům je napojen na veřejné rozvody inženýrských sítí – vodu, kanalizaci a vedení NN. Vytápění objektu je zajištěno napojením na systém centrálního zásobování tepla přes předávací stanici, která je umístěna mimo objekt. Zde je připravována topná a teplá užitková voda.

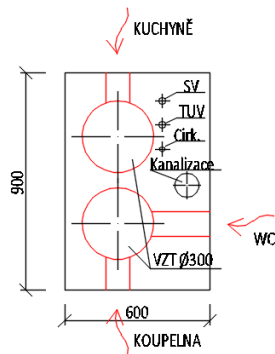
4.2. Popis stávající vzduchotechniky

Stávající větrací systém je zcela původní a neprošel žádnou úpravou. Jeho podoba dle podrobné prohlídky objektu odpovídá dostupné projektové dokumentaci z roku 1985. Zásadní vliv na koncepci větrání objektu má v minulosti provedená výměna okenních výplní. Ta výrazně omezila infiltraci čerstvého vzduchu do objektu.

Systém větrání objektu byl navržen jako podtlakové nárazové větrání kuchyně a sociálního zázemí. Celý systém vychází z typových podkladů pro bytové jádro B 91. Odvětrání kuchyně je řešeno bezmotorovou digestoří připojenou krátkým horizontálním potrubím Ø100 do stoupačky odvětrání kuchyní. Ze samostatného WC a koupelny je vzduch odváděn taktéž horizontálním potrubím Ø100 do stoupačky odvětrání WC a koupelen. Potrubí je v těchto místnostech zakončeno pod stropem krycí mřížkou a filtrem. Odvod vzduchu ze všech bytových jader umístěných nad sebou zajišťuje dvojice stoupaček Ø300 z pozinkovaného plechu opatřených izolací. Ty zasahují, s ohledem na možnost čištění, do suterénu, kde jsou ukončeny pod stropem a zaslepeny. V suterénu umístěná WC jsou odvětrána krátkou odbočkou ze stoupačky odvětrání WC a koupelen. Velikost průtoku vzduchu je ve všech větraných prostorech řízena regulátory průtoku vzduchu. Ty jsou umístěny v horizontálních odbočkách. V instalační šachtě se kromě vzduchotechniky nalézá vedení kanalizace, teplé a studené vody a cirkulační potrubí (viz obr. 10). V každém bytě je jedno bytové jádro a instalační šachta (viz obr. 11).

Stoupačky jsou ukončeny v prostupu střešním panelem, na který je upevněna sběrná komora. Ta je potrubím Ø405 propojena s ventilátorem. Tím je ventilátorový agregát NRC 8-1 o příkonu 0,37 kW. Ventilátor je spouštěn spínači, které jsou umístěny v každém bytě u kuchyňské linky, sociálního zařízení a v suterénu v prostoru WC. Při spuštění je doba chodu

cca 20 minut a jsou současně odsávána všechna bytová jádra nad sebou. Přívod vzduchu je zajištěn infiltrací okny a dveřmi, případně otevřenými okny. V bytech o dispozici 1+1 a 1+kk je přívod vzduchu zajištěn přívodní stoupačkou 400x200mm procházející všemi podlažími nad střechu, kde je zakončena větracím nástavcem. V suterénu je zakončena a zaslepena pod stropem. V každém bytě je stoupačka opatřena odbočkou s přetlakovou klapkou, ventilátorem ELKO o příkonu 30 W a krycí mřížkou. Ventilátor je spouštěn samostatným spínačem umístěným v každém bytě.



Obr. 10 Schéma instalační šachty



Obr. 11 Rozmístění stoupacích potrubí vzduchotechniky v půdorysu podlaží

Současný stav vzduchotechnického systému je zdokumentován fotografiemi (viz obr. 12 až 17).



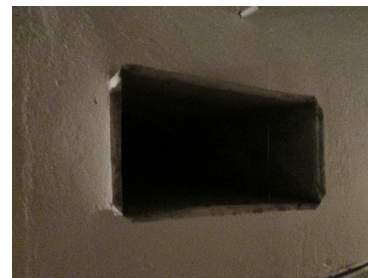
Obr. 12 Vlevo sběrná komora a odvětrání kanalizace, vpravo ventilátor NRC 8-1 připojený potrubím $\varnothing 405$



Obr. 13 Zakončení dvojice odvodních stoupaček $\varnothing 300$ v nejnižším podlaží



Obr. 14 Krycí stříška přívodní šachty



Obr. 15 Zakončení přívodní šachty 400x200 v nejnižším podlaží



Obr. 16 Napojení vodorovné odbočky $\varnothing 100$ do odvodní šachty

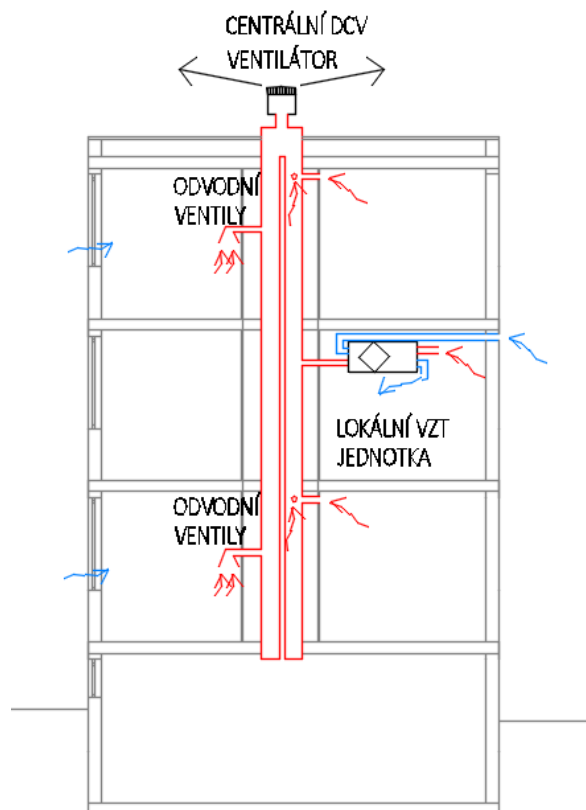


Obr. 17 Automatický regulátor průtoku vzduchu osazený v odbočce

5. Koncepce rekonstrukce

Cílem rekonstrukce vzduchotechniky v bytovém domě Bukolská 772-774 je nejen obnovení funkce původního systému, ale i návrh moderního systému větrání bytového domu, který se ani za desítky let užívání nebude jevit zastaralým. Takový systém musí reflektovat individuální potřeby a ekonomické možnosti vlastníků jednotlivých bytových jednotek v objektu. Návrh musí respektovat existenci současných vzduchotechnických prvků, minimalizovat stavební zásahy v jednotlivých bytech a být ekonomický jak v krátkodobém, tak v dlouhodobém měřítku. Současně musí splňovat požadavky na vnitřní prostředí a platnou legislativu.

Vzhledem k přednostem i záporům možných podob rekonstrukce větrání zmíněných v teoretické části práce a výše zmíněnému stavu vzduchotechniky je navržena kombinace standartního DCV systému pro větrání kuchyní, koupelen a WC všech bytů a případných individuálních VZT jednotek zajišťující rovnotlaké větrání v rozsahu jednoho bytu (viz obr. 18). Taková kombinace zajistí uspokojení základních potřeb všech obyvatel objektu a dodržení soudobých legislativních požadavků. Zároveň umožňuje dosažení zvýšeného komfortu pro obyvatele vybraných bytů.



Obr. 18 Schéma navrženého systému

6. Návrh DCV systému

6.1. Popis systému

6.1.1. Princip systému

Stávající střešní ventilátor bude nahrazen novým s možností automatické regulace otáček na základě signálu z tlakového čidla. Ventilátor bude trvale zapnutý v režimu minimálního výkonu. Tak bude trvale vytvářet ve stoupačce mírný podtlak, který nedovolí zpětnému samovolnému pronikání pachů do jednotlivých bytů. Podtlak bude neustále měřen tlakovým čidlem, které je součástí dodávky ventilátoru.

V každém bytě budou v koupelně, kuchyni a WC odstraněny současné regulátory a krycí mřížky. Místo nich budou osazeny elektricky ovládané talířové ventily. V okamžiku požadavku na větrání kterékoli místnosti dojde k otevření příslušného odvodního ventilu. Tím poklesne tlak ve stoupačce, což zaznamená tlakové čidlo střešního ventilátoru. Výkon ventilátoru se díky automatické regulaci průběžně přizpůsobuje počtu otevřených ventilů ve stoupačkách. Navržený systém může tak přinést značné úspory elektrické energie oproti systémům s ventilátorem, který umožňuje pouze stav vypnuto nebo naopak zapnuto na 100 % výkonu.

Je zřejmé, že mezi jednotlivými ventily a centrálním ventilátorem není třeba žádná elektrická vazba. To zabraňuje poruchám systému a ovlivnění funkčnosti uživatelskými zásahy.

6.1.2. Parametry systému

Systém centrálního podtlakového větrání bude tvořen přívodními prvky do interiéru, odvodními prvky v koupelně, kuchyni a WC, stávající odváděcí šachtou a centrálním ventilátorem s tlumičem hluku, umístěným na střeše objektu.

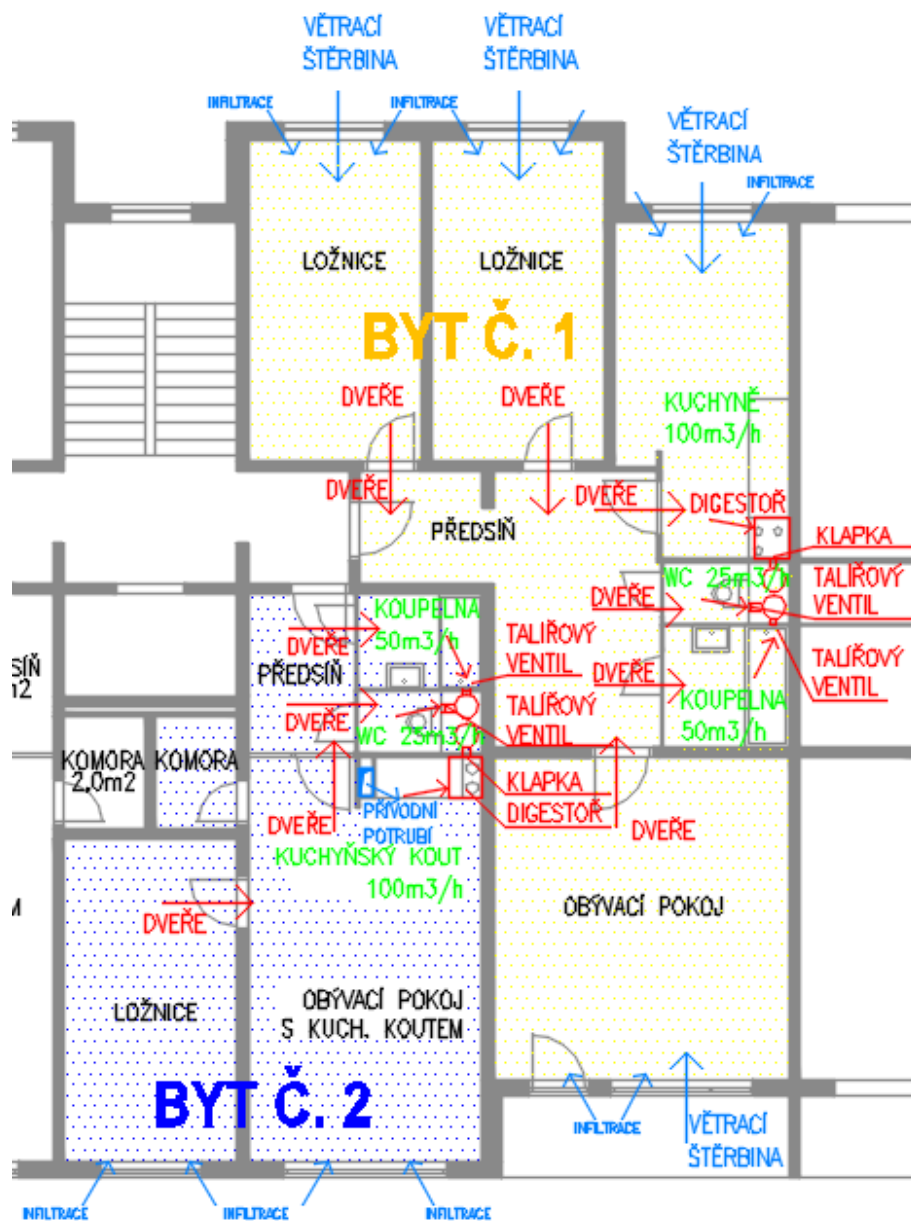
Větrací systém je navržen dle platných vyhlášek a norem (viz kapitola 2) pro návrh odvětrání hygienického zařízení bytů. Návrh jednotlivých prvků vychází z požadovaného průtoku větracího vzduchu, tlakových ztrát jednotlivých prvků a akustiky. Systém je navržen tak, aby zajistil minimální požadovaný průtok větracího vzduchu při nejnepříznivějších tlakových podmínkách (zavřená okna a dveře, soudobost používání více větraných prostor najednou apod.). Množství větracího vzduchu vychází z požadavků normy ČSN EN 15 665 (viz tab. 5).

	WC	Koupelna	Kuchyně
Min. průtok [m ³ /h]	25	50	100

Tab. 5 Návrhové požadavky na množství větracího vzduchu

6.1.3. Postup návrhu

Návrh a posouzení systému se skládá z návrhu přírodních a odvodních prvků na základě navržených průtoků (viz tab. 5). Dále pak z určení jejich tlakové ztráty a z toho vycházejícího návrhu centrálního ventilátoru. Vzhledem k totožnosti sociálního zázemí a stávajících odvodních stoupaček ve všech bytech je návrh stejný pro všechny byty nacházející se v objektu. Pouze návrh přírodních prvků se liší pro byt č. 1 a byt č. 2 (viz obr. 19).



Obr. 19 Schéma bytu z pohledu proudění větracího vzduchu

Ve výpočtech není předpokládáno využívání všech větraných prostor v celém objektu najednou. V rámci jednoho bytu je uvažována současnost užívání dvou odvětrávaných prostor ze tří. V rámci jedné stoupačky je uvažována 75% soudobost.

6.2. Návrh a posouzení přívodních prvků – byt č. 1

Přívod vzduchu do hygienického zázemí je zajištěn převáděním vzduchu ze sousedních místností, kam je dodáván infiltrací vzduchu spárovou netěsností oken a přívodními štěrbinami instalovaných do rámu stávajících oken. Štěrbiny budou instalovány v každé obytné místnosti a tak mohou zajišťovat i přirozené větrání těchto prostor. Mohou být nahrazeny jinými obdobnými přívodními prvky (např. přívodní štěrbinami za radiátory, okna se systémem mikroventilace apod.) s podobnými tlakovými charakteristikami. Je třeba také uvážit vliv interiérových dveří, které brání převádění vzduchu mezi jednotlivými místnostmi.

Tlaková ztráta je určena pro množství přiváděného vzduchu 150 m³/h. Tato hodnota vychází z požadavků na větrání (viz tab. 5) a současnosti stanovené v kapitole 6.1.3.

6.2.1. Tlaková ztráta vnitřních dveří

Je možné uvažovat existenci původních či nových standardních interiérových dveří. Takové dveře neobsahují žádné těsnění a mají spáru cca 1 mm a více po celém obvodu.

Pro určení tlakové ztráty jsou jednotlivé dveře uvažovány jako místní odpor, konkrétně hydraulicky jako takzvaný vtok do potrubí s ostrou vstupní hranou, $\zeta = 0,5$ (výpočtové tabulky). Ztráta třením je vzhledem k minimální tloušťce dveří zanedbatelná.

$$\text{Tlaková ztráta } \Delta p_m = \zeta \cdot w^2 \cdot \rho / 2$$

w – rychlost proudění

$$= \frac{V}{S}$$

V – průtok vzduchu 50 m³/h (odhad)

S – plocha otvoru 0,0054 m²

(1mm spára délky 5400 mm)

$$= \frac{50}{0,0054} \text{ m/h}$$

$$= 2,57 \text{ m/s}$$

$$= 0,5 \cdot 2,57^2 \cdot 1,25 / 2$$

$$= 2,1 \text{ Pa}$$

Vzhledem k velikosti ostatních tlakových ztrát (viz kapitola 6.6) je zřejmě možné vliv dveří na proudění vzduchu zanedbat. V případě existence těsných dveří s nízkou průvzdušností je vhodné osadit dveřní větrací mřížku nebo jiný prvek zajišťující distribuci vzduchu.

6.2.2. Infiltrace

V objektu jsou instalována plastová okna Trocal Confort od firmy AQ okna. Stáří oken činí cca 15 let.

Normativní hodnota spárové průvzdušnosti těchto oken byla naměřena $0,013$ až $0,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$ (Mrlík, 2010a). Vzhledem k nedokonalostem zabudování a stárnutí okna je třeba tuto hodnotu navýšit 8 až 17 krát (Mrlík, 2010b). Ve výpočtu je tedy uvažována hodnota spárové průvzdušnosti $i_{LV} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$.

Objem přiváděného vzduchu infiltrací :

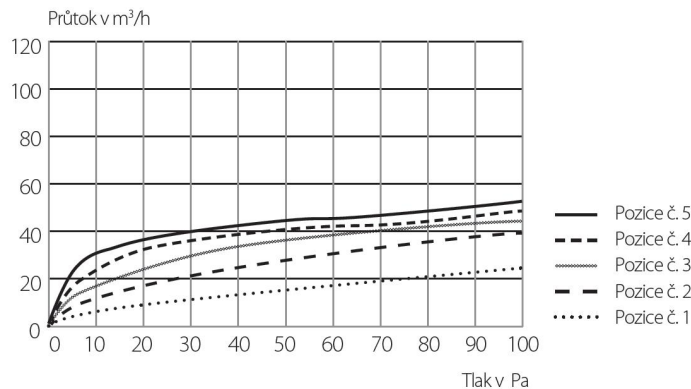
$$V_{\text{inf}} = i_{LV} \cdot L \cdot \Delta p^{0,67}$$

L = délka spar 35,4 m (4 okna 1600/1500, okno 500/1500, dveře 900/2400) .

$$V_{\text{inf}} = 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 35,4 \cdot \Delta p^{0,67} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

6.2.3. Štěrbiny

Ve výpočtu jsou použity technické charakteristiky manuální přivodní štěrby Bristec EFR. Vztah tlakové ztráty a průtoku vzduchu této štěrby je vyjádřen následujícím grafem (obr. 20):

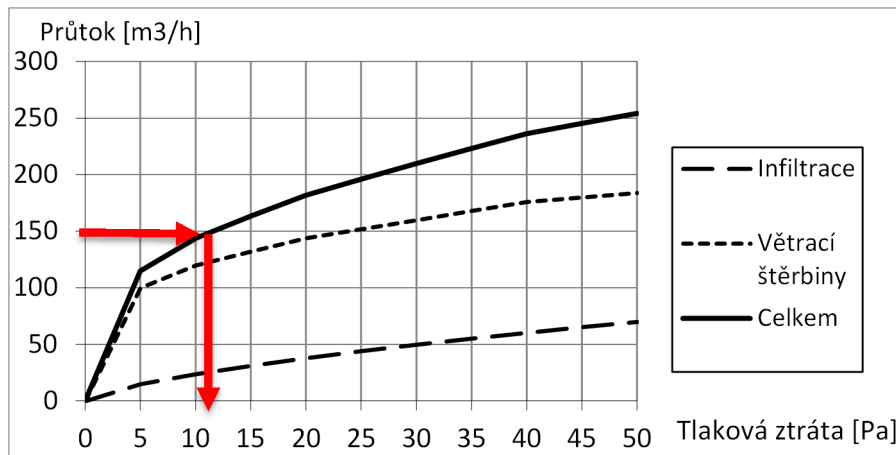


Obr. 20 Závislost průtoku vzduchu štěrbinou EFR na statickém tlaku a nastavení štěrby (převzato z technického listu)

V grafu jsou použity různé křivky pro různý stupeň manuálního otevření štěrby. Dále ve výpočtech je uvažována pozice číslo 5 (tzn. plné otevření štěrby).

6.2.4. Souhrn

Součet infiltrace a přívodu vzduchu 4 štěrbinami (viz obr. 19) v závislosti na statickém tlaku je možno vyjádřit následujícím grafem (obr. 21):



Obr. 21 Závislost průtoku vzduchu přírodními prvky (infiltrace+4 štěrbin) na statickém tlaku

Tlaková ztráta přírodních prvků při požadovaném přívodu čerstvého vzduchu 150 m³/h činí 11 Pa.

6.3. Návrh a posouzení přírodních prvků – byt č. 2

Přívod vzduchu do hygienického zázemí je zajištěn převáděním vzduchu ze sousedních místností, kam je dodáván infiltrací spárovou netěsností oken a stávající svislou ventilační šachtou.

6.3.1. Infiltrace

Popis instalovaných oken a určení jejich spárové průvzdušnosti $i_{LV}=0,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}$ jsou uvedeny v kapitole 6.2.2.

Objem přiváděného vzduchu infiltrací:

$$V_{inf} = i_{LV} \cdot L \cdot \Delta p^{0,67}$$

L = délka spar 14m (okno 1600/1500, okno 2400/1500);

Δp = 13 Pa (viz kap. 6.3.2)

$$V_{inf} = 0,4 \cdot 10^{-4} \cdot 14 \cdot 13^{0,67} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$V_{inf} = 11,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

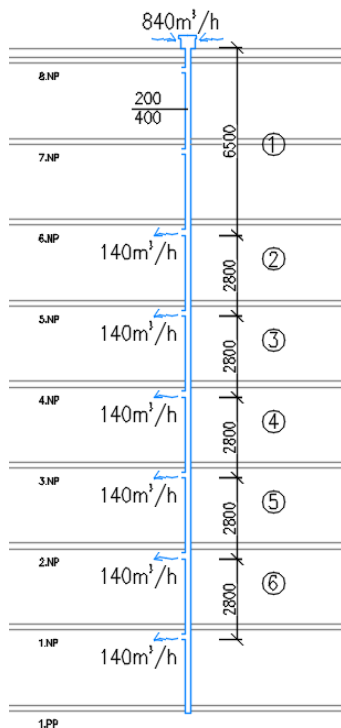
6.3.2. Přívod potrubím

Přívod vzduchu bude zajišťovat stávající potrubí 400/200 z pozinkovaného plechu s odbočkami 150x150 v každém bytě. Současnost využití stoupačky je uvažována cca 75%.

Při přívodu vzduchu 140 m³/h stoupačkou (který spolu s infilrací zajišťuje požadovaný průtok 150 m³/h) činí tlaková ztráta stoupačky 13 Pa. Výpočet je proveden v následující tabulce (tab. 6). Potrubí je rozděleno na jednotlivé úseky dle průtoku vzduchu (viz obr. 22).

Výpočet tlakových ztrát													
Číslo úseku	Objemový průtok V	Délka úseku L	Rozměr potrubí $A \times B$	Rychlost proudění w	Ekvivalentní průměr d	Reynoldsonovo číslo Re	Součinitel třecích ztrát λ	Tlaková ztráta třením $\Delta p_{t,i}$	Vložené odpory	Součinitel místní ztráty ζ	Tlakové ztráty místními odpory $\Delta p_{m,i}$	Celková tlaková ztráta úseku Δp_i	
	[m ³ /h]	[m]	[mm]	[m ² /s]	[m]	[-]	[-]	[Pa]		[-]	[Pa]	[Pa]	
1	840	6,5	400x200	2,9	0,27	59 829	0,022	2,9	Hlavice	0,6	3,2	6,1	
2	700	2,8	400x200	2,4	0,27	49 858	0,023	0,9	T kus	0,3	1,1	2,0	
3	560	2,8	400x200	1,9	0,27	39 886	0,024	0,6	T kus	0,4	0,9	1,5	
4	420	2,8	400x200	1,5	0,27	29 915	0,025	0,3	T kus	0,5	0,7	1,0	
5	280	2,8	400x200	1,0	0,27	19 943	0,027	0,2	T kus	0,7	0,4	0,6	
6	140	2,8	400x200	0,5	0,27	9 972	0,032	0,0	T kus	1,7	0,3	0,3	
		0	150x150	1,7	0,15	19 943	0,028	0,0	T kus	0,6	1,1	1,1	
Celková tlaková ztráta $\Delta p =$												13	
Vzorce použité při výpočtu:													
$w = V / (A \cdot B)$			$\lambda = 1,325 / (\ln(\epsilon / 3,7 \cdot d + 5,74 / Re^{0,9}))^2$				hustota vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$						
$d = 4 \cdot (A \cdot B) / (2 \cdot A + 2 \cdot B)$			$\Delta p_{t,i} = \lambda \cdot w^2 \cdot L \cdot \rho / 2d$				drsnost potrubí (poziink) $\epsilon = 0,15 \text{ mm}$						
$Re = w \cdot d / \nu$			$\Delta p_{m,i} = \zeta \cdot w^2 \cdot \rho / 2$				kin. viskozita vzduchu $\nu = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$						
z dle hydraulických tabulek a softwaru qpro.cz													

Tab. 6 Výpočet tlakové ztráty přívodní stoupačky



Obr. 22 Schéma přívodního potrubí z hlediska výpočtu tlakových ztrát

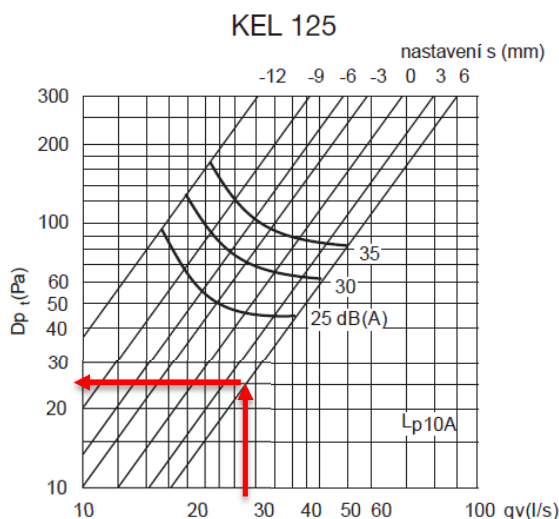
6.4. Návrh a posouzení odvodních prvků

Pro odvod vzduchu budou použity elektricky ovládané talířové ventily s elektrickými spínači. Pro spouštění stávajících bezmotorových digestoří bude instalována regulační klapka se servopohonem. Ten bude ovládán stávajícím spínačem na digestoři. V koupelně a WC budou osazeny zpětné klapky z důvodu možnosti instalace lokálních VZT jednotek s odvodem vzduchu do stoupačky odvětrání koupelen a WC.

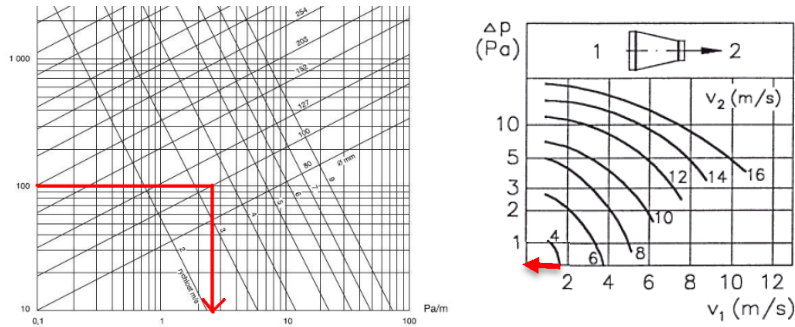
Nastavení odvodních prvků bude provedeno anemometrem. Pro distribuční element s předpokládaným největším tlakovým odporem je určena jeho tlaková ztráta při plném otevření. Ta bude jedním z podkladů pro návrh střešního ventilátoru. Kritickým ventilem je talířový ventil v kuchyni z důvodu velikosti průtoku ($100 \text{ m}^3/\text{h}$ v kuchyni oproti $50 \text{ m}^3/\text{h}$ v koupelně či $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na WC). Ten bude instalován v případě, že majitel bytu odstraní původní bezmotorovou digestoř a nahradí ji cirkulační. Vzhledem k principu systému větrání je nevhodné napojení digestoře s vestavěným ventilátorem přímo do společné větrací šachty.

6.4.1. Určení tlakové ztráty

V kuchyni je požadovaný minimální odvod vzduchu $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (28 l/s). Pro výpočet je uvažován elektricky ovládaný odvodní talířový ventil KEL 125. Ten bude napojen do stávající odbočky v odváděcí šachtě přechodem 125/100 a flexibilní hadicí $\text{Ø}100$ dl. 1 m. Talířový ventil bude mít nastavenou maximální šířku štěrby, tedy $s=6 \text{ mm}$. Tlaková ztráta těchto prvků je stanovena příslušnými nomogramy (obr. 23,24,25) pro požadovaný průtok celkem jako 27 Pa .



Obr. 23 Stanovení tlakové ztráty talířového ventilu KEL 125 v kuchyni (graf převzat z technického listu)



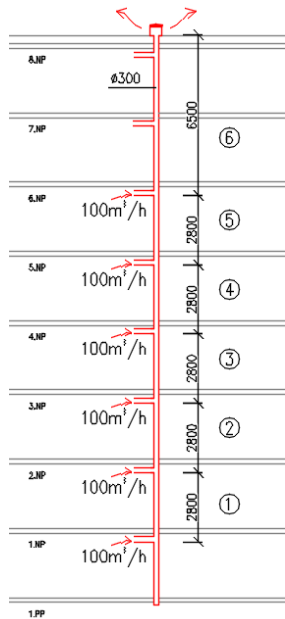
Obr. 24 a 25 Určení tlakové ztráty flexibilního potrubí a přechodu 125/100 (grafy převzaty z technických listů)

6.5. Tlaková ztráta odvodní stoupačky

Odvod vzduchu bude zajišťovat stávající dvojice potrubí Ø300 z pozinkovaného plechu. Současnost využití stoupačky je uvažována 75%. Výpočet je proveden pro potrubí, do kterého jsou zaústěny odbočky z kuchyní, z důvodu vyššího návrhového průtoku vzduchu oproti druhé šachtě, do které jsou zaústěny odbočky z koupelen a WC (100 m³/h oproti 25+50 m³/h v každém podlaží). Výpočet je proveden v následující tabulce (tab. 7). Potrubí je rozděleno na jednotlivé úseky dle průtoku vzduchu (viz obr. 26).

Výpočet tlakových ztrát												
Číslo úseku	Objemový průtok V	Délka úseku L	Rozměr potrubí Ø	Rychlost proudění w	Ekvivalentní průměr d	Reynoldsonovo číslo Re	Součinitel třecích ztrát λ	Tlaková ztráta třením Δp _{t,i}	Vložené odpory	Součinitel místní ztráty ζ	Tlakové ztráty místními odpory Δp _{m,i}	Celková tlaková ztráta úseku Δp _i
	[m ³ /h]	[m]	[mm]	[m ² /s]	[m]	[-]	[-]	[Pa]		[-]	[Pa]	[Pa]
1	100	0	100	3,5	0,10	27 206	0,028	0,0	T kus	1,1	8,6	8,6
		2,8	300	0,4	0,30	9 069	0,033	0,0	T kus	1,2	0,1	0,1
2	200	2,8	300	0,8	0,30	18 137	0,028	0,1	T kus	0,7	0,3	0,4
3	300	2,8	300	1,2	0,30	27 206	0,025	0,2	T kus	0,5	0,4	0,6
4	400	2,8	300	1,6	0,30	36 275	0,024	0,3	T kus	0,4	0,6	1,0
5	500	2,8	300	2,0	0,30	45 343	0,023	0,5	T kus	0,4	1,0	1,5
6	600	6,5	300	2,4	0,30	54 412	0,022	1,7	Sběrná komora	0,5	1,7	3,4
Celková tlaková ztráta Δp=											16	
Vzorce použité při výpočtu:												
$w=V/(A \cdot B)$				$\lambda=1,325/(\ln(\epsilon/3,7 \cdot d+5,74/Re^{0,9}))^2$			hustota vzduchu $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$					
$d=4 \cdot (A \cdot B)/(2 \cdot A+2 \cdot B)$				$\Delta p_{t,i}=\lambda \cdot w^2 \cdot L \cdot \rho/2d$			drsnost potrubí (pozink) $\epsilon=0,15 \text{ mm}$					
$Re=w \cdot d/v$				$\Delta p_{m,i}=\zeta \cdot w^2 \cdot \rho/2$			kin. viskozita vzduchu $\nu=1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$					
ζ dle hydraulických tabulek a softwaru qpro.cz												

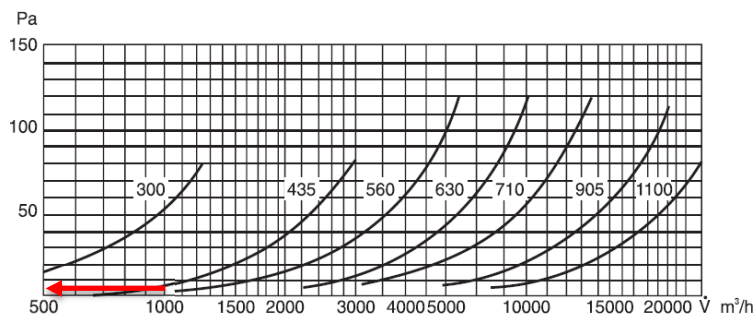
Tab. 7 Výpočet tlakových ztrát odvodní stoupačky



Obr. 26 Schéma odvodního potrubí z hlediska výpočtu tlakových ztrát

6.6. Tlumič hluku

Vzhledem k umístění centrálního ventilátoru v blízkosti odvětrávaných prostor a jeho značné hlučnosti (viz kap. 6.8) bude použit tlumič hluku umístěný na sběrné komoře. Návrhový průtok činí $1050 \text{ m}^3/\text{h}$ (současnost využití stoupačky 75 % viz kap. 6.1). Tlumič JAA 435 je zvolený dle typu ventilátoru (viz kap. 6.7). Tlaková ztráta činí dle nomogramu tlumiče (obr. 27) 5 Pa.



Obr. 27 Tlaková ztráta tlumiče hluku JAA (převzato z technického listu)

6.7. Souhrn tlakových ztrát

Tlakové ztráty jednotlivých částí větracího systému jsou shrnuty v následující tabulce (tab. 8):

Přívodní elementy (větrací štěrby, přívodní potrubí)	13 Pa
Odvodní elementy (talířové ventily, klapky)	27 Pa
Odvodní potrubí (stávající stoupačka)	16 Pa
Tlumič hluku	5 Pa
Celkem	61 Pa

Tab. 8 Souhrn tlakových ztrát větracího systému

6.8. Návrh centrálního ventilátoru

Centrální ventilátor zajišťující odvětrání objektu bude umístěn na stávající dvouplášťové dřevěné střeše. Z důvodů uživatelského komfortu bude doplněn příslušným tlumičem hluku. Veškeré podrobnosti jsou zřejmé z výkresové dokumentace.

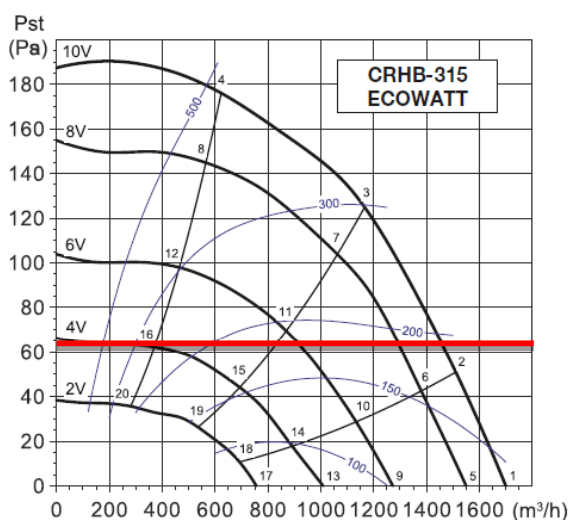
Ventilátor musí odpovídat koncepci větracího systému a odvádět požadované množství vzduchu při vypočteném tlakovém odporu. Všechny tyto parametry jsou stanoveny v přechozích kapitolách a zde shrnuty:

- typ: střešní ventilátor s automatickou regulací otáček na základě tlakového čidla;
- maximální průtok: 1050 m³/h;
- maximální podtlak: 61 Pa.

Na současném trhu existuje řada výrobků s těmito parametry, např. MX110, CRHB-315 či GRD 22. Z uvedených je zvolen CRHB 315 Ecowatt s příslušným tlumičem hluku JAA 435 z důvodu nejvhodnější charakteristiky hluku přenášeného do odvětrávaných místností⁵.

⁵ Ventilátor MX má nejvyšší hlučnost (71 dB) v oktávovém pásmu 125 Hz, pro které jsou příslušné tlumiče zcela neúčinné (JAA útlum 1 dB, GDH útlum 2 dB), CRHB-315 má nejvyšší hlučnost (64 dB) v oktávovém pásmu 2000 Hz v kterém dobře pracují příslušné tlumiče (JAA útlum 25 dB, GDH útlum 18 dB), ventilátor GRD 22 nemá charakteristiky v jednotlivých oktávových pásmech stanoveny. (hodnoty převzaty z technických listů jednotlivých ventilátorů)

Požadavek na průtok je ověřen grafem znázorňující výkonovou charakteristiku (obr. 28).



Obr. 28 Výkonové charakteristiky ventilátoru CRHB-315 (převzato z technického listu)

Z následujícího výpočtu (tab. 9) je zřejmé, že hluk přenášený do bytů v nejvyšším podlaží z centrálního ventilátoru vyhovuje požadavkům Nařízení vlády č. 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Limitem je dovolený hluk v obytných místnostech v denní dobu 40 dB (ze všech obytných místností v bytě se navrhované větrání týká pouze kuchyně a v ní lze očekávat pobyt osob pouze v denní dobu). Hluk výústky je zanedbatelný (<25dB viz kap. 6.4.1).

Výpočet útlumu hluků									
Úsek	f [Hz]								Akustický tlak L_A [dB]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Hluk z ventilátoru	36	41	48	52	57	64	47	36	74
Útlum tlumiče		1	7	16	23	25	18	13	
Potrubí, odbočka	zanedbatelné								
Útlum výústky	19	15	10	6	1				
Celkem za výústkou	17	25	31	30	33	39	29	23	41
Útlum vzdáleností kontrolního bodu	(vzdálenost $r=1m$, směrovost $Q=4$, pohltivost stěn odhad $\alpha=0,3$)								-5
	Celkem v kontrolním bodě								36
Vzorce použité ve výpočtu:									
$D_{výústka} = 30,9 - 14,85 \cdot \log(f \cdot v(B \cdot H))$ (B, H - šířka, výška)									
$L_A = 10 \cdot \log(\sum 10^{0,1 \cdot L_{w,A}})$									
$D_{kontrolní bod} = 10 \cdot \log(Q / (4 \cdot \pi \cdot r))$									

Tab. 9 Výpočet přenášeného hluku z centrálního ventilátoru (parametry ventilátoru CRHB-315 a tlumiče JAA 435 převzaty z technických listů)

7. Návrh lokálního rovnotlakého větrání

V této kapitole je popsána koncepce řešení lokálního rovnotlakého větrání. Jeho úkolem je zajistit komfortní vnitřní prostředí v celém prostoru bytu. Pro jeden byt (byt č. 1) je proveden ukázkový podrobný návrh a posouzení větrací jednotky a vzduchotechnických rozvodů včetně výkresové dokumentace.

Čerstvý vzduch bude přiváděn v případě bytu č. 1 horizontálním potrubím z fasády. V případě bytu č. 2 bude VZT jednotka napojena do stávající přívodní stoupačky umístěné v prostoru kuchyně. Odvod znečištěného vzduchu bude v obou variantách realizován současným odvodním potrubím v bytovém jádře. Jednotka bude zavěšena pod strop v předsíni a zakryta podhledem.

7.1. Požadavky

Základním požadavkem je zajistit větrání čerstvým vzduchem všech obytných prostor bytu. Množství větracího vzduchu je navrženo dle hodnot v normě ČSN EN 15 665 (viz tab. 10).

	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h·os)]	Kuchyně [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
Min. průtok [m ³ /h]	0,3 - 0,5	15 - 25	100 - 150	50 - 90	25 - 50

Tab. 10 Návrhové požadavky na množství větracího vzduchu

Čerstvý vzduch bude přiváděn do obytných místností, odtud převáděn přes komunikační prostory a odváděn z koupelny, WC a kuchyně.

Častým požadavkem uživatelů stávajících bytů je zajistit chlazení v letním období. Pokud je tento požadavek řešen na lokální úrovni, v rámci jednoho bytu, je limitujícím faktorem možnost umístit venkovní jednotku chlazení na fasádu objektu. Ta obvykle vykazuje značnou hlučnost a je tedy prakticky nemožné získat povolení ostatních vlastníků bytových jednotek pro její montáž na fasádu⁶. Řešením tohoto problému mohou být kompaktní vzduchotechnické jednotky označované jako *aktivní rekuperace*, jež vyrábí například firmy Nilan či Elmet. Ty umožňují chlazení přiváděného vzduchu bez přívodu chladícího média z venkovní jednotky. Technicky se jedná o tepelné čerpadlo vzduch-vzduch, které odebírá teplo ze vzduchu přiváděného a předává jej do odváděného. V zimním období probíhá výměna samozřejmě

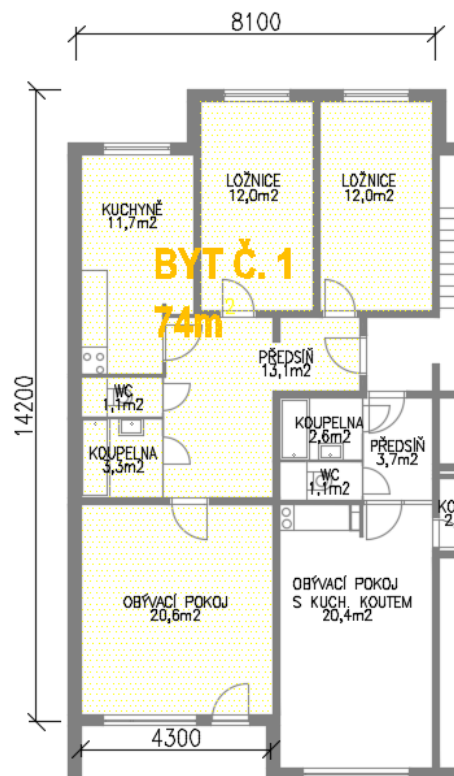
⁶ Dle zákona 89/2012 Sb. (občanský zákoník) §1160 (2) je fasáda společnou částí objektu a dle §1175 (1) nesmí vlastníci jednotky měnit společné části. Z toho vyplývá nutnost povolení zásahů do fasády.

naopak. Kromě jiných je výhodou tohoto technického řešení možnost chlazení přiváděného vzduchu.

7.2. Výpočet tepelné zátěže bytové jednotky

Pro návrh a posouzení chlazení bytu je proveden výpočet tepelné zátěže jedné bytové jednotky dle normy ČSN 73 0548 Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Z celého domu je vybrán byt s největší tepelnou zátěží, tedy byt v krajní sekci v posledním podlaží. Výpočet je zjednodušený a slouží k předběžnému návrhu a posouzení.

Základní hodnoty pro výpočet jsou patrné z půdorysu bytu (viz obr. 29). Světlá výška místností je 2,5 m. Okenní otvory směřují na východ a na západ. Návrhová vnitřní teplota t_i je uvažována 24°C a venkovní teplota $t_e = 32^\circ\text{C}$ ⁷ dle běžných doporučení pro návrh klimatizačních zařízení (Drkal, Zmrhal, 2013).



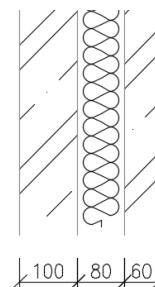
Obr. 29 Schéma bytu pro výpočet tepelné zátěže

⁷ Například v roce 2015 byla venkovní teplota 32°C dosažena 19 dní v roce

Tepelné zisky stěnami

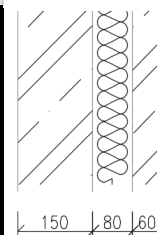
Součinitele prostupu tepla obvodových stěn činí $0,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (viz tab. 11 a 12).

Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce				
Konstrukce: Sendvičkový panel				
Material	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Tepelný odpor R [m ² ·K/W]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně			0,13	
Železobeton	0,100	1,6	0,06	
Polystyren	0,080	0,05	1,60	
Železobeton	0,060	1,6	0,04	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně			0,04	
CELKEM			1,87	0,53



Tab. 11 Výpočet součinitele prostupu tepla ŽB panelem - průčelí

Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce				
Konstrukce: Sendvičkový panel				
Material	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Tepelný odpor R [m ² ·K/W]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně			0,13	
Železobeton	0,150	1,6	0,09	
Polystyren	0,080	0,05	1,60	
Železobeton	0,060	1,6	0,04	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně			0,04	
CELKEM			1,90	0,53



Tab. 12 Výpočet součinitele prostupu tepla ŽB panelem – štít

Při zanedbání teplotního kolísání na vnitřním povrchu zdi je určen tepelný zisk stěnami následujícím výpočtem:

$$Q_{zdi} = U_{zed} \cdot A_{zed} \cdot (t_{rm} - t_i)$$

t_{rm} – průměrná rovnocenná slun. teplota $29,7^\circ\text{C}$ (dle tab. 13 normy)

$$U_{zed} = 0,53 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \text{ (viz výše)}$$

$$A_{zed} = 56,7 \text{ m}^2 \text{ (viz půdorys, konstrukční výška 2,8 m)}$$

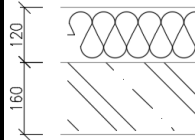
$$= 0,53 \cdot 56,7 \cdot (29,7 - 24)$$

$$= 171 \text{ W}$$

Tepelné zisky stropem (střechou)

Objekt je zastřešen větranou dvouplášťovou střechou s větranou mezerou, a proto je ve výpočtu uvažována pouze spodní plášť - strop. Součinitele prostupu tepla obvodových stěn činí 0,48 W/m²·K (viz tab. 13).

Výpočet součinitele prostupu tepla konstrukce				
Konstrukce: Dvouplášťová střecha				
Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Tepelný odpor R [m ² ·K/W]	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně			0,13	
Železobeton	0,160	1,6	0,10	
Minerální vlna	0,120	0,07	1,71	
Odpor vzduchové mezery			0,13	
CELKEM			2,07	0,48



Tab. 13 Výpočet součinitele prostupu tepla střešním pláštěm

Tepelný zisk je určen následujícím výpočtem:

$$Q_{\text{strop}} = U_{\text{strop}} \cdot A_{\text{strop}} \cdot (t_{\text{rm}} - t_i)$$

t_{rm} – průměrná rovnícná slun. teplota 29,7°C (dle tab. 13 normy)

$U_{\text{strop}} = 0,48 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (viz výše)

$A_{\text{strop}} = 74 \text{ m}^2$ (viz půdorys)

$$= 0,48 \cdot 74 \cdot (29,7 - 24)$$

$$= 202 \text{ W}$$

Tepelné zisky okny konvekcí

Tepelný zisk okenním otvorem konvekcí je určen následujícím výpočtem:

$$Q_{\text{o, konv}} = U_{\text{okno}} \cdot A_{\text{okno}} \cdot (t_e - t_i)$$

$U_{\text{okno}} = 1,65 \text{ W/m}^2$ (okna Trocal Confort⁸)

$A_{\text{okno}} = 12,5 \text{ m}^2$ (4 okna 1600/1500, okno 500/1500, dveře 900/2400)

$$= 1,65 \cdot 12,5 \cdot (32 - 24)$$

$$= 165 \text{ W}$$

⁸ <http://www.tzb-info.cz/12502-problematika-pruvzdusnosti-a-vzduchotesnosti-okna-ii>

Tepelné zisky okny sluneční radiací

Následujícím výpočtem je určen průběh tepelného zisku okny radiací (bez uvažování stínů na okně) v průběhu dne:

$$Q_{o,rad} = A_{okno} \cdot I_0 \cdot C_0 \cdot s \text{ (výsledek zapsán ve formě tabulky (tab. 14))}$$

$$A_{okno, východ} = 7,2 \text{ m}^2 \text{ (3 okna 1600/1500)}$$

$$A_{okno, západ} = 5,3 \text{ m}^2 \text{ (okno 1600/1500, okno 500/1500, dveře 900/2400)}$$

I_0 – Intenzita sluneční radiace dle tab. ČSN 74 0548 pro 21.7,

orientace na východ/západ

	01	111	211	311	411	511	611	711	811	911	1011	1111	1211	1311	1411	1511	1611	1711	1811	1911					
SV	157	236	303	346	378	405	427	445	458	467	472	475	476	475	472	467	458	445	427	405	378	346	303	236	157
V	150	367	505	548	507	389	234	145	142	134	122	105	84	60	33										
JV	62	192	333	440	492	482	411	293	174	134	122	105	84	60	33										
J	33	60	84	119	207	304	374	299	374	304	207	119	84	60	33										
JZ	33	60	84	105	122	134	142	145	142	134	122	105	84	60	33										
Z	33	60	84	105	122	134	142	145	234	389	507	548	503	367	150										
SZ	33	60	84	105	122	134	142	145	142	145	238	346	393	336	157										
HP	60	157	286	424	560	677	736	768	736	677	560	424	286	157	60										

C_0 – korekce čistoty atmosféry

$$= 0,85 \text{ (městská část)}$$

s – vliv stínících prvků

$$s_1 = 0,9 \text{ (dvojitě sklo), } s_2 = 0,56 \text{ (vnitřní žaluzie)}$$

Čas	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$Q_{o,rad, východ}$ [W]	463	1036	1212	1067	734	447	438	447	438	413	376	324	259	185	102
$Q_{o,rad, západ}$ [W]	75,2	137	191	239	278	305	324	330	324	330	542	789	896	766	342
$Q_{o,rad}$ [W]	538	1173	1404	1307	1012	753	762	778	762	744	919	1112	1155	951	444

Tab. 14 Tepelný zisk sluneční radiací okny v průběhu dne

Průměrný tepelný zisk za jeden den:

$$Q_{orm} = \sum \frac{Q_{o,rad}}{n}$$

$n = 16$ (počet hodin provozu klimatizačního zařízení (provoz pouze v době

6:00-22:00 z důvodu předpokládané hlučnosti)

$$= 862 \text{ W}$$

Snížení maximálních tepelných zisků od oslunění akumulací tepla konstrukcemi:

$$\Delta Q = 0,05 \cdot M \cdot \Delta t$$

$\Delta t = 2^\circ\text{C}$ (dovolené kolísání vnitřní teploty)

M – hmotnost poloviční tloušťky (max. 0,08m) vnitřních stěn, podlah a stropu

$$M_{podlaha} = \frac{1}{2} \cdot 74 \cdot 0,19 \cdot 2500 = 17\,575 \text{ kg (plný panel 160mm+potěr 30mm,}$$

plocha bytu 74m²)

$$M_{strop} = \frac{1}{2} \cdot 74 \cdot 0,16 \cdot 2500 = 14\,800 \text{ kg (plný panel 160mm, plocha bytu 74m}^2\text{)}$$

$$M_{\text{stěny}} = \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 2,6 \cdot 0,15 \cdot 2500 = 7\,800 \text{ kg (16 m ŽB příček tl. 150 mm o výšce 2,6 m)}$$

$$= 0,05 \cdot (17\,575 + 14\,800 + 7\,800) \cdot 2$$

$$= 4\,018 \text{ W}$$

$Q_{o,rad,max} - \Delta Q = 1404 - 4018 = -2616 \text{ W} \leq Q_{orm} = 862 \text{ W}$ a je tedy možné uvažovat pro návrh klimatizačního zařízení průměrné tepelné zisky radiací.

Tepelné zisky od pobytu lidí

Při předpokládaném pobytu 4 lidí v bytě a přibližném stanovení produkce tepla 55W/os činí tepelný zisk jejich pobytem:

$$Q_{\text{lidé}} = 4 \cdot 55 = 220 \text{ W}$$

Tepelné zisky spotřebičů

Při běžné spotřebě elektřiny 10 kWh za den lze uvažovat průměrný tepelný zisk od elektrických spotřebičů:

$$Q_{\text{spotřebiče}} = \frac{10000}{24} = 417 \text{ W}$$

Tepelné zisky větracím vzduchem

Tepelný zisk přiváděním čerstvého venkovního vzduchu je stanoven následujícím výpočtem:

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_i)$$

V – množství větracího vzduchu 100 m³/h (4 osoby, 25m³/os)

ρ – hustota vzduchu 1,25 kg/m³

c – tepelná kapacita vzduchu 1010 J/(kg·K)

$$= 100 \cdot 1,25 \cdot 1010 \cdot (32 - 24) \text{ J/h}$$

$$= 281 \text{ W}$$

Celkem

V následujícím souhrnu jsou popsány všechny tepelné zisky daného bytu a jejich celkový součet:

Tepelné zisky stěnami	171 W
Tepelné zisky stropem	202 W
Tepelná zátěž okny konvencí	165 W
Tepelná zátěž okny radiací	862 W
Produkce tepla lidí	220 W
Produkce tepla spotřebičů	417 W
<u>Produkce tepla větráním</u>	<u>281 W</u>
Celkem tepelné zisky	2318 W

7.3. Posouzení možnosti chlazení bytu větrací jednotkou

Vypočtená tepelná zátěž 2,3 kW výrazně převyšuje výkonové parametry běžně dostupných malých vzduchotechnických jednotek s integrovaným tepelným čerpadlem (Nilan VPL 15 chladicí výkon 1,3 kW, Elmet Elair chladicí výkon 1,4 kW viz technické listy). Proto se jeví zbytečné je instalovat v navrhovaném systému bytového větrání.

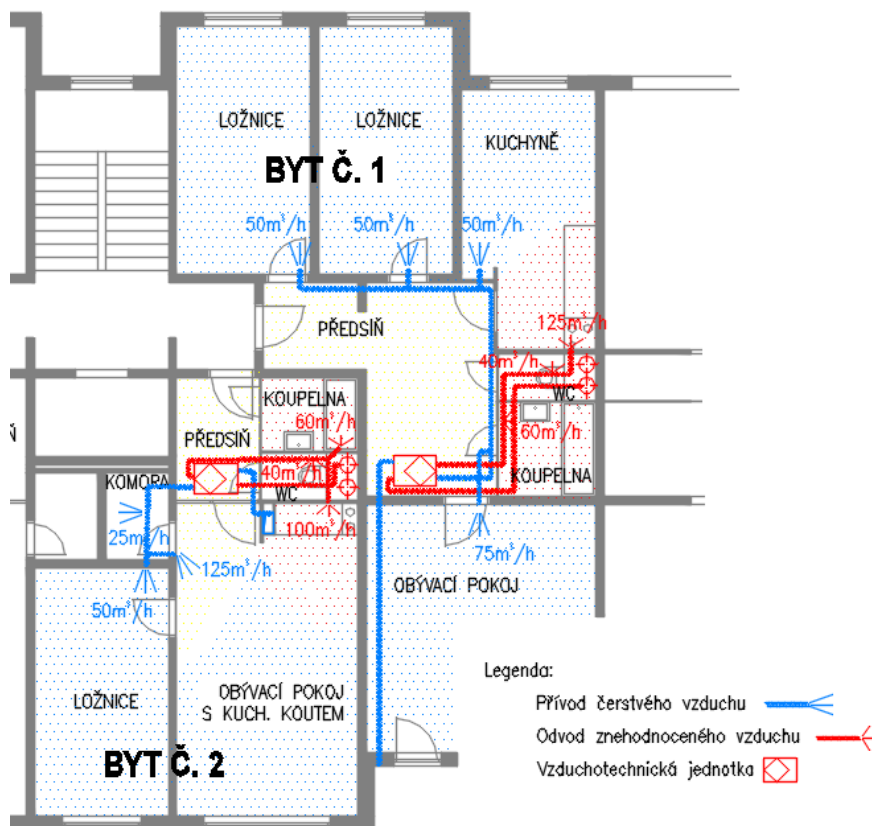
V návrhu lokálního rovnotlakého větrání je tedy dále uvažován pouze požadavek zajištění větrání čerstvým vzduchem všech obytných místností

7.4. Návrh větrací jednotky

V této podkapitole je popsáno řešení lokálního rovnotlakého VZT systému. Pro vybraný byt č. 1 je navržena a posouzena větrací jednotka, rozvody vzduchu a další vzduchotechnická zařízení.

7.4.1. Základní parametry větracího systému

Jak již bylo zmíněno, systém bude přivádět čerstvý vzduch do obytných místností a odvádět z kuchyně, koupelny a WC vzduch znehodnocený. Systém bude řízen čidly CO₂ umístěnými v obytných místnostech a spínači v místnostech s požadavkem na nárazové větrání.



Obr. 30 Schéma lokálního rovnotlakého systému

V běžném provozu bude jednotka poskytovat množství vzduchu pro zajištění intenzity výměny vzduchu $0,3 \text{ h}^{-1}$ v obytných místnostech. Tomu odpovídá celkový průtok cca $45 \text{ m}^3/\text{h}$. V případě požadavku čidla CO_2 či požadavku nárazového větrání bude systém poskytovat zvýšený průtok $225 \text{ m}^3/\text{h}$. Hodnoty množství vzduchu jsou zvoleny s ohledem na technické normy a předpokládané obsazenosti jednotlivých obytných místností (viz obr. 30).

Vzhledem k napojení odvodu vzduchu do společné stoupačky, ve které je udržován podtlak (viz kapitola 6), je třeba systém vybavit regulační klapkou se servopohonem. Ta bude v běžném provozu omezovat průtok vzduchu, aby nedošlo ke vzniku nekontrolovaného podtlakového systému. Při požadavku na maximální výkon bude klapka zcela otevřena. Podtlak ve stoupačce tak bude částečně nahrazovat práci odvodního ventilátoru větrací jednotky.

Výběr vhodné větrací jednotky je proveden s ohledem na vypočtené tlakové ztráty přívodního potrubí 40 Pa (viz výpočet v kapitole 7.4.2) při maximálním průtoku $225 \text{ m}^3/\text{h}$, její hlučnost a možnost instalace do podhledu. Takových jednotek existuje na současném trhu celá řada a je třeba brát v potaz také kvalitu výrobku, cenu, ekonomiku provozu apod. Pro tento návrh je vybrána Duplex 300 Easy z důvodu dostupnosti podrobných technických dat a návrhového softwaru, který umožňuje přesné stanovení hlučnosti při vypočteném výkonu. Jednotka obsahuje dva ventilátory, filtr a rekuperační výměník s by-passem. Dohřev vzduchu je řešen externím ohříváčem. Podrobnosti o navržené jednotce jsou uvedeny v technickém listu (viz příloha 3).

VZT jednotka bude zavěšena pod strop a zakryta podhledem. Vzhledem rozměrům jednotky a příslušenství je zvoleno umístění v předsíni (viz obr. 30).

7.4.2. Stanovení tlakových ztrát

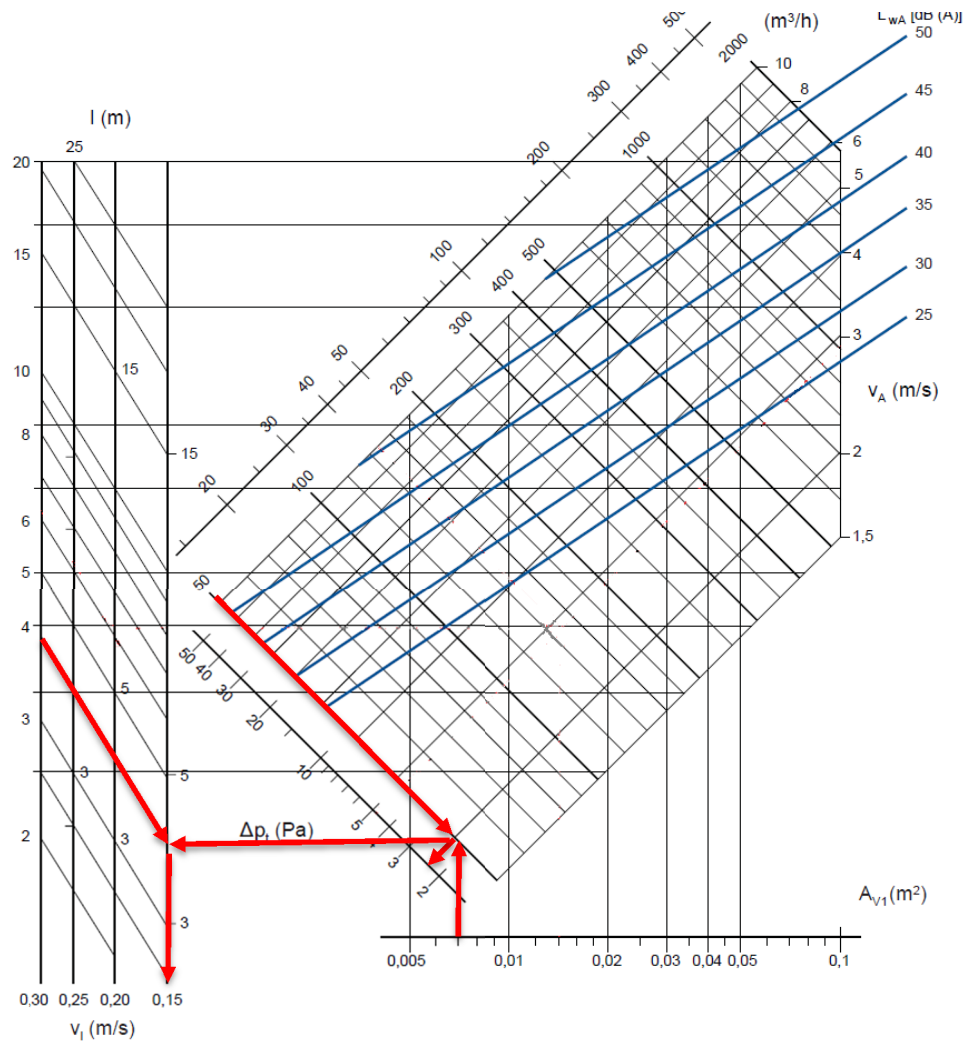
Pro návrh větrací jednotky a posouzení hlučnosti je třeba stanovit tlakovou ztrátu hlavní větve přívodního a odvodního potrubí při maximálním průtoku.

Z důvodu instalace systému do stávajících bytových prostor je požadována minimální prostorová náročnost. Proto je zvoleno užití hranatého potrubí z pozinkovaného plechu spojovaného bez přírub. Větrací jednotka bude na něj napojena ohebným potrubím.

Pro tlumení hluku je navržen tlumič MAA 160/600. Jeho tlaková ztráta je dle technického listu rovna dvojnásobku ztráty *spiro* potrubí se stejným průměrem, tedy $2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ Pa}$.

Čerstvý vzduch bude distribuován do obytných místností stěnovou žaluziovou vyústkou s nastavitelnými lamelami. Ta bude s podporou Coandaova efektu distribuovat vzduch po celé místnosti. Pro výpočet je zvolena například mřížka Nova L – dvouřadá mřížka s nastavitelnými lamelami. Vzhledem k malému objemu přiváděného vzduchu ($50 \text{ m}^3/\text{h}$) je vybrána nejmenší

nabízená velikost 100x200mm. Následujícím nomogramem (obr. 31) je určena tlaková ztráta mřížky jako 2,5 Pa.



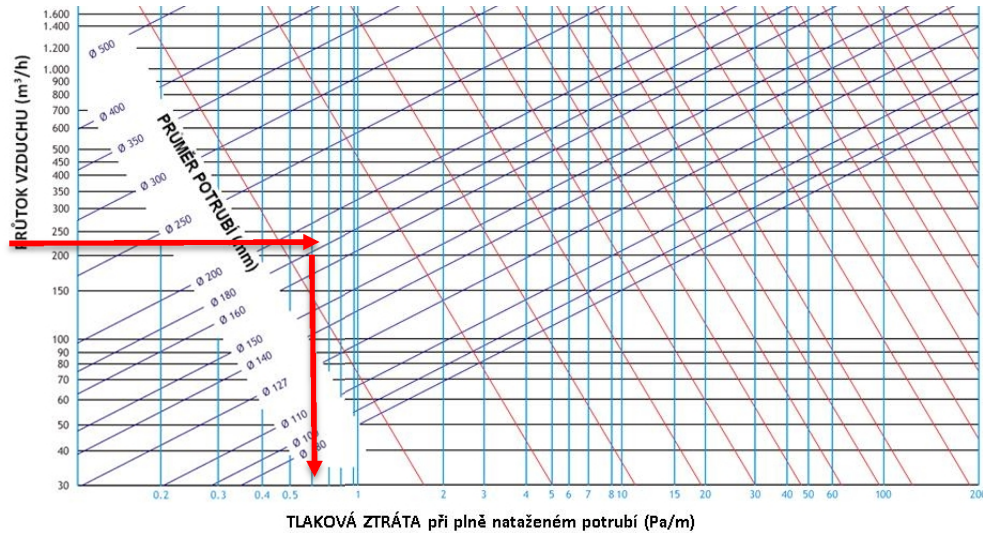
Symboly

- A ...šířka místnosti (m)
- B ...délka místnosti (m)
- H ...vzdálenost od stropu (m)
- l ...dosah proudu vzduchu (m)
- q ...průtok přiváděného vzduchu (m³/h)
- q_l ...průtok vzduchu ve vzdálenosti l (m³/h)
- v₁ ...maximální rychlost v místě pobytu (m/s)
- v_A ...rychlost ve volné ploše (m/s)
- A_{v1} ...volná plocha pro jednořadou mřížku (m²)

- L_{WA} ...hladina akustického výkonu [dB(A)]
- Δp_l ...tlaková ztráta (Pa)
- Δt₀ ...teplotní rozdíl přiváděného vzduchu a vzduchu okolí (°C)
- Δt₁ ...teplotní rozdíl vzduchu okolí ve vzdálenosti l a vzduchu okolí (°C)

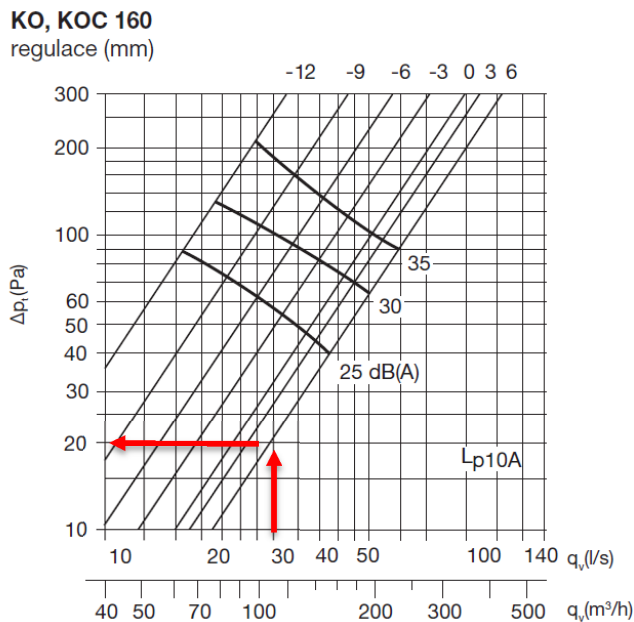
Obr. 31 Určení tlakové ztráty přivodní mřížky Nova L 100x200 (nomogram převzat z technického listu)

Ve výpočtu je uvažováno flexibilní potrubí Sonoflex MI jehož tlaková ztráta je určena nomogramem (viz obr. 32). Vzhledem k ohybům je jeho skutečná tlaková ztráta odhadnuta jako dvojnásobek hodnoty určené nomogramem neboli $2 \cdot 1,2 = 2,4$ Pa/m.



Obr. 32 Stanovení tlakové ztráty ohebného potrubí (graf převzat z technického listu)

Znečištěný vzduch bude z prostoru kuchyně odváděn talířovým ventilem s možností regulace. Pro výpočet je vybrán ventil KO 160. Tlaková ztráta je určena nomogramem (viz obr. 33).

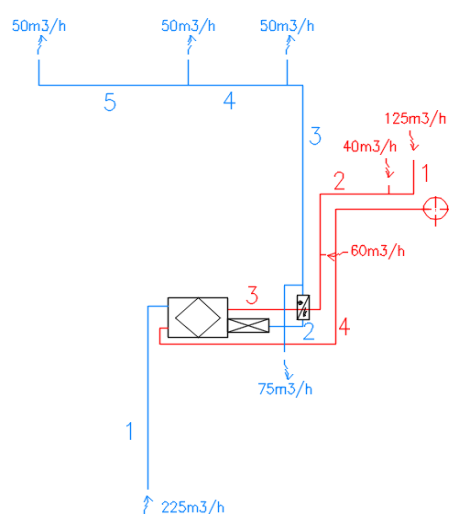


Obr. 33 Určení tlakové ztráty talířového ventilu KO 160 v kuchyni (graf převzat z technického listu)

Výpočet celková tlakové ztráty přívodního a odvodního potrubí je proveden formou tabulky (viz tab. 15 a 16). Potrubí je rozděleno na jednotlivé úseky dle průtoku vzduchu (viz obr. 34).

Výpočet tlakových ztrát														
Číslo úseku	Objemový průtok V	Délka úseku L	Rozměr potrubí $A \times B$		Rychlost proudění w	Ekvivalentní průměr d	Reynoldsonovo číslo Re	Součinitel třecích ztrát λ	Tlaková ztráta třením $\Delta p_{t,i}$	Vložené odpory	Součinitel místní ztráty ζ	Tlakové ztráty místními odpory $\Delta p_{m,i}$	Celková tlaková ztráta úseku Δp_i	
	[m ³ /h]	[m]	[mm]		[m ² /s]	[m]	[-]	[-]	[Pa]		[-]	[Pa]	[Pa]	
1	225	5,1	200	80	3,9	0,11	34 341	0,026	11,2	Mřížka Přechod	0,5 0,1	5,7	16,9	
		0,4											Ohebné potrubí	1,0
2	225	0,6											Tlumič	1,2
		0,8											Ohebné potrubí	1,9
		0,3											Ohřivač	2,0
3	150	2	80	200	2,6	0,11	22 894	0,028	2,1	T kus Oblouk	1,6 0,2	7,6	9,7	
4	100	0,9	80	200	1,7	0,11	15 263	0,030	0,4	T kus	0,5	1,0	1,5	
5	50	0	80	200	0,9	0,11	7 631	0,035	0,0	T kus	1,7	0,8	0,8	
		2,2	80	100	1,7	0,09	11 871	0,033	1,5	Přechod Oblouk	0,1 0,2	0,6	2,1	
													Vyústka	2,5
												Celková tlaková ztráta $\Delta p =$	40	
Vzorce použité při výpočtu:														
$w = V / (A \cdot B)$	$\lambda = 1,325 / (\ln(\epsilon / 3,7 \cdot d + 5,74 / Re^{0,9}))^2$						hustota vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$							
$d = 4 \cdot (A \cdot B) / (2 \cdot A + 2 \cdot B)$	$\Delta p_{t,i} = \lambda \cdot w^2 \cdot L \cdot \rho / 2d$						drsnost potrubí (pozink) $\epsilon = 0,15 \text{ mm}$							
$Re = w \cdot d / \nu$	$\Delta p_{m,i} = \zeta \cdot w^2 \cdot \rho / 2$						kin. viskozita vzduchu $\nu = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$							
Místní odpory dle softwaru qpro.cz														

Tab. 15 Tlaková ztráta přívodního potrubí



Obr. 34 Schéma a čísla úseků pro potřeby výpočtu tlakových ztrát (přívodní potrubí modře, odvodní červeně)

Výpočet tlakových ztrát													
Číslo úseku	Objemový průtok V	Délka úseku L	Rozměr potrubí $A \times B$		Rychlost proudění w	Ekvivalentní průměr d	Reynoldsonovo číslo Re	Součinitel třecích ztrát λ	Tlaková ztráta třením $\Delta p_{t,i}$	Vložené odpory	Součinitel místní ztráty ζ	Tlakové ztráty místními odpory $\Delta p_{m,i}$	Celková tlaková ztráta úseku Δp_i
	[m ³ /h]	[m]	[mm]		[m ² /s]	[m]	[-]	[-]	[Pa]		[-]	[Pa]	[Pa]
1	125									Talířový ventil $\varnothing 160$			20
		0,5	80x	200	2,2	0,11	19 078	0,029	0,4	Přechod Oblouk Tkus	0,1 0,3 0,4	2,4	2,7
2	165	0,9	80x	200	2,9	0,11	25 183	0,028	1,1	Oblouk Tkus	0,2 0,5	3,6	4,7
3	225	1,1	80x	200	3,9	0,11	34 341	0,026	2,4	Oblouk 2xOblouk Přechod	0,2 2x0,2 0,1	6,7	9,1
		0,7								Ohebné potrubí $\varnothing 160$			1,7
4	225	2,4								Ohebné potrubí $\varnothing 160$			5,8
		3,5	80x	200	3,9	0,11	34 341	0,026	7,7	Přechod 2xOblouk	0,0 2x0,1	1,9	9,6
		0,2	$\varnothing 160$		3,1	0,16	38 258	0,025	0,2	Přechod Klapka Tkus	0,1 0,0 1,2	7,9	8,0
Tlak ve stoupačce													-40,0
Celková tlaková ztráta $\Delta p =$													22
Vzorce použité při výpočtu:													
$w = V / (A \cdot B)$	$\lambda = 1,325 / (\ln(\epsilon / 3,7 \cdot d + 5,74 / Re^{0,9}))^2$					hustota vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$							
$d = 4 \cdot (A \cdot B) / (2 \cdot A + 2 \cdot B)$	$\Delta p_{t,i} = \lambda \cdot w^2 \cdot L \cdot \rho / 2d$					drsnost potrubí (pozink) $\epsilon = 0,15 \text{ mm}$							
$Re = w \cdot d / \nu$	$\Delta p_{m,i} = \zeta \cdot w^2 \cdot \rho / 2$					kin. viskozita vzduchu $\nu = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$							
Místní odpory dle softwaru qpro.cz													

Tab. 16 Tlaková ztráta odvodního potrubí

7.4.3. Posouzení hlučnosti

Vzhledem k parametrům vzduchotechnické jednotky (podrobnosti viz technický list v příloze 3) je hluk šířen především potrubím přivádějícím čerstvý vzduch do větraných prostor a potrubím odvádějícím znečištěný vzduch do centrální stoupačky a dále do sousedních bytů. Pro tyto potrubí je proveden výpočet přenášeného hluku (viz tab. 17 a 18). Hlučnost ventilátorů a útlum tlumiče a potrubí s akustickou izolací jsou převzaty z technických listů.

Z vypočtené hladiny akustického tlaku (viz tab. 17) je zřejmé, že hluk přenášený do obytných místností téhož bytu z ventilátoru v jednotce vyhovuje požadavkům Nařízení vlády č. 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Limitem je dovolený hluk v obytných místnostech v noční dobu 30 dB. Hluk vyústky je zanedbatelný (<25dB viz obr. 31). Posouzení sousedních bytů je totožné s posouzením v kapitole 6.8, neboli určující limit je 40 dB

v denní dobu. Tomuto požadavku je vyhověno, jak vyplývá z výpočtu hladiny akustického tlaku (viz tab. 18).

Výpočet útlumu hluku									
Úsek	f [Hz]								Akustický tlak L_A [dB]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Hluk z ventilátor	40	52	62	60	56	57	50	33	66
Útlum tlumič MAA 160/600		3	7	10	16	19	16	3	
Útlum Sonoflex $\varnothing 160, 0,8m$	8	14	18	15	12	9	11	7	
Útlum potrubí a odboček	zanedbáno								
Útlum vyústky 200/100	16	12	8	3					
Celkem za vyústkou	16	23	29	32	28	29	23	23	36
Útlum vzdáleností kontrolního bodu	(vzdálenost $r=1,5m$, směrovost $Q=4$, pohltivost stěn odhad $\alpha=0,3$)								-8
Celkem v kontrolním bodě									28
Vzorce použité ve výpočtu:									
$D_{vyústka} = 30,9 - 14,85 \log(f \cdot v(B \cdot H))$ (B, H - šířka, výška)									
$L_A = 10 \cdot \log(\sum 10^{0,1 \cdot L_{w,A}})$									
$D_{kontrolní\ bod} = 10 \cdot \log(Q / (4 \cdot \pi \cdot r))$									

Tab. 17 Výpočet hluku přenášeného přivodním potrubím do obytných místností téhož bytu

Výpočet útlumu hluku									
Úsek	f [Hz]								Akustický tlak L_A [dB]
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Hluk z ventilátoru	39	52	61	59	56	56	49	32	65
Útlum Sonoflex $\varnothing 160, 2,0m$	15	25	32	27	21	15	20	12	
Útlum potrubí a odboček	zanedbáno								
Útlum vyústky $\varnothing 125$	19	15	10	6	1				
Celkem za vyústkou	5	12	19	26	34	41	29	20	42
Útlum vzdáleností kontrolního bodu	(vzdálenost $r=1m$, směrovost $Q=4$, pohltivost stěn odhad $\alpha=0,3$)								-5
Celkem v kontrolním bodě									37
Vzorce použité ve výpočtu:									
$D_{vyústka} = 30,9 - 14,85 \log(f \cdot v(B \cdot H))$ (B, H - šířka, výška)									
$L_A = 10 \cdot \log(\sum 10^{0,1 \cdot L_{w,A}})$									
$D_{kontrolní\ bod} = 10 \cdot \log(Q / (4 \cdot \pi \cdot r))$									

Tab. 18 Výpočet hluku přenášeného odvodním potrubím do obytných místností sousedních bytů

Závěr

V praktické části bakalářské práce byla navržena komplexní rekonstrukce vzduchotechniky zvoleného stávajícího devítipodlažního bytového domu.

Byl proveden podrobný průzkum stavu objektu a ten byl zdokumentován fotografiemi. Především byla ověřena shoda dostupné původní projektové dokumentace z roku 1985 se skutečným současným stavem. Kromě běžných uživatelských zásahů nebyly zjištěny žádné rozpory. Na větracím systému tedy nebyly provedeny v minulosti žádné zásadní technické úpravy.

V každém bytě je umístěna dvojice stoupaček, jedna pro větrání kuchyní, druhá pro větrání koupelen a WC. Ty jsou na střeše objektu napojeny na ventilátor NRC, který je spouštěn uživateli tlačítkovými spínači. Každá odbočka ze stoupačky je vybavena regulátorem průtoku vzduchu a krycí mřížkou. V případě spuštění ventilátoru jsou tedy větrány najednou všechny příslušné prostory. Zajímavostí zkoumaného domu je existence stoupačky přivádějící čerstvý vzduch do bytů, které nejsou vybaveny samostatnou kuchyní, ale pouze kuchyňským koutem.

S ohledem na finanční stránku, legislativní požadavky a nutné stavební zásahy byl nový větrací systém řešen jako centrální podtlakový s napojením sociálního zázemí všech bytových jednotek. V bytech se zvýšeným požadavkem na komfort může být doplněn individuálním rovnotlakým větráním.

Úprava stávajícího vzduchotechnického systému spočívá ve výměně střešního ventilátoru a koncových elementů. Ventilátor musí umožňovat automatickou regulaci výkonu na základě měření podtlaku na straně sání čidlem tlaku. Řízení provádí integrovaný počítač. Konkrétně byl zvolen ventilátor CRHB-315 na základě výpočtu tlakových ztrát celého systému a výpočtu hluku přenášeného do bytových jednotek v nejvyšším podlaží. Pro dosažení hlukových limitů v Nařízení vlády č. 272/2011 byl navržen tlumič hluku JAA. Ve všech bytech je nutná výměna koncových prvků za elektricky uzavíratelné na základě potřeb jednotlivých uživatelů. Vybrány byly talířové ventily KEL a regulační klapky RKKM. Ventilátor je trvale spuštěn a udržuje konstantní podtlak ve stoupačce. Takové řešení umožňuje nejen odvětrávat jednotlivé prostory dle aktuální potřeby, ale také zamezuje šíření pachů mezi byty.

Ukázkový lokální rovnotlaký systém byl navržen pro jeden třípokojový byt. Čerstvý vzduch je přiváděn z fasády objektu, znehodnocený odváděn do stoupačky odvětrání koupelen a WC. Základním požadavkem bylo, aby vzduchovody a jednotka zabíraly co nejméně prostoru a v bytě byly dodrženy hlukové limity. Na základě výpočtu tlakových ztrát navrženého vzduchovodu a hluku jím přenášeného byla pomocí softwaru výrobce navržena vzduchotechnická jednotka

DUPLEX 300 Easy. Ta je vybavená rekuperačním výměníkem a dvojicí ventilátorů. Dohřev vzduchu v zimních měsících bude probíhat v samostatném elektrickém ohřivači.

Pro všechny navrhované zásahy byla zpracována výkresová dokumentace.

Seznam použité literatury a podkladů

- ATREA s.r.o.: *Vzduchotechnická zařízení, rekuperace tepla* [online]. 1998-2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: www.atrea.cz
- BENKOVÁ, Michaela. *Možnosti řešení odvětrání bytových domů* [online]. 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.hipos.cz/odvetrani-bytovych-domu.html>
- ČECHOVÁ, Pavla. *Vztah typologie a konstrukční soustavy Konstrukce v architektuře*. Brno, 2015. Dizertační práce
- DRKAL, F., ZMRHAL, V. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05181-8
- DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05652-3.
- GEBAUER, Günter, Olga RUBINOVÁ a Helena HORKÁ. *Vzduchotechnika*. 2. vyd. Brno: ERA, 2007. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-091-8.
- HAMPL, Martin, Karel KÜHNEL a Václav GARDAVSKÝ. *Regionální struktura a vývoj systému osídlení ČSR*. Praha: Univerzita Karlova, 1989.
- CHLUM, Miloslav. Regenerace bytových panelových domů a větrání bytů. *Topenářství instalace*. 2003, 2003(7), 8.
- KOTEK, Petr, Jiří BERANOVSKÝ, Petr VOGEL a František MACHOLDA. Centrální podtlakové větrání (hybridní větrání) v panelovém domě. Rekuperace či hybrid? In: *TZB-info* [online]. 2011a [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/7479-centralni-podtlakove-vetrani-hybridni-vetrani-v-panelovem-dome-rekuperace-ci-hybrid>
- KOTEK, Petr, Jiří BERANOVSKÝ, Petr VOGEL a František MACHOLDA. Rekuperace tepla v panelovém domě - ano či ne? Ekonomika a vnitřní mikroklima řízeného větrání s rekuperací tepla. In: *TZB-info* [online]. 2011b [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6249-rekuperace-tepla-v-panelovem-dome-ano-ci-ne>
- KOTEK, Petr, Jiří BERANOVSKÝ, Petr VOGEL a František MACHOLDA. Lokální či centrální rekuperace tepla v panelovém domě? Ekonomika řízeného větrání s rekuperací tepla. In: *TZB-info* [online]. 2011c [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/7384-lokalni-ci-centralni-rekuperace-tepla-v-panelovem-dome>

- MATURA, Jaroslav. *Přestavba bytových jader: příručka pro investory, projektanty a dodavatele*. Vyd. 1. Praha: ŠEL, 1998. ISBN 80-902-4601-X.
- MRLÍK, František. Problematika průvzdušnosti a vzduchotěsnosti oken I. In: *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12501-problematika-pruvzdusnosti-a-vzduchotesnosti-okeni>
- MRLÍK, František. Problematika průvzdušnosti a vzduchotěsnosti oken II. In: *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/12501-problematika-pruvzdusnosti-a-vzduchotesnosti-okeni-ii>
- Standardy. *Chytré bydlení BLV@Horní Měcholupy* [online]. 2016 [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: <http://www.blv-byty.cz/standardy/>
- ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Komplexní regenerace panelových domů stavební soustavy T 06 B: z hlediska tepelné techniky, stavební akustiky, požární bezpečnosti a technického zařízení budov*. 1. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2000. ISBN 80-86364-28-3.
- ŠAFRÁNEK, Jaroslav. *Komplexní regenerace panelových domů stavební soustavy Larsen-Nielsen z hlediska tepelné techniky, stavební akustiky, požární bezpečnosti a technického zařízení budov*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2001. Regenerace panelových domů (Česko. Ministerstvo průmyslu a obchodu). ISBN 80-86364-50-X.
- Výpočtové tabulky. *Katedra hydrauliky a hydrologie* [online]. [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/cviceni/tabulky_1.pdf
- WITZANY, Jiří. *Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2000. Regenerace panelových domů (Česko. Ministerstvo průmyslu a obchodu). ISBN 80-86364-20-8.

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Řez větrací šachtou
- Příloha č. 2: Rovnotlaké větrání: půdorys
- Příloha č. 3: Technické listy