



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Švecová	Jméno: Helena	Osobní číslo: 396294
Zadávací katedra: 125		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vzduchotechnika v bytovém domě	
Název diplomové práce anglicky: Air condition in apartment building	
Pokyny pro vypracování: 1) Zpracujte projektovou dokumentaci VZT na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení. Zadané výkresy v měřítku 1:50 - 1:100, výpočty dimenzí, zadané další výpočty, technická zpráva 2) Rešerše: VZT v bytovém domě se zaměřením na problematiku radonu.	
Seznam doporučené literatury: Jiránek M., Kupilík V., Wasserbauer R.: Zdravotní nezávadnost staveb. ČKAIT, Praha 1999 Jiránek M.: Opatření proti radonu ve stávajících budovách. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2000	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 3.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Prohlášení

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

V Praze dne

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala zejména vedoucí mé diplomové práce Ing. Iloně Koubkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné konzultace a hlavně trpělivost, zejména v posledních týdnech. Dále bych ráda poděkovala Ing. Janu Kropáčkovi a Ing. Janu Grendelovi za jejich rady z praxe, Ing. Heleně Švecové za pomoc při korekturách textu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala Haně Špryňarové za poskytnutí materiálů z archivu MČ Praha 16 – Radotín.

Obsah

Zadání	2
Prohlášení	3
Poděkování	4
Obsah	5
Anotace práce	10
1. Úvod	10
2. Radon	12
2.1 Vlastnosti radonu	12
2.2 Izotopy radonu	12
2.3 Výskyt radonu v přírodě	12
2.4 Fyzikální vyjádření radonu	13
2.5 Objevení radonu a jeho vlastnosti	14
2.5.1 Negativní účinky na lidský organismus	14
2.5.2 Pozitivní účinky na lidský organismus	15
2.5.2.1 Jáchymov	15
2.5.2.1.1 Historie těžby v Jáchymově	15
2.5.2.1.2 Lázně Jáchymov	15
3. Historie radonové problematiky a legislativa	17
3.1 Historie radonové problematiky	17
3.1.1 První zmínky o škodlivosti radonu	17
3.1.2 Radon v Jáchymově	17
3.1.3 Škvárobeton z Rynholce u Nového Strašecí	17
3.1.4 Pórobeton z Poříčí u Trutnova	19
3.1.5 První provedená měření	20
3.1.5.1 Srovnání	20
3.1.6 Geologické podmínky	23
3.2 Legislativa v ČR	24
3.2.1 Vývoj legislativy v ČR	24
3.2.2 Nový atomový zákon č. 263/2016 Sb.	25
3.2.3 Radonový program – Akční plán	25
3.2.3.1 Struktura Akčního plánu	26
4. Radon ve stavbách	28

4.1 Ochrana staveb před radonem z vody	28
4.1.1 Obsah radonu ve vodě	28
4.1.2 Opatření proti radonu ve vodě ve veřejných sítích	28
4.1.3 Opatření proti radonu u domovních studní	28
4.2 Ochrana před radonem ve stavbách	29
4.2.1 Měření radonu	29
4.2.1.1 Integrální měření	29
4.2.1.2 Kontinuální měření	30
4.2.2 Radon v novostavbách	31
4.2.2.1 Protiradonová izolace	31
4.2.2.2 Doplnková opatření	31
4.2.2.3 Stavební detaily	32
4.2.3 Radon z podloží ve stávajících stavbách	33
4.2.3.1 Opatření určená ke svépomocné montáži	33
4.2.3.2 Protiradonová izolace	33
4.2.3.3 Odvětrání podloží	34
4.2.3.4 Ventilační vrstva	35
4.2.4 Konstrukční opatření proti radonu ze stavebních materiálů	35
4.2.4.1 Odstranění závadných materiálů	35
4.2.4.2 Snížení emise radonu neprodyšnou úpravou	
stavebních konstrukcí	36
4.2.4.3 Odvětrávaná ventilační vrstva kolem konstrukcí	
o vysoké rychlosti plošné emise radonu	36
4.2.5 Zvýšení ventilace uvnitř staveb	36
4.2.5.1 Přirozené větrání infiltrací	36
4.2.5.2 Přirozené větrání pomocí větracích štěrbin	37
4.2.5.3 Nucené podtlakové větrání kombinované	
s přívodem vzduchu větracími štěrbinami	37
4.2.5.4 Lokální větrání s rekuperací tepla	38
4.2.5.5 Centrální větrání s rekuperací tepla	39
4.2.6 Využití protiradonových opatření	40
5. Požadavky na větrání obytných budov	42
6. Energetické souvislosti	43

6.1 Příklad na rodinném domě typu START	43
6.1.1 Popis konstrukce	43
6.1.2 Důsledky rekonstrukce	44
6.1.3 Opatření	45
7. Sídliště Radotín	46
7.1 Popis Sídliště Radotín	46
7.2 První měření a opatření v 90. letech	47
7.2.1 Výsledky měření	47
7.2.2 Provedená opatření	49
7.2.2.1 Filtry vzduchu	49
7.2.2.2 Centrální vzduchová jednotka	49
7.2.3 Vyhodnocení použitých opatření	50
7.2.3.1 Vyhodnocení použití filtračních zařízení	50
7.2.3.2 Vyhodnocení použití vzduchotechnické jednotky	51
7.3 Posudek z roku 2009	51
7.3.1 Vliv násobnosti výměny vzduchu na objemovou aktivitu radonu v bytech	52
7.3.2 Požadavek na okenní výplně	52
7.3.3 Závěr posudku	53
7.4 Měření v letech 2013 a 2014	53
7.4.1 Měření z roku 2013	53
7.4.1.1 Měření v 1. polovině roku 2013	53
7.4.1.2 Měření v zimě roku 2013	54
7.4.2 Měření v roce 2014	56
7.5 Výpočet závislosti intenzity výměny vzduchu na objemové aktivitě radonu	56
7.6 Možnosti technického řešení	58
7.6.1 Centrální vzduchotechnická jednotka pro celý dům	58
7.6.2 Centrální vzduchotechnická jednotka pro jedno patro	59
7.6.3 Centrální vzduchotechnická jednotka pro jeden byt	60
7.6.4 Decentrální rekuperační jednotky	61
7.6.5 Větrání bez rekuperace tepla	62
7.6.5.1 Automatická okna	62

7.6.5.2 Větrací štěrby	63
7.6.6 Výběr preferované varianty	63
7.7 Opatření proti radonu v roce 2016	64
7.7.1 Výběr vhodného opatření	64
7.7.2 Realizace opatření	64
7.7.3 Vyhodnocení provedeného opatření	66
8. Závěr	68
Použitá literatura, podklady, zdroje	70
Seznam obrázků	73
Seznam tabulek	75

Anotace práce

Diplomová práce se zabývá problematikou zvýšené koncentrace radonu v domech a možnostmi jejího odstranění. Jsou zde popsány vlastnosti radonu, jeho negativní a pozitivní vliv na lidský organismus. V práci je sledován vývoj radonové problematiky a legislativy v České republice. V dalších kapitolách jsou popsány možnosti technického řešení ochrany proti radonu, velký důraz je kladen na zvýšenou ventilaci. Součástí práce je rešerše Sídliště Radotín, kde bylo provedeno několik protiradonových opatření, součástí je i vyhodnocení těchto opatření.

Praktická část diplomové práce je projekt větrání bytového domu. Obsahem budou půdorysy, řez, schéma rekuperační jednotky a detaily napojení.

Klíčová slova: radon, legislativa, bytový dům, nucené větrání, rekuperace

Anotation

The thesis deals with a problematic of increased radon concentration in houses and ways of its elimination. In thesis, there are radon characteristics described here as well as its negative and positive influence on human organism. The thesis also follows an evolution of radon problematics and legislation in the Czech Republic. In the following chapters, there are ways of technical solutions of radon protection described, with a big emphasis to an increased ventilation. Another part of this thesis is a research of the Radotín housing estate, where several anti-radon measures has been done. An evaluation of these measures is also a part of this work.

The practical part of the diploma thesis is project of ventilation in the apartment building. Contents are plans, section, schema of the heat recovery unit and details of the connection.

Keywords: radon, legislation, apartment building, forced ventilation, recuperation

1. Úvod

Téma diplomové práce jsem zvolila s ohledem na své současné profesní zaměření, při kterém se věnuji nucenému větrání se zpětným ziskem tepla zejména v rodinných domech. Při své práci jsem se setkala s několika odlišnými projekty, jedním z nich byl návrh vzduchotechnického systému do bytových domů, které jsou postiženy výskytem radonu z konstrukcí. Díky tomuto projektu jsem poznala i další výhody a možnosti použití systému nuceného větrání se zpětným ziskem tepla. Řízené větrání s rekuperací tepla dokáže nejen zajistit dostatečný přísun čerstvého vzduchu, ale zároveň z interiéru odvádí i škodliviny a tato vlastnost může v případě výskytu radonu i zachraňovat životy.

Současná doba hlásí nutnost maximálního snížení energetické náročnosti jak u novostaveb, tak i u stávajících objektů. Vlastníci budov při rekonstrukcích nechávají své objekty zateplovat desítkami centimetrů polystyrenu, platí nemalé částky za těsná izolační okna a vyměňují stávající kotle za úsporná tepelná čerpadla či jiné alternativní, ekologické a ekonomické zdroje tepla. Limity na součinitele prostupu tepla jsou splněny, spotřeba neobnovitelných zdrojů energie klesá, majitelé nemovitostí jsou nadšeni, protože vidí, jak se snižují náklady na provoz. Na první pohled jsou všichni spokojeni, při detailnějším pohledu však zjišťujeme, že opak je pravdou.

V novostavbách i rekonstruovaných objektech se hromadí vlhkost, objevuje se plíseň, obyvatelé si stěžují na vydýchaný vzduch, malátnost při probouzení, u dětí i dospělých se objevují ve větší míře alergie, astma a podráždění sliznic. Všechny tyto problémy mají společnou příčinu, tou je nedostatečná ventilace, tedy nedostatečný přísun čerstvého vzduchu do objektu, zjednodušeně řečeno špatné větrání.

Snad každý už slyšel o syndromu nemocných budov, na toto téma vyšla řada publikací a konala se řada přednášek, odborníci na problém nedostatečného větrání stále upozorňují, ale uživatelé staveb berou tuto problematiku i nadále většinou na lehkou váhu. Nucené větrání považují vlastníci budov nejčastěji jako zbytečný luxus, protože se nedá jednoduše vyčíslit jeho návratnost, nelze jednoznačně určit kolik procent nákladů na vytápění se ušetří a navíc systém ani nedokáže upravovat vzduch jako klimatizační jednotka, tedy chladit či ohřívat interiér. Majitelé budov i nadále spoléhají na přirozené větrání okny, i když jeho nedostatečnost již byla mnohokrát potvrzena.

Ve své práci bych ráda upozornila na problém, který je též spojen s nedostatečným větráním interiéru, ale jeho ignorace může mít daleko fatálnější důsledky než je plíseň v domě a s ní spojená respirační onemocnění. Tím problémem je radon, který se může vyskytovat v interiéru nejen z podlahy, ale také ze stavebního materiálu, z něhož jsou budovy postaveny. Radon je po kouření druhá nejčastější příčina rakoviny plic, mnoho studií prokázalo, že jeho nadměrná koncentrace v interiéru tak může mít smrtelné následky. Na rakovinu plic způsobenou radonem každoročně zemře zhruba 800 – 900 lidí. Na silnici každoročně zemře zhruba 500 – 600 lidí, toto číslo se v důsledku zlepšování bezpečnostních prvků stále snižuje. Počet úmrtí, která jsou zapříčiněna radonem, je stále stejný, měli bychom tudíž radonové problematice věnovat zvýšenou pozornost a snažit se toto číslo stále snižovat, stejně jako se snižuje počet obětí dopravních nehod. [1] [2]

Tato práce má za cíl popsat problematiku radonu, vysvětlit zdravotní účinky radonu na lidský organismus, a to nejen ty negativní, ale i pozitivní. Jsou zde popsány technické možnosti řešení zvýšené koncentrace radonu v domech, zvláštní důraz je kladen na zvýšenou ventilaci uvnitř domů. Součástí práce je i rešerše bytového domu, kde byla zvýšená koncentrace radonu řešena již od 90. let.

2. Radon

Radon je chemický prvek, který má při správném použití řadu pozitivních účinků. Ve větší míře se s ním však setkáváme v podobě nadměrné koncentrace v interiéru, kde má většinou spíše velmi negativní účinky. V následujících kapitolách jsou vlastnosti radonu detailně popsány.

2.1 Vlastnosti radonu

Radon je chemický prvek se značkou Rn ze skupiny vzácných plynů, v této skupině je nejtěžší přirozeně se vyskytující chemický prvek. Je radioaktivní, jinak je však bezbarvý, bez chuti či zápachu a je inertní, tedy nereaktivní. Vzniká jako produkt radioaktivního rozpadu radia a uranu a také se dále rozpadá. [3] Radon je velmi dobře rozpustný ve vodě a v nepolárních organických rozpouštědlech, jako je například benzen, diethylether nebo tetrachlormetan. Při nízkých teplotách ho lze zachytit na aktivní uhlí. Je třeba zdůraznit, že radon stejně jako ostatní vzácné plyny snadno ionizuje a v ionizovaném stavu září. Protože je ale radioaktivní, není možné tuto vlastnost využít. [4]

2.2 Izotopy radonu

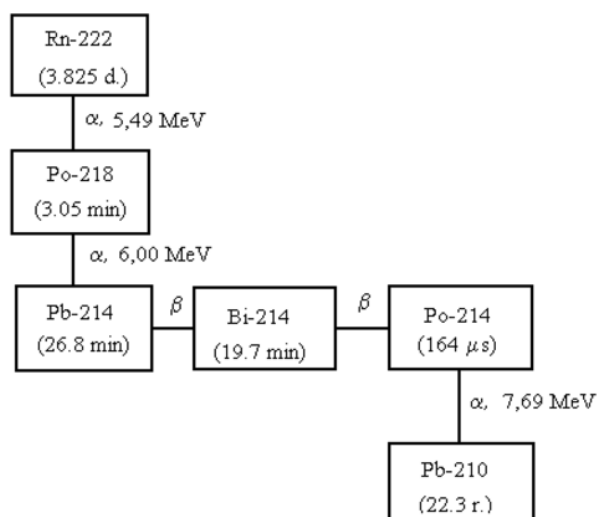
V přírodě existují 3 různé izotopy radonu, které se od sebe liší počtem neutronů. Jedná se o:

- ^{222}Rn – radon
- ^{219}Rn – aktinon
- ^{220}Rn – thoron

Všechny tyto izotopy jsou radioaktivní, což znamená, že se samovolně rozpadají, při tomto rozpadu emitují alfa záření a může docházet i k uvolnění gama záření. Radioaktivní rozpad je charakterizován poločasem přeměny, zvaným též poločas rozpadu, a je pro každý izotop různý. O poločasu rozpadu mluvíme jako o průměrné době, za kterou se z počátečního počtu atomů právě polovina přemění. Tato přeměna trvá až do té chvíle, kdy se veškeré atomy daného prvku přemění. Poločasy rozpadů jsou u izotopů radonu velmi rozdílné. Radon má poločas přeměny 3,82 dne, aktinon pouze 3,92 sekund a thoron necelou minutu, přesně 55,3 sekund. Pro účely diplomové práce, potažmo i radonové problematiky ve stavbách, je důležitý pouze izotop ^{222}Rn – radon. Pouze radon díky svému poločasu rozpadu může pronikat do interiéru a tam být akumulován, aktinon i thoron mají tak krátké poločasy přeměny, že zde toto nebezpečí nehrozí. [5]

2.3 Výskyt radonu v přírodě

Radon se v přírodě objevuje jako produkt hornin, které obsahují uran. Uran se objevuje stejně jako radon v několika různých izotopech, nejdůležitějším a hlavně nejrozšířenějším izotopem uranu je ^{238}U . Uran je radioaktivní, jeho rozpadová řada je velmi dlouhá a na jejím konci stojí neradioaktivní olovo. Součástí této řady je radium ^{226}Ra , které se s poločasem rozpadu 1622 let mění právě na radon. [5] Je evidentní, že stejně jako se v přírodě objevuje v různém množství uran, tak se liší i výskyt radonu, ale oba prvky jsou prakticky všudypřítomné. Vliv na množství radonu má i podoba samotné horniny, velký vliv mají různé zlomy či zvětralé části. Po té, co se radon uvolní z horniny, právě po těchto zlomech a zvětralinách stoupá směrem k povrchu a dále do ovzduší. [6]



Obrázek č. 1: Rozpadová řada radonu [7]

2.4 Fyzikální vyjádření radonu

Objemová aktivita, respektive množství radonu je vyjádřeno v Bequerelech na metr krychlový Bq/m^3 , to znamená počet radioaktivních přeměn za 1 sekundu v 1 metru krychlovém. Pokud budeme mít hodnotu 100 Bq/m^3 , dochází za sekundu v metru krychlovém ke 100 přeměnám radonu na dceřiné produkty jako je například polonium. Průměrná objemová aktivita radonu v přízemní vrstvě vzduchu je uváděna kolem $3 - 5 \text{ Bq/m}^3$, hodnota je samozřejmě různá pro různá místa na zemi, nad oceánem může být pouze $0,1 \text{ Bq/m}^3$, nad pevninou se hodnoty liší od $1,5 \text{ Bq/m}^3$ až k 10 Bq/m^3 . [6] Množství radonu v půdním vzduchu kolísá od $5\,000$ až k $500\,000 \text{ Bq/m}^3$. Průměrná koncentrace v domech a bytech v České republice je 118 Bq/m^3 , tato hodnota je jedna z nejvyšších vůbec. [7]

2.5 Objevení radonu a jeho vlastností

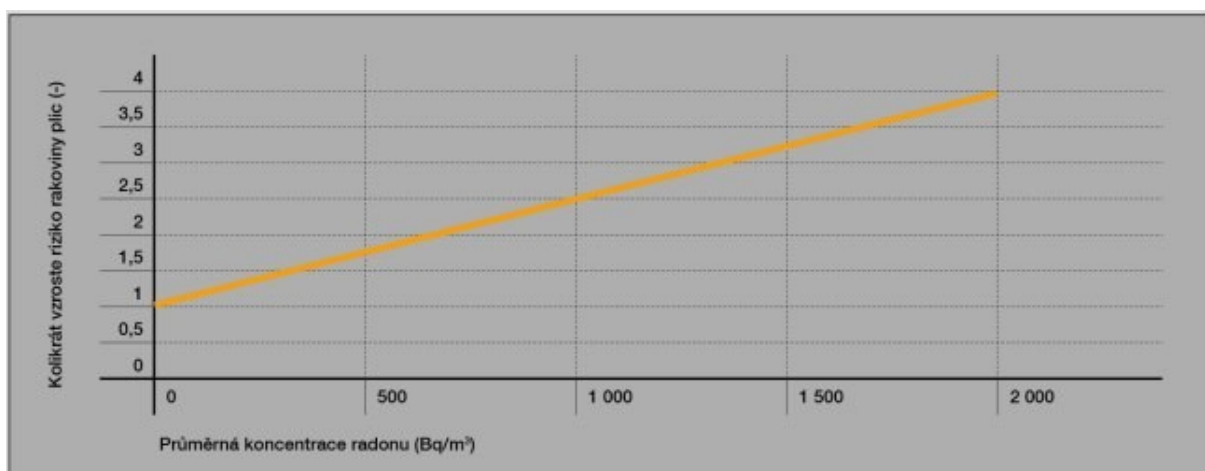
Radon jako samostatný prvek byl objeven až v roce 1900 německým fyzikem Friedrichem Ernestem Dornem, který ho pojmenoval radiová emanace, na lidstvo měl ale vliv už ve středověku. Německý lékař a vědec Agricola se v 16. století usadil v Jáchymově, aby zde zkoumal možnosti použití kovů a jejich sloučenin v lékařství. Již ve své době psal o tzv. hornické nemoci. Jednalo se o neznámé plicní onemocnění, které ve vysoké míře postihovalo právě horníky. Že se jedná o rakovinu plic, však bylo potvrzeno až o několik stovek let později. Hustotu a atomovou hmotnost radonu určil roku 1910 William Ramsay, navrhl též nové označení Niton – Nt. Označení bylo ještě několikrát změněno, až od roku 1923 se používá označení radon. Ve stejné době se objevují první studie, které spojovaly radon s hornickou nemocí. [3] [4]

O inhalaci radonu jako příčině vzniku rakoviny plic se uvažovalo již od jeho objevení, avšak pokusy, které by toto tvrzení potvrdily, byly dlouhou dobu neúspěšné. V průběhu 50. let 20. století se objevila hypotéza, že za vznik rakoviny může nikoliv samotný radon, ale dceřiné produkty jeho přeměny. V roce 1972 byla provedena studie na skupině uranových horníků z Československa a tato studie hypotézu o škodlivosti produktů radonového rozpadu potvrdila. [8]

2.5.1 Negativní účinky na lidský organismus

Radon je do lidského organismu vdechován, dostává se do plic, kde se rozpouští, dostává se do krve a odtud do celého těla. Radon se však nehromadí v žádném orgánu a sám o sobě není škodlivý. Nebezpečí v souvislosti s radonem se projevuje v dceřiných produktech rozpadu radonu. Jedná se o izotopy polonia ^{218}Po a ^{214}Po , ty mají velmi krátký poločas rozpadu, mají těž elektrický náboj, a proto se zachytávají zejména na prachové částice. Takto jsou produkty vdechovány do lidského těla a zde se dále přeměňují. Jak bylo řečeno, mají velmi krátký poločas rozpadu a při této přeměně je vyzařováno velké množství alfa záření, toto záření působí zejména v plicích a může způsobit vážná onemocnění, zejména rakovinu plic. [3] [5]

Rakovina způsobená radonem nevzniká okamžitě, první příznaky se objevují až po 10 až 30 letech. Riziko závisí nejen na úrovni koncentraci, ale i délce pobytu. Vznik rakoviny vlivem radonu byl přesvědčivě prokázán mnohými studiemi, jak u horníků uranových dolů, tak i v běžné populaci, která žije v oblasti s vyšším radonovým rizikem jak u nás, tak v zahraničí. Celosvětová studie spolehlivě prokázala, že riziko vzniku rakoviny se objevuje už u koncentrací radonu vyšších než je 150 Bq/m^3 . Vzhledem k tomu, že průměrná hodnota v ČR je 118 Bq/m^3 , jsou občané ČR velmi ohroženi. Výsledky studie navíc ukazují, že při každém zvýšení koncentrace radonu o 100 Bq/m^3 se riziko rakoviny zvyšuje o 16 %. Zároveň studie zjistila, že společné působení radonu a kouření negativní účinky zesiluje, to znamená, že riziko je vyšší než pouhé sečtení obou těchto účinků. [1]



Obrázek č. 2: Graf ukazující kolikrát vzroste riziko onemocnění rakovinou plic v závislosti na koncentraci radonu [8]

2.5.2 Pozitivní účinky na lidský organismus

Po výčtu negativních vlastností radonu nesmíme zapomenout ani na jeho pozitivní účinky. Radon, respektive radonová voda, velmi dobře pomáhá při léčbě onemocnění kloubů, periferního nervového systému a páteře, zlepšuje kůži po prodělaném popálení, velmi dobře prospívá pacientům s cukrovkou a dnou, radonové koupele jsou též vhodné jako podpora při rekonvalescenci po úrazech a operacích, pozitivní vliv má také na Bechtěrevovu nemoc a některá onemocnění oběhového ústrojí, jako jsou nemoci tepen končetin či stavy po prodělaných trombózách. [9]

2.5.2.1 Jáchymov

S léčbou pomocí radonové vody jsou u nás spojovány lázně Jáchymov. Tyto lázně jsou ve světě naprosto unikátní a jedinečné, léčivé účinky radonové vody totiž nejsou chemické, ale energetické. Při koupeli v radonové vodě je tělo vystaveno energetickému proudu radonových alfa částic, tato radonová sprcha vyvolává řetězec fyziologických reakcí, organismus pak velmi dobře regeneruje a zvyšuje se jeho obranyschopnost. Dá se říct, že opakované nízké dávky záření organismus utužují podobně, jako k tomu dochází v sauně. Dávka záření, kterou pacient absorbuje během základní třítydenní léčby, není ani tak silná jako při jednom rentgenovém snímku plic. [10]

2.5.2.1.1 Historie těžby v Jáchymově

Město Jáchymov bylo v 16. století proslulé těžbou stříbra, z toho důvodu byl založen důl Svornost, který podporuje jedinečnost jáchymovských lázní, jedná se totiž o nejstarší stále funkční důl nejen v Čechách, ale pravděpodobně i v Evropě. Později, po objevení uranu, se v Jáchymově těžil smolincec – uranová ruda, kterou používala pro své vědecké práce i Marie Curie-Skłodowská. Smolincec získal své označení podle slova smůla, protože jeho objev znamenal, že v dané žíle už nebude nalezeno stříbro. V polovině 19. století začíná v Jáchymově průmyslová těžba uranové rudy. Již na počátku 20. století bylo zjištěno, že voda, která v šachtě tryská, má velký obsah radonu, horníci si navíc všimli, že koupele v této vodě pomáhají nejen léčit různá onemocnění, ale i drobné rány na těle a protože lékaři jejich pozorování potvrdili, byly v roce 1906 založeny v Jáchymově lázně. [11]

2.5.2.1.2 Lázně Jáchymov

Původní lázně byly velmi minimalistické, tvořily je pouze dvě vany v č.p. 282 a voda do nich byla nejprve přinášena a později dopravována potrubím ze Štěpových pramenů. Tyto prameny byly brzy nedostatečné pro lázeňský provoz, a proto se začal používat nový zdroj, který byl při příležitosti návštěvy Marie Curie-Skłodowské dolu Svornost, nazván pramen Curie. Tento pramen byl hlavním zdrojem radonové vody až do počátku 60. let, kdy byla ukončena těžba uranu. Ve stejné době se plánoval další rozvoj lázní, a proto bylo rozhodnuto, že důl Svornost bude využíván i nadále, při opravách byly navrtány další dva zdroje, jednalo se o pramen C1 a pramen Běhounek. V roce 2000 byla prováděna další rozsáhlá rekonstrukce, která vedla k objevu dalšího pramenu pojmenovaného Agricola. Nyní jsou tedy v provozu celkem čtyři prameny – Curie, C1, Běhounek a Agricola, všechny se nachází na 12. patře dolu Svornost. Patro s prameny se nachází 500 metrů pod zemí, zde je voda jímána do bazénu, z něj je čerpána do výšky 400 metrů do akumulární nádrže na patře Barbora, odtud je spouštěna na patro Daniel a z tohoto patra potrubím o celkové délce zhruba 3 kilometry je vedena až k jednotlivým lázeňským provozům. Radonová voda dnes slouží pouze ke koupelím, do vany musí být voda přiváděna odspodu, aby radon neunikal do vzduchu a pobyt v lázních tak nepřinesl problémy jako pobyt v domě s radonem. [12]



Obrázek č. 3: Radium Palace v Jáchymově [13]



Obrázek č. 4: Radonová koupel v Jáchymově [13]

3. Historie radonové problematiky a legislativa

Radon jako prvek je znám již od roku 1900, avšak radonová problematika se začíná řešit až o mnoho let později. Legislativa je pak v celkovém měřítku téměř novodobá záležitost.

3.1 Historie radonové problematiky

Radon a jeho vliv na vznik rakoviny je zkoumán již od 50. let, avšak až do 90. let minulého století se objevuje ve stavbách jako součást stavebního materiálu.

3.1.1 První zmínky o škodlivosti radonu

Jak již bylo výše zmíněno, hypotézy o spojitosti radonu a rakoviny plic byly poprvé vysloveny v 50. letech. Americký vědec William Freer Bale a český akademik František Běhounek nezávisle na sobě zjistili, že za rakovinou plic ve spojitosti s radonem stojí vdechování produktů radioaktivní přeměny radonu, usazování těchto látek a následné ozařování dýchacích cest a také plic. Tyto názory byly potvrzeny v 70. letech, kdy byl proveden epidemiologický výzkum rakoviny plic u vybraných skupin horníků. Tyto objevy vedly k cíleným snahám o snížení výskytu profesionální rakoviny plic u horníků uranových dolů. V roce 1956 představil H. Hulquist výsledky prvních měření koncentrace radonu v domech ve Švédsku. Měření probíhalo ve 225 švédských domech, hodnoty ukázaly vysoké koncentrace radonu v některých domech postavených z lehkých betonů vyrobených z kamenečných břidlic, nicméně se mělo za to, že jde pouze o lokální problém a informace se vytratily do ztracena. [14]

3.1.2 Radon v Jáchymově

V 70. letech byly vysoké koncentrace naměřeny i v dalších zemích, což bylo impulsem pro přípravy tzv. (anti)radonových programů. U nás se přirozeně začínalo s radonovým programem v Jáchymově. Bylo zjištěno, že město Jáchymov je celosvětový unikát. Nejen, že se zde objevuje vyšší radonové riziko z podloží, které je navíc kontaminováno zbytky po těžbě stříbrných rud obsahujících mimo jiné uran, ale domy zde jsou postavené ze stavebních materiálů, do kterých byl přidáván i radioaktivní odpad z výroby uranových barev a radia. Již od poloviny 19. století až do počátku 20. století se přidávaly odpady ze zpracování uranových rud do omítek, štuků, zdící malty a násypů podlah nebo stropů. V letech 1978 – 1980 byly v Jáchymově radiometricky proměřeny téměř všechny domy a výsledky posloužily právě pro přípravu celostátního řešení radonové problematiky v domech. [15] [16]

3.1.3 Škvárobeton z Rynholce u Nového Strašecí

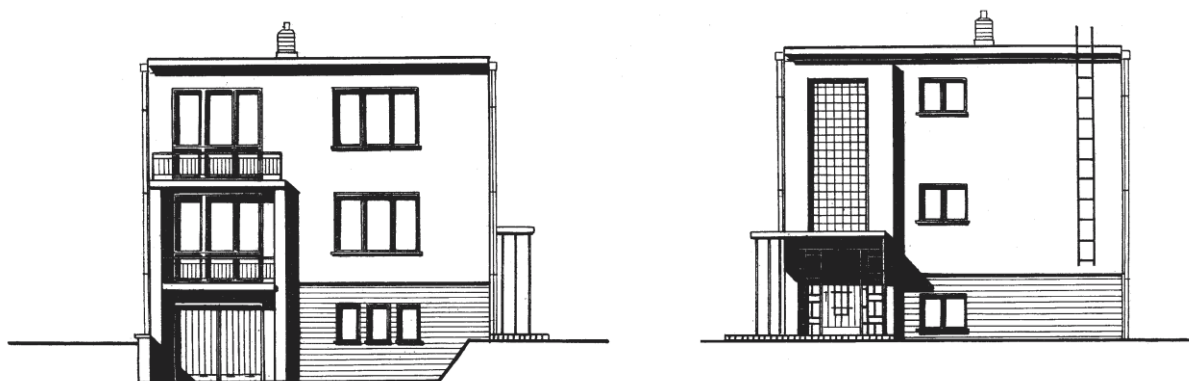
V 50. letech 20. století byl vyráběn škvárobeton, do kterého se přidávala škvára z bývalé revírní elektrárny v Rynholci u Nového Strašecí. Za vysokým obsahem radia stála uranonosná sloj bývalého místního dolu Anna (později důl ČSA) v kladenské uhelné pánvi na Rakovnicku. Zajímavé je, že ačkoliv škvára obsahovala přibližně čtyřikrát víc radia než pórobeton z Poříčí, procento vyzářování radonu z tohoto materiálu bylo nižší. Ze škvárobetonu se vyráběly tvárnice pro rodinné domy, které byly využity hlavně lokálně. Dále byly produkovány stěnové bloky o tloušťce 440 mm určené pro

rozsáhlé sídlištní výstavby například ve Stochově, Letňanech, Kbelích, pražských Petřinách, Strašnicích či Radotíně.

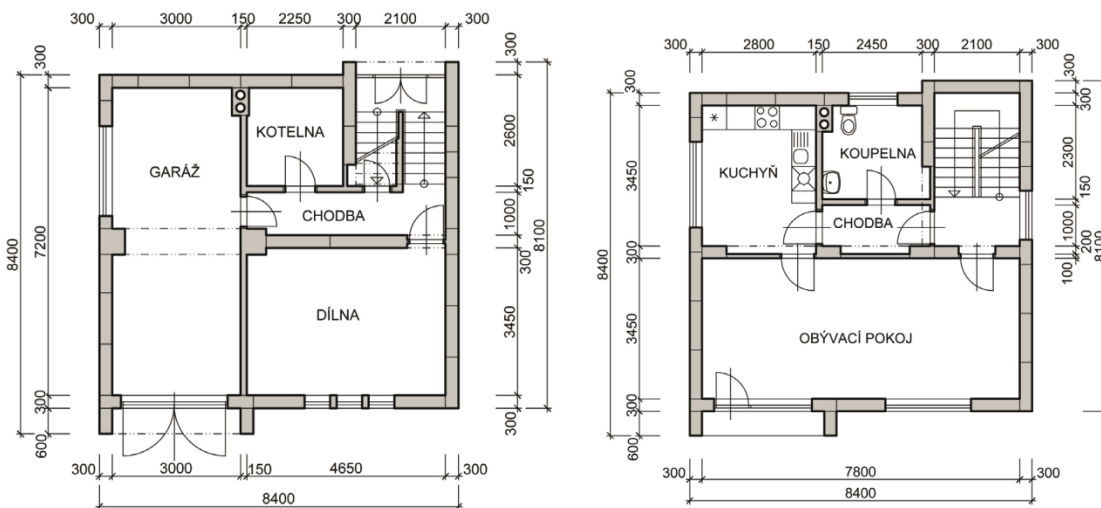


Obrázek č. 5 a č. 6: Pohled na bytový dům a půdorys typického bytu v bytovém domě z rynholeckého škvárobetonu [15]

Diskuze kolem tohoto materiálu probíhaly již kolem roku 1960, tedy mnohem dříve než se začala radonová problematika řešit ve velkém. V 60. letech neexistovaly pro radon žádné hygienické normy, bylo posuzováno pouze množství ozáření vlivem záření gama vyskytující se ve škvárobetonových blocích. Ve zmiňovaných domech bylo množství gama záření větší, než povolovala norma, ale vzhledem k tomu, že hodnoty byly maximálně dvojnásobné, bylo rozhodnuto, že postavené domy se nebudou nijak sanovat, pouze se omezí či zlepší další výroba materiálu vyloučením závadné škváry. V roce 1968 začalo nové vedení Prefy Hýskov v Rynholci i přes zákaz používání radioaktivní škváry vyrábět z inkriminovaného materiálu škvárobetonové panely pro montované domy typu START. Panely byly vyráběny v tloušťce 300 mm a byly určeny na celou výšku podlaží. Projekt domů START byl typizovaný, dům měl jedno technické podlaží, zpravidla umístěné pod zemí a dvě obytná podlaží s plochou střechou.



Obrázek č. 7 a 8: Pohledy na typizovaný rodinný dům typu START [17]



Obrázek č. 9 a 10: Půdorys technického a obytného podlaží typizovaného rodinného domu typu START [17]

V roce 1986 byly škvárobetonové panely opět zakázány, ale do té doby bylo vyrobeno panelů na zhruba 3 000 domů převážně v Praze, Středočeském, Královéhradeckém a Pardubickém kraji, další domy typu START byly postaveny také v Brně a Jižních Čechách, ty však byly postaveny z nezávadných materiálů. Zvýšený výskyt radonu a gama záření v těchto domech byl řešen již před rokem 1989. Zejména kvůli tlakům majitelů těchto domů vláda nabídla jejich odkup a sanaci. Pro prodej se však rozhodlo jen několik desítek vlastníků, zbytek přistoupil na protiradonová opatření. Typizované domy START jsou stále součástí měst a vesnic, dnes je však kvůli různým přístavbám, nástavbám, změn zastřešení nebo zateplení fasády nelze tak snadno poznat. Jediná spolehlivá metoda, jak zjistit, zda se jedná o rodinný dům START postavený ze závadného materiálu, je proměření záření gama. [16] [17]

3.1.4 Pórobeton z Poříčí u Trutnova

Dalším problematickým materiálem byl pórobeton vyráběný v Poříčí u Trutnova, u kterého byly zjištěny hodnoty radia řádově vyšší, než uváděla připravovaná norma. Zajímavé je, že i když byly hodnoty radia zhruba čtyřikrát nižší než ve škvárobetonu z Rynholce, procento vyzařování radonu bylo vyšší. Důvodem této vysoké koncentrace byla jedna ze surovin pro výrobu pórobetonu – elektrárenský popílek. Popílek pocházel z místní elektrárny Poříčí u Trutnova, která spalovala černé uhlí těžené v oblasti žacléřsko - svatoňovické uhelné pánve, problematické bylo uhlí ze sloje Baltazar, která bylo shodně jako v Rynholci velmi bohatě uranově mineralizované. Během let 1956 – 1982 bylo z poříčského pórobetonu postaveno zhruba 35 000 domů zejména v Libereckém, Královéhradeckém a Pardubickém kraji. Tyto domy lze dnes obtížně identifikovat, pórobetonové tvárnice byly využívány na individuální stavební projekty na rozdíl od typizovaných domů START. Výrazně nepomáhá ani měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu, tedy záření gama, protože se jeho hodnoty pohybují jen nepatrně nad úroveň přírodního pozadí. Koncentrace radonu reálně přesáhla limity chystané normy jen v několika procentech domů, kde byl materiál použit, přesto však bylo vydáno rozhodnutí o snížení množství radia v tomto stavebním materiálu. Události kolem poříčského pórobetonu vedly k tomu, že ministerstvo stavebnictví zahájilo výzkum

protiradonových opatření se zaměřením na radon ze stavebních materiálů a ne na ochranu před rozšířenějším problémem – radonem z podloží. [16] [18]

3.1.5 První provedená měření

Pro zmapování situace radonové problematiky bylo v postižených oblastech provedeno systematické proměření příkonů fotonových dávkových ekvivalentů a integrální celoroční měření stopovými detektory koncentrace radonu.

3.1.5.1 Srovnání

V maltách v Jáchymově byly zjištěny obsahy rádia dosahující ke stovkám tisíc Bq/kg, někde dokonce až milióny Bq/kg [15], škvára z Rynholce obsahovala od 1000 do 4000 Bq/kg radia [17] a tvárnice z Poříčí měly obsah radia mezi 200 – 1000 Bq/kg [18], v ostatních používaných materiálech do roku 1991 dosahovala hmotnostní aktivita radia hodnot maximálně do 100 Bq/kg. [19] Je jasné, že i tyto hodnoty je nutné brát v úvahu při posuzování výsledků měření, které jsou uvedeny v následujících tabulkách:

Počet domů	Procento domů	Příkon fotonového dávkového ekvivalentu ($\mu\text{Sv/h}$)
600	80	< 0,5
130	17	0,5 – 2,0
20	3	> 2,0

Tabulka č. 1: Příkony fotonových dávkových ekvivalentů v jáchymovských domech postavených před rokem 1991 [20]

Procento bytů	Příkon fotonového dávkového ekvivalentu ($\mu\text{Sv/h}$)
3	< 0,5
57	0,5 – 0,99
37	1,0 – 1,5
3	> 1,5

Tabulka č. 2: Příkony fotonového dávkového ekvivalentu v domech z rynholeckého škvárobetonu podle měření z let 1989–1990 [21] [22]

V Jáchymově se tedy v době měření nalézalo 150 domů tedy asi 20 %, kde byla překročena hodnota 0,5 $\mu\text{Sv/h}$, v některých domech byl změřen příkon až 30 $\mu\text{Sv/h}$. U domů postavených z rynholeckého škvárobetonu stejnou hodnotu přesahuje kolem 97 % domů, jedná se jak o bytové domy, tak rodinné domy typu START, protože výsledky jejich měření se víceméně shodovaly. Maxima byla zjištěna hlavně v rozích mezi dvěma škvárobetonovými stěnami a také na povrchu některých stěn, ale protože je škvára v materiálu rozptýlena nerovnoměrně, nejedná se o pravidlo. Naproti tomu tvárnice z Poříčí vykazovaly nejčastěji hodnoty příkonů fotonových dávkových ekvivalentů 0,2 – 0,4 $\mu\text{Sv/h}$, hodnoty jsou tedy jen nepatrně vyšší než je přírodní pozadí a tudíž, jak již bylo řečeno, je identifikace tohoto materiálu velmi obtížná. V současné době legislativa stanovuje referenční úroveň hodnotou 1 $\mu\text{Sv/hod}$ pro maximální příkon prostorového dávkového ekvivalentu v obytné nebo pobytové místnosti, tudíž by byly počty domů nesplňujících požadavky nižší. [15] [17] [18] [19]

Počet domů	Procento domů	Koncentrace radonu Bq/m^3
285	38	< 400
263	35	400 – 1000
202	27	> 1000

Tabulka č. 3: Koncentrace radonu v jáchymovských domech postavených před rokem 1991[15]

Procento domů	Koncentrace radonu Bq/m³
38	< 200
34	200 – 400
13	401 – 600
15	> 600

Tabulka č. 4: Koncentrace radonu v domech STA RT na základě integrálního celoročního měření stopovými detektory z let 1989–1990 [22]

Procento domů	Koncentrace radonu Bq/m³
49	< 200
41	200 – 400
6	401 – 600
4	> 600

Tabulka č. 5: Koncentrace radonu v bytech bytových domů z rynholeckého škvárobetonu na základě integrálního celoročního měření stopovými detektory z roku 1995 [22]

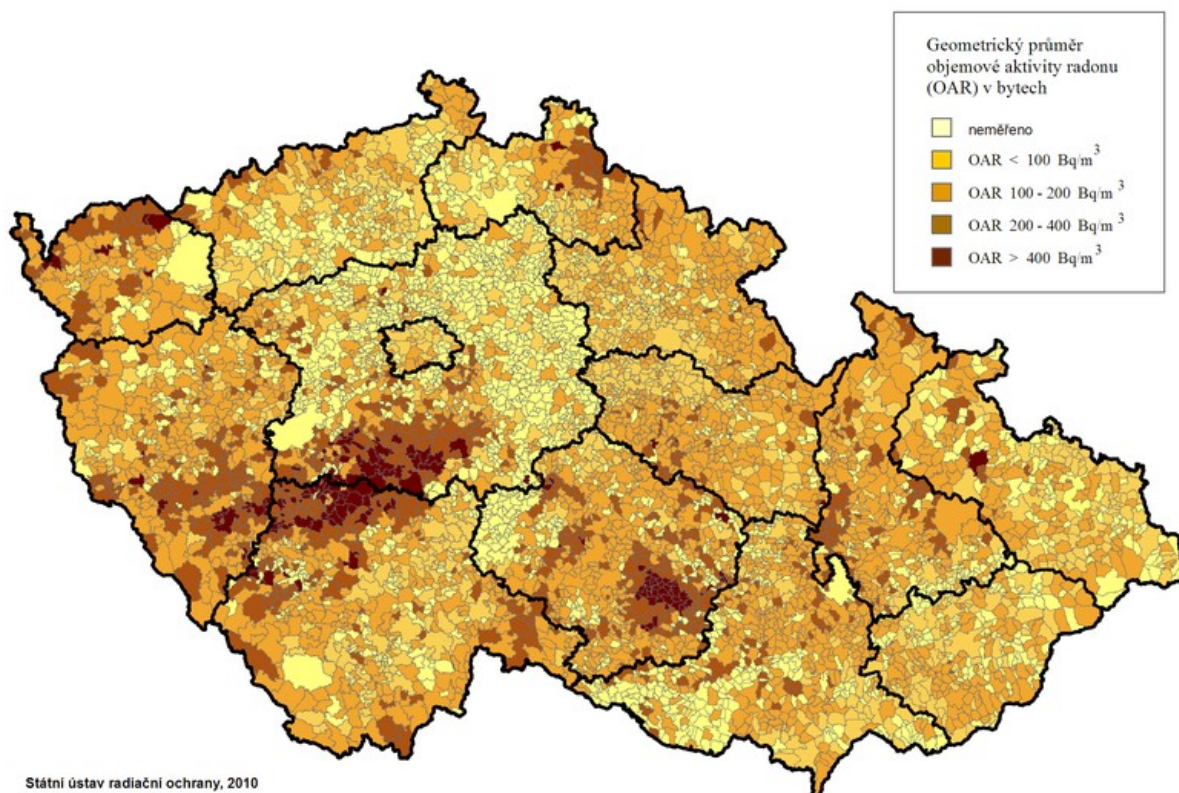
V jáchymovských domech je v 62 % překročena hodnota 400 Bq/m³, tedy něco kolem 465 domů. Jedná se o relativně vysoké množství, důvodem je vysoké radonové riziko z podloží a obecně horší technický stav kontaktních konstrukcí. U domů postavených ze škvárobetonu z Rynholce jsou čísla výrazně nižší, limit 400 Bq/m³ překračuje 28 % rodinných domů typu START a pouze 10 % bytových domů postavených z tohoto materiálu. Rozdíl mezi rodinnými domy a bytovými domy, které jsou postavené ze stejného materiálu, je velmi lehce odůvodnitelný. Bloky pro rodinné domy START měly tloušťku pouze 300 mm, naproti tomu bytové domy mají stěny tlusté 440 mm. Škvárobeton v rozměru 300 mm vykazuje velmi špatné tepelně izolační vlastnosti, majitelé těchto domů byli nuceni svoje domy a jejich okna utěsnit a omezit větrání, aby ušetřili energie za vytápění. Bytové domy se 440 mm stěnami mají nejen výrazně lepší tepelně izolační schopnosti, ale také byly vytápěny dálkově, což byl symbol pro přetápění, obyvatelé bytů tudíž nebyli nuceni nijak omezit větrání a tím pádem byl radon ve větší míře odváděn pryč. K lepšímu provětrání přispívá i komínový efekt, který je způsoben výškou bytových domů. Stav domů postavených z poříčského plynosilikátu byl prověřen v letech 1987 – 1990. Měření bylo provedeno ve zhruba 4000 domech

postavených z tohoto materiálů a překročení limitu 400 Bq/m^3 bylo zjištěno jen asi ve 2 %. Tyto velmi dobré výsledky způsobuje nejen nižší obsah radia v materiálu, ale i lepší ventilace v těchto domech. Stěna o tloušťce 300 mm postavená z pěnosiilikátových tvárnic má asi 3krát lepší tepelně izolační vlastnosti než bloky ze škvárobetonu o stejné tloušťce, tudíž obyvatelé domů z tvárnic z Poříčí nebyli nuceni nijak upravovat způsob větrání, ani utěšňovat okna a jiné kontaktní konstrukce. Ze srovnání by mohlo vyplývat, že situace s radonem uvolňujícím se z konstrukcí není až tak dramatická, ale je nutné připomenout, že uváděná měření byla provedena do roku 1995. Technický stav domů a způsob ventilace odpovídají tehdejší době, ale situace se do dnešního dne velmi výrazně změnila. U domů byla vyměněna původní okna za velmi těsná, nejčastěji plastová a obvodové zdi byly opatřeny tepelnou izolací pro co největší snížení tepelných ztrát objektů. Výměny vzduchu se ve stavbách velmi výrazně snížily a dá se očekávat, že koncentrace radonu se naopak velmi výrazně zvýšily. Legislativa navíc dnes požaduje v průměru nepřekračovat hodnotu 300 Bq/m^3 , takže i to může mít vliv na počet ohrožených domů. [15] [17] [18] [19]

3.1.6 Geologické podmínky

Kvůli Jáchymovu, rynchleckému škvárobetonu a poříčskému pórobetonu byl v roce 1987 v ČSSR vydán první metodický pokyn hygienika, ministerstva stavebnictví a ministerstva zdravotnictví, který vyžadoval omezení hmotnostní aktivity radia ve stavebních materiálech a určení limitní koncentrace radonu v obytných prostorech. [23] Zároveň byly v polovině 80. let zjištěny vysoké koncentrace radonu v mnoha budovách, ale bylo evidentní, že zdrojem radonu není stavební materiál, ale pronikání radonu z podloží. Za pomoci Českého geologického ústavu bylo území České republiky rozděleno na oblasti s nízkým, středním a vysokým radonovým rizikem a byly vytvořeny mapy radonového indexu. Předpokládané oblasti byly následně proměřeny a zájem vlády i veřejnosti se zaměřil na problematiku radonu z podloží. Zároveň byly zkoumány a experimentálně ověřovány sanační postupy a způsob jejich financování. Do současnosti byla provedena ozdravná opatření ve více než 2 000 rodinných domech, školách a školkách. [16]

Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky



Obrázek č. 11: Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky [24]

3.2 Legislativa v ČR

Vzhledem k nepříznivým geologickým podmínkám a používání závadného stavebního materiálu, je legislativa v ČR velmi dobře propracovaná a prošla rozsáhlým vývojem.

3.2.1 Vývoj legislativy ČR

Legislativa týkající se radonu se poprvé objevila v roce 1991 ve vyhlášce ministerstva zdravotnictví č. 76/1991 Sb. Zde byly poprvé uvedeny požadavky na radon a gama záření ve stavebním materiálu, při výstavbě, užívání staveb a dodávanou vodu. Radon byl hlavním tématem v usneseních vlády č. 150/1990 a č. 709/1993, zde byly uvedeny možnosti poskytnutí státních dotací na protiradonová opatření a odkupu rodinných domů typu START s vyšší úrovní záření gama a radonu. První „vlastní“ zákon získal radon v roce 1997, jednalo se o takzvaný atomový zákon č. 18/1997 Sb. a vyhlášku SÚJB – Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně č. 184/1997 Sb. Zde se poprvé objevila povinnost měřit radonový index pozemku, na kterém je naplánovaná výstavba nového objektu, výrobcům je zde ukládána povinnost měřit radioaktivitu stavebních materiálů a dodavatelům vody radioaktivitu dodávané vody. Byly zde stanoveny i směrné hodnoty pro nové a stávající objekty. V roce 1999 vydala vláda usnesení č. 538, ve kterém byl zahájen tzv. Radonový program, který trval 10 let v rozmezí let 2000 – 2010. Tento program měl

za úkol vyhledat existující objekty s vysokou koncentrací radonu, zajistit preventivní protiradonová opatření do nových staveb a rozšířit protiradonová opatření do existujících budov, zároveň měl informovat veřejnost a podporovat vývojové a výzkumné činnosti. Program je považován za velmi úspěšný a česká protiradonová politika je mezinárodně uznávaná. V roce 2009 vydala mezinárodní zdravotnická organizace (WHO) prohlášení, že radon v bytech je druhou nejvýznamnější příčinou rakoviny plic hned po kouření. V návaznosti na toto prohlášení a Radonový program bylo připraveno nové vládní usnesení k radonu - Radonový program ČR 2010 až 2019 - Akční plán. WHO vytvořila v roce 2014 informační leták, který obsahuje 12 bodů ke snížení rizika rakoviny. Jedním z těchto bodů je zajištění a snížení koncentrace radonu v obytných a pobytových prostorech. V České republice je od 1. 1. 2017 platný nový atomový zákon č. 263/2016 Sb. [16]

3.2.2 Nový atomový zákon č. 263/2016 Sb.

Zákon č. 263/2016 Sb., tedy nový atomový zákon obsahuje řadu změn nejen pro ochranu budov před radonem. Tento zákon převádí evropskou legislativu, tedy direktivu 2013/59/Euroatom, která obsahuje doporučení ICRP (International Commission on Radiological Protection, česky - Mezinárodní komise radiologické ochrany) z roku 2007. Toto doporučení zavádí zcela novou terminologii a řadu změn v systému radiační ochrany. Česká republika má z historických důvodů velmi dobře legislativně ošetřenou regulaci ozáření z přírodních zdrojů, tudíž začlenění nové evropské legislativy pro nás není tolik náročné jako v jiných zemích, kde se tato regulace zavádí do legislativy poprvé. Významnou roli hraje optimalizace, nejsou stanoveny limity, ale referenční úrovně (nahrazují předchozí směrné hodnoty), jsou to úrovně, se kterými se srovnáváme v konkrétní situaci. Cílem navíc není se dostat pouze nepatrně pod tyto úrovně, ale i dále se snažit o jejich snížení, cíl optimalizace je tak nekončící proces. Referenční úrovně byly nově sjednoceny pro obydlí (bez rozlišení mezi stávajícími a novými domy), veřejné budovy a pracoviště, tato úroveň je stanovena na 300 Bq/m^3 . Každý, kdo navrhuje umístění nové stavby, ohlašuje nebo žádá o povolení změny stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi, musí získat informace o míře rizika pronikání radonu a tyto výsledky brát v úvahu při projektování a realizaci. Preventivní ochranu je nutné provést i na pozemku s nízkým radonovým indexem. Měření úrovně radonu je nutné provádět i u změn dokončené stavby, tento bod je obzvláště důležitý, protože zejména u rekonstrukcí se dříve hodnota radonu zanedbávala a přitom zateplení a výměna oken má právě na koncentraci radonu velmi výrazný vliv. Tento vliv byl dokázán v mateřských a základních školách. Řada těchto objektů byla v minulých letech rekonstruována, ve školách a školkách, kde byla okna vyměněna za nová plastová, se objemová aktivita radonu průměrně zvýšila o 60 %. Na protiradonová opatření do stávajících staveb jsou poskytovány dotace. Dotace lze žádat na stavby, jejichž stavební povolení bylo vydáno před 28. 2. 1991. Rozhodující pro poskytnutí dotace je průměrná hodnota objemové aktivity radonu. Pro byty a domy pro bydlení je to hodnota 1000 Bq/m^3 , pro budovy určené pro dlouhodobý pobyt dětí je limit stanoven na 300 Bq/m^3 a pro budovy určené pro dlouhodobý pobyt dospělých v rámci sociálních a zdravotních služeb je hodnota určena na 1000 Bq/m^3 . [25] [26]

3.2.3 Radonový program – Akční plán

Evropská direktiva také vyžaduje vytvoření tzv. Národního akčního plánu, který má stanovit zásady

a odpovědnosti při regulaci ozáření radonem. Česká republika má svůj Radonový program již od roku 1999, takže tento požadavek nepředstavuje problém. V současné době platí na našem území Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán, který vychází z usnesení vlády č. 594 ze dne 4. 5. 2009. Jedná se již o druhý radonový program, první Radonový program ČR byl přijat na základě usnesení vlády ČR č. 538 ze dne 31. 5. 1999 a byl platný pro období let 2000 až 2009. V současné době platný Radonový program zohledňuje připravovanou novelu směrnice 96/29/Euratom, většina požadavků této novely je již součástí příslušných právních předpisů ČR a tím pádem byla součástí již předchozího Radonového programu. Program má velmi jasnou strukturu, ze které vyplývá, co je jeho cílem a pro koho jsou jednotlivé body určeny [26]

3.2.3.1 Struktura Akčního plánu

Akční plán má několik strategií, které mají různé cíle, u každé je uvedeno, kdo je za plnění zodpovědný a jak bude jednotlivých cílů dosaženo.

1) Strategie informovanosti

Tento bod má zajistit informovanost obecné veřejnosti, se zaměřením na dotčené skupiny občanů a profesních skupin. Dotčené skupiny jsou například majitelé starých domů, stavebníci nových bytů. Do profesních skupin spadají zejména projektanti či pracovníci stavebních úřadů. Dále je cílem tohoto bodu vzdělání veřejnosti, tedy začlenit radonovou problematiku do výuky ve školách a také vzdělání veřejnosti odborné, myšleno nejen projektanty, pracovníky krajských, obecních či stavebních úřadů, ale také lékaře a pracovníky realitních kanceláří. Dále má tato strategie zajistit koordinaci celostátní kampaně, která má zvýšit zájem o radonovou problematiku, zejména v rizikových oblastech. V neposlední řadě mají být i nadále vedeny internetové stránky k Radonovému programu a vytvářeny motivační programy pro zapojení krajských a obecních úřadů.

2) Strategie protiradonové prevence

Tato strategie zajišťuje prevenci proti ozáření z radonu, která má být prováděna v novostavbách budov s obytnými a pobytovými místnostmi. Ta má být zajištěna komplexní legislativou, standardizací postupů, kontrolou kvality těchto postupů a průběžnou analýzou úspěšnosti prevence na celostátní úrovni, včetně vyhodnocení efektivity programu a zvyšování jeho účinnosti.

3) Strategie usměrňování stávajícího ozáření z radonu

Cílem této strategie je postupně snižovat počet existujících bytů a budov ve veřejném zájmu, ve kterých je překročena směrná hodnota koncentrace radonu. Také má za úkol takto postižená místa na základě měření najít, předat vlastníkům informace o výsledcích měření a v případě překročení referenčních hodnot informovat o možnostech a potřebě ozdravných opatření. Dotčené subjekty mají zajistit možnosti kvalitního měření a vyvolat zájem vlastníků nemovitostí o toto měření. Vlastníci budov mají mít možnost získat co nejvíce informací o ozdravení objektů či vodovodů. Strategie také upravuje právní rámec, který vymezuje podmínky pro poskytování státní podpory pro ozdravná opatření. Dalšími body jsou zajištění systému nezávislého měření po provedení opatření, shromažďování podkladů, analýza dopadu a efektivity tohoto programu a jeho

zlepšování.

4) Odborná vědecko – technická podpora realizace úkolů Akčního plánu

Aby bylo dosaženo předchozích popsaných cílů, je potřeba, aby byla podporována vědecko – technická činnost jednotlivých zapojených resortů. V této části není přesně stanoveno jakých konkrétních cílů a jak jich má být dosaženo, pouze jsou zde naznačena rámcová odborná témata. Jedná se zejména o shromažďování údajů o ozáření, jeho dalším vývoji, souvisejících zdravotních rizicích a posouzení účinnosti prevence a ozdravných opatření. Dále je kladen důraz na vývoj v oblasti měřících a diagnostických metod, nových technologií stavebních protiradonových opatření, metodiky stanovení radonového indexu stavby, geofyzikálních metod hodnocení radonového rizika. Také je zde zahrnut vývoj a zpracování mapových podkladů pro hodnocení geologického podloží a bytového fondu ČR, rovněž jejich aktualizace a upřesnění prognóz map radonového rizika. V neposlední řadě je kladen důraz na vývoj a inovace postupů a technologií pro snižování radioaktivních látek ve vodě. [27]

4. Radon ve stavbách

Radon se do staveb může dostat třemi způsoby, buď do domu proniká z podloží, uvolňuje se ze stavebního materiálu nebo je obsažen ve vodě, která je do budovy dodávána. Zejména kvůli geologickým podmínkám České republiky představuje radon z podloží největší riziko, ať už u novostaveb nebo stávajících objektů. Obsah radia a s ním spojené vyzařování radonu a jeho dceřiných produktů ze stavebních materiálů je dnes pod přísnou kontrolou, tudíž radon ze stavebního materiálu by pro novostavby neměl představovat riziko. Radon ze stavebního materiálu je tedy záležitost již stávajících staveb, zejména těch, které jsou postavené z materiálů popsaných v předchozích kapitolách. Stejně jako stavební materiály, tak i obsah radonu ve vodě je velmi pečlivě sledován, riziko hrozí zejména u domovních studní, kde kontrola není vyžadována.

4.1 Ochrana staveb před radonem z vody

Jak již bylo řečeno, voda pro veřejnou potřebu je pod pečlivou kontrolou nejen z hlediska obsahu radonu a přírodních radionuklidů, proto u vody dodávané z veřejné sítě není důvod k obavám. Riziko hrozí zejména u malých zdrojů vody

4.1.1 Obsah radonu ve vodě

Měření vody probíhá v laboratořích, kam jsou vzorky o objemu několika desetin litru dopravovány ve speciálních vzorkovnicích, které musí být těsné proti unikání radonu. Pitná a balená voda nesmí být dodávána, pokud objemová aktivita radonu překročí nejvyšší přípustnou hodnotu 300 Bq/l, nebo obsah přírodních radionuklidů překročí referenční úroveň celkové objemové aktivity radonu 100 Bq/l nebo indikativní dávky 0,1 mSv/rok a nebylo provedeno opatření, které snižuje míru ozáření na úroveň tak nízkou, jaké lze rozumně dosáhnout při zohlednění všech hospodářských a společenských hledisek.

4.1.2 Opatření proti radonu ve vodě ve veřejných sítích

Jako opatření proti většímu množství radonu se v ČR používají výhradně aerační zařízení – voda je díky nim provzdušňována a radon je vytěsněn. Tato zařízení jsou velmi hojně využívána na úpravárnách vody pro veřejné vodovody, jejich účinnost je vysoká, často přesahuje i 90 %. Nevýhodou těchto zařízení jsou relativně vysoké náklady na pořízení, v řádech statisíců korun, proto nejsou používány u velmi malých zdrojů vody.

4.1.3 Opatření proti radonu ve vodě u domovních studní

Riziko pronikání radonu z vody do staveb je možné prakticky pouze u malých zdrojů vody, tedy hlavně u domovních studní. Vlastníci těchto zdrojů vody nemají povinnost měřit obsah radonu, ale měření se doporučuje, zejména v oblastech s vysokým radonovým rizikem z geologického podloží. U vody obsahující radon není riziková její konzumace, ale užívání, protože právě při jejím použití se část radonu uvolňuje do ovzduší, vytváří dceřiné produkty radioaktivního rozpadu, ty jsou vdechovány a ozařují osoby. Při mytí a sprchování se z vody uvolňuje zhruba 50 % radonu, při vaření a praní už je to skoro 100 %. Při obsahu radonu ve vodě v rozmezí 300 – 1000 Bq/l se

doporučuje intenzivní provětrání místností, kde se tato voda využívá, je – li obsah radonu více než 1000 Bq/l je již vhodné radon z vody odstranit nebo použít jiný zdroj vody. [28]

4.2 Ochrana před radonem ve stavbách

Radon se uvnitř staveb vyskytuje z důvodu jeho pronikání z podloží nebo se může uvolňovat ze stavebního materiálu. Ochrana novostaveb je z hlediska možných opatření jednodušší, navíc se s nimi z legislativních důvodů musí počítat již v projekční části. Naproti tomu ochrana již stávajících staveb je poněkud komplikovanější. Existují dva hlavní principy ochrany proti radonu, buď je snižován přísun radonu, nebo je radon za pomoci zvýšené ventilace odvětráván z domu pryč.

4.2.1 Měření radonu

U staveb, kde nebyl určen radonový index pozemku či stavby je nutné přistoupit k měření koncentrace radonu uvnitř domu. Koncentrace radonu se mění nejen v průběhu roku, ale i během dne. Průběh koncentrace radonu je závislý na užívání domu, jak se mění podtlak v domě či jaká je intenzita větrání. Vznikající podtlak má velmi výraznou roli při zvyšování koncentrace uvnitř domu. Když se zvětšuje rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou, zvyšuje se i aktivní nasávání radonu do budovy, proto jsou koncentrace radonu zpravidla nejvyšší v nočních a ranních hodinách a během zimy. Z těchto důvodů musí být měření radonu prováděno vždy v delším časovém období, minimální doba měření je jeden týden, toto krátké měření smí být prováděno za běžných uživatelských podmínek během topné sezóny, tedy od září do května. Lepší vypovídající hodnotu mají měření prováděná po delší dobu, nejčastěji od 2 měsíců až po měření trvajícím rok. Existují dva hlavní typy měření:

4.2.1.1 Integrované měření

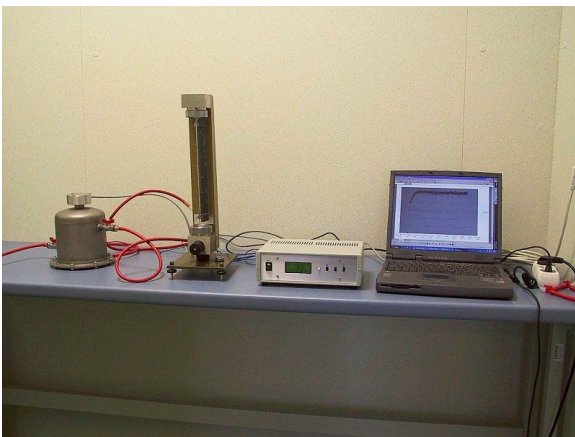
Výsledkem těchto měření jsou průměrné hodnoty koncentrace radonu, nezobrazují tedy časový průběh koncentrace radonu pouze průměrnou hodnotu za měřené období. Pro toto měření se používají elektrody, které měří v kratších časových úsecích, většinou po dobu jednoho týdne. Druhým typem integrovaných měřičů jsou stopové detektory, ty se používají pro delší měření trvajícím od jednoho měsíce až po celý rok. Stopové detektory jsou bezplatně poskytovány pro měření koncentrací radonu ve stavbách v rámci Radonového programu ČR a o jejich zapůjčení může požádat každý. Integrované měření je označováno jako měření základní, protože udává pouze průměrnou hodnotu, lze je tedy použít pro ověření účinnosti provedených protiradonových opatření, ale nelze je použít pro nastavení režimu ventilátorů u aktivních větracích systémů.



Obrázek č. 12 a 13: Integrované měřiče [34]

4.2.1.2 Kontinuální měření

Tato měření poskytují časový záznam po celou dobu měření, jejich výsledkem je tedy časový průběh koncentrace radonu. Pro tato měření se používají kontinuální monitory a měření nejčastěji probíhá po dobu 1 až 2 týdnů. Tyto monitory se používají k nastavení výkonů a režimů ventilátorů protiradonových opatření.



Obrázek č. 14 a 15: Kontinuální monitory [34]

Dále je pro měření koncentrace radonu možné využít přístroje, které dokáží změřit hodnoty radonu i během několika minut. Nejznámější je kontinuální monitor radonu RADONIC, který zobrazuje okamžité hodnoty s 2 minutovým intervalem.

U stávajících staveb je nutné zohlednit vliv radonu uvolňujícího se ze stavebních materiálů, proto je potřeba provést stanovení dávkového příkonu záření gama. Hodnota záření gama je měřena ve výšce 1 m nad podlahou a ve vzdálenosti 0,5 m od stěny. Pokud je hodnota do 0,2 $\mu\text{Sv/h}$, stavební materiál domu není rizikový, a proto o vlivu radonu ze stavebního materiálu není potřeba uvažovat. Od hodnot 0,3 $\mu\text{Sv/h}$ však už může jít o kontaminovaný materiál a je nutno ho zohlednit při výběru opatření proti radonu. Pokud je zdrojem radonu pouze stavební materiál, budou koncentrace radonu přibližně stejné ve všech patrech a jejich hodnota zpravidla nepřesáhne 800 Bq/m^3 , i tak je však nutné tuto koncentraci snížit. [34]

4.2.2 Radon v novostavbách

Ochrana proti radonu je dnes již úplnou samozřejmostí u každé novostavby, není ani nijak zvlášť náročná, je pouze nutné dodržet několik bodů. Vždy je nutné nechat stanovit radonový index pozemku, na základě výpočtové koncentrace radonu v podloží a propustnosti zeminy se stanoví případná další protiradonová opatření. Ochrana proti radonu má být navržena a realizována tak, aby koncentrace v interiéru nepřesáhla úroveň v rozmezí 100 – 150 Bq/m³.

4.2.2.1 Protiradonová izolace

Základem protiradonové ochrany je vždy celistvě a souvisle provedená hydroizolace nebo protiradonová izolace s těsnými spoji a prostupy. Zajímavé je, že hydroizolace a protiradonová izolace je zajištěna pouze jednou izolační vrstvou, přestože požadavky na bezpečnost těchto vrstev jsou zcela rozdílné. Zatímco hydroizolace je nejvíce namáhána v místě, kde je objekt zakládán pod hladinou podzemní vody nebo kde se vyskytují nepropustné zeminy, na izolaci proti radonu jsou kladeny nejvyšší nároky v místech suchých a propustných zemin. Tam, kde jsou zeminy nepropustné či pod hladinou podzemní vody, je jen velmi málo půdního vzduchu, který by se mohl šířit difúzí a proto zde radon nemůže do domu pronikat. Naopak tam, kde je zemina suchá a propustná může vzduch proudit a podtlakem být nasáván do domu, dokonce až ze vzdálenosti několika metrů od domu. [29]

4.2.2.2 Doplnková opatření

Mezi doplňková opatření proti radonu patří větrací systém podloží nebo odvětrávaná izolační vrstva, ty je nutné instalovat, pokud je pod podlahou nejnižšího obytného podlaží proveden plynopropustný podsyp (např. šterkopísek, šterk či tepelněizolační násyp) nebo je součástí podlahy na terénu podlahové topení. Základní odsávací prostředek pro větrání podloží novostaveb je odsávací potrubí, dále se používají odsávací jímky, avšak v mnohem menší míře. Systémy pro větrání podloží jsou buď přirozeně větrané, zakončené ventilační turbínou nebo jsou větrány nuceně za použití ventilátoru.

Odvětrávaná izolační vrstva je tvořena vodorovnými nebo svislými vzduchovými mezerami umístěnými v podlahách či stěnách, které jsou v kontaktu s podložím. Výhodou je, že je lze umístit nad i pod protiradonovou izolaci stejně tak jako na vnitřní či vnější straně suterénních stěn. Ventilační vrstva může být tvořena například nopovou fólií, vlnitou deskou nebo plastovými tvarovkami, stejně jako u odvětrávání podloží jde buď o pasivní systém ukončený ventilační turbínou, nebo aktivní systém, který vyžaduje použití ventilátoru. [30] [31]

4.2.3 Radon z podloží ve stávajících stavbách

Rizika pronikání radonu jsou u stávajících budov stejná či dokonce vyšší než u novostaveb, protože kontaktní konstrukce bývají v horším technickém stavu. Stavby postavené před rokem 1991 nejsou proti radonu dostatečně chráněny, navíc mohou být postavené z materiálu obsahujícího větší množství přírodních radionuklidů, takže protiradonová opatření jsou zde obzvláště důležitá.

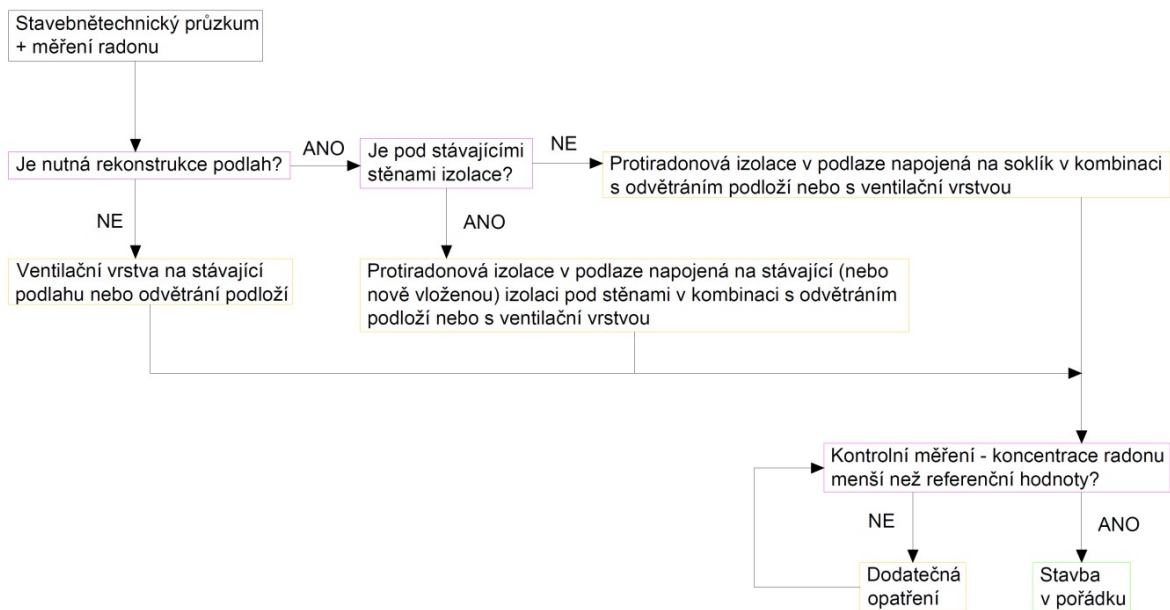
4.2.3.1 Opatření určená ke svépomocné montáži

Je – li koncentrace radonu zvýšena relativně málo a stavba má vhodné dispoziční předpoklady, například obytná část je od podloží oddělena sklepem a zdrojem radonu není stavební materiál, lze na domě provést jednoduchá opatření umožňující svépomocnou montáž. Sem patří hlavně zajištění odpovídajícího větrání domu, utěsnění trhlin, prostupů a otvorů v kontaktních konstrukcích, dále je potřeba nahradit trativody podlahovými vtoky se zápachovou uzavírkou, utěsnit prostupy ve stropě mezi sklepem a přízemím, zabránit proudění vzduchu ze sklepa do vyšších pater utěsněním nebo výměnou dveří vedoucích do sklepa a také zvýšit přirozené odvětrání sklepa a izolačního podlaží například pomocí větracích průduchů. Výhodou těchto opatření je jejich velmi snadná proveditelnost, nevýhodou je relativně nízká účinnost, která většinou nepřevyšuje 50 %.

Pokud je koncentrace radonu výrazně vyšší nebo je stavba a její technický stav složitější, je potřeba zvolit taková opatření, která vyžadují profesionální technologii. Mezi tato opatření patří rekonstrukce podlah včetně položení izolace proti radonu, provedení odvětrání podloží či ventilační vrstvy nebo zavedení nucené ventilace v domě. [34]

4.2.3.2 Protiradonová izolace

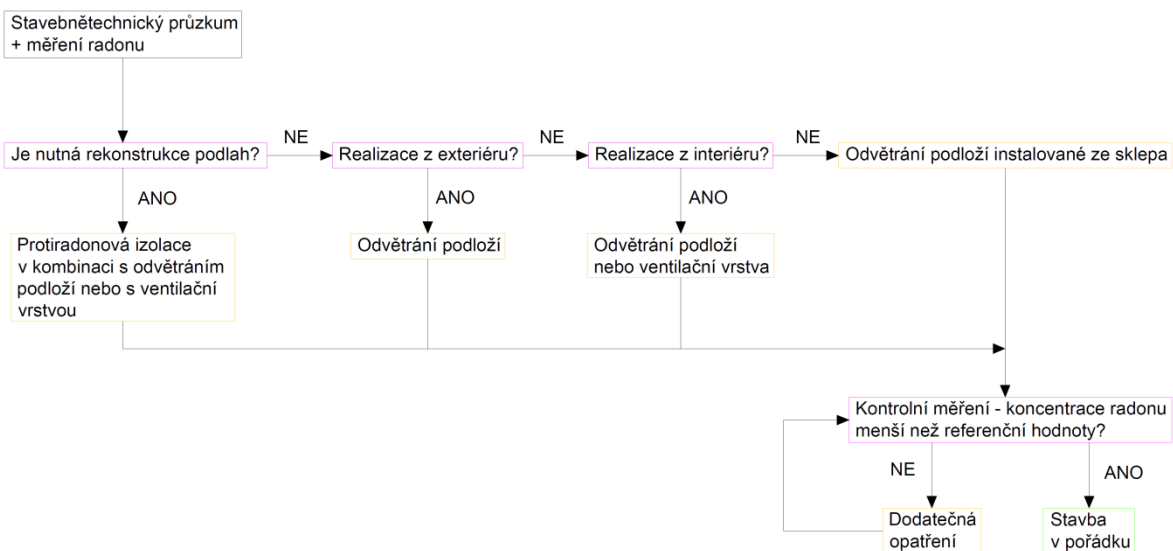
U stávajících staveb je stejně jako u novostaveb možné použití izolací proti radonu, avšak jejich využití není tak časté. Instalace do stávajících budov je nejen velmi komplikovaná a finančně náročná, ale je i méně účinná než ostatní opatření. K jejich realizaci do stávajících budov se přistupuje v případě, že jsou kontaktní konstrukce ve velmi špatném stavu a v domě se zároveň vyskytuje zvýšená vlhkost kontaktních konstrukcí. Pokud však v budově dochází k rekonstrukci kontaktních konstrukcí z jiných příčin, než je radon, je umístění izolace proti radonu do nových konstrukcí vhodným opatřením i při velmi nízkých koncentracích radonu v domě. [32]



Obrázek č. 18: Schéma použití protiradonové izolace pro ochranu stávajících staveb [32]

4.2.3.3 Odvětrání podloží

Větrací systémy podloží jsou pro stávající stavby velmi vhodná opatření, protože je lze použít prakticky kdekoliv. Také je možné použití všech typů odsávání, záleží na konkrétních parametrech stavby, vnějších podmínkách a požadavcích majitele. Systémy mohou být u novostaveb jak pasivní tak aktivní, ale upřednostňuje se použití systému s nuceným větráním, protože jsou zpravidla zapotřebí větší podtlaky.



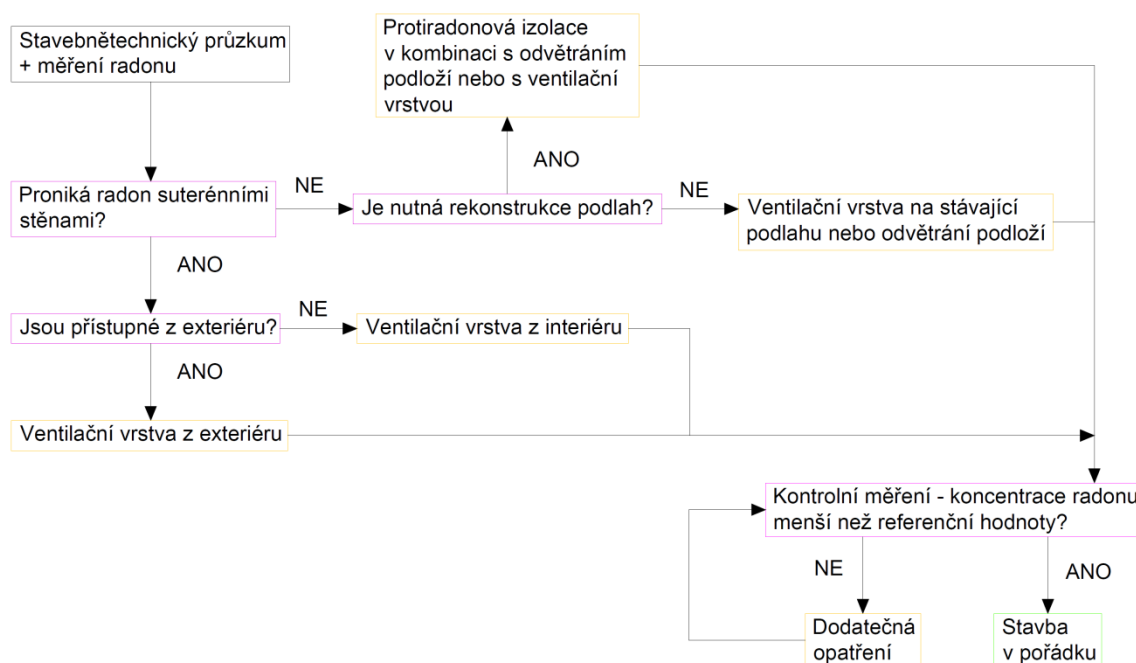
Obrázek č. 19: Schéma použití protiradonové izolace pro ochranu stávajících staveb [30]

Použití odsávacího potrubí není příliš ekonomicky vhodné, protože je vždy nutná alespoň částečná destrukce podlah. Naproti tomu velmi vhodné jsou odsávací vrty, velmi dobře fungují a lze je instalovat jak z exteriéru, tak z interiéru. Odsávací jímky jsou efektivní pouze, pokud je lze

instalovat bez nutnosti výměny podlah. Posledním systémem odvětrání podloží jsou odsávací studny, avšak k jejich realizaci se přistupuje spíše výjimečně a to pokud je v objektu nebo v jeho bezprostřední blízkosti vhodná studna. Instalace samostatné studny by byla finančně velmi náročná, odsávací studny navíc mohou fungovat výhradně jako aktivní větrací systém. [30]

4.2.3.4 Ventilační vrstva

Stejně jako u odvětrání podloží je využití ventilační vrstvy velmi vhodné pro stávající stavby, protože lze využít téměř v každém stávajícím domě bez ohledu na funkci stavby, velikost, konstrukční řešení nebo osazení v terénu. Ventilační vrstvu je vhodné použít, pokud je potřeba vyřešit i zvýšenou vlhkost kontaktních konstrukcí, avšak kontaktní konstrukce nesmí být vystaveny podzemní vodě. Systém ventilační vrstvy může být opět větrán jak přirozeně, tak nuceně, ale u stávajících staveb se systém navrhuje přednostně jako aktivní, aby byla zajištěna dostatečná účinnost. [31]



Obrázek č. 20: Schéma použití ventilačních vrstev pro ochranu stávajících staveb [31]

4.2.4 Konstrukční opatření proti radonu ze stavebních materiálů

Stavby postavené z materiálů o vysoké rychlosti plošné emise radonu jsou omezeny jen na několik opatření, která u nich lze provést.

4.2.4.1 Odstranění závadných materiálů

Toto opatření je vhodné pouze tam, kde lze materiály snadno odstranit. Jedná se zejména o štuky, omítky, násypy, přičky, přízdívky jednotlivé prvky kusového staviva. Je však jasné, že v některých případech tyto materiály odstranit nelze, zejména pokud se jedná o nosné prvky. V těchto případech je nutné posoudit, zda postačí jen částečná výměna nebo zda bude nutno zvolit jiné

opatření. Odstranění závadných materiálů bylo hojně použito v Jáchymově, kde byl odpad z těžby stříbrných a uranových rud použit při výstavbě domů, závadný materiál byl hojně použit právě na štuky, omítky a násypy. [35]

4.2.4.2 Snížení emise radonu neprodyšnou úpravou vnitřního povrchu stavebních konstrukcí

Při tomto opatření jsou použity materiály, které odolávají deformacím podkladní konstrukce a dalším předpokládaným provozním vlivům, jedná se o elastické nátěry, stěrky, nástřiky či tapety. Toto opatření je však velmi náchylné k perforaci povrchové úpravy, to znamená, že jakékoliv praskliny, trhliny a jiná mechanická poškození snižují jeho životnost a účinnost. U objektů z ryncholeckého škvárobetonu byl v minulosti použit nátěr ARADON, avšak vzhledem k neustálým pohybům mezi svislými panely nátěr praskal a účinnost byla minimální, proto se tento nátěr přestal po roce 1993 používat. [35]

4.2.4.3 Odvětrávaná ventilační vrstva kolem konstrukcí o vysoké rychlosti plošné emise radonu

Při tomto opatření se kolem závadných konstrukcí provede ventilační vrstva, kterou tvoří plastové profilované folie nebo různé polymerní desky nebo vzniká tak, že je v určité vzdálenosti postavená předstěna ze zdiva nebo sádkokartonu. Tato vrstva nezvyšuje intenzitu větrání místnosti, je proto vhodné ji použít tam, kde jsou místnosti dostatečně větrány. Nevýhodou je to, že snižují prostor v interiéru. [35]

4.2.5 Zvýšení ventilace uvnitř staveb

Všechna výše uvedená opatření proti radonu jsou záležitosti konstrukční, tudíž nespádají pod technické zařízení budov, navíc se dá říct, že „pouze“ odstraňují nebo zabraňují pronikání radonu do staveb. Následující kapitoly uvádějí způsoby odstranění radonu za pomoci použití větracích systémů. Tyto systémy lze použít pro zvýšení intenzity větrání jak u novostaveb, tak stávajících objektů. Různé způsoby ventilace spadají pod techniku staveb, navíc tyto systémy dokážou nejen snížit koncentraci radonu uvnitř domu, ale zároveň jsou schopny zlepšit vnitřní prostředí v interiéru, které je dnes kvůli těsným plášťům a oknům budov výrazně nepříznivější než bývalo dříve. Také je potřeba zdůraznit, že v případě staveb, které jsou postavené ze závadných materiálů, na které se v další části této práce zaměřuje, ani jiné řešení než úprava ventilace prakticky neexistuje, protože výše uvedená opatření se jeví jako méně vhodná.

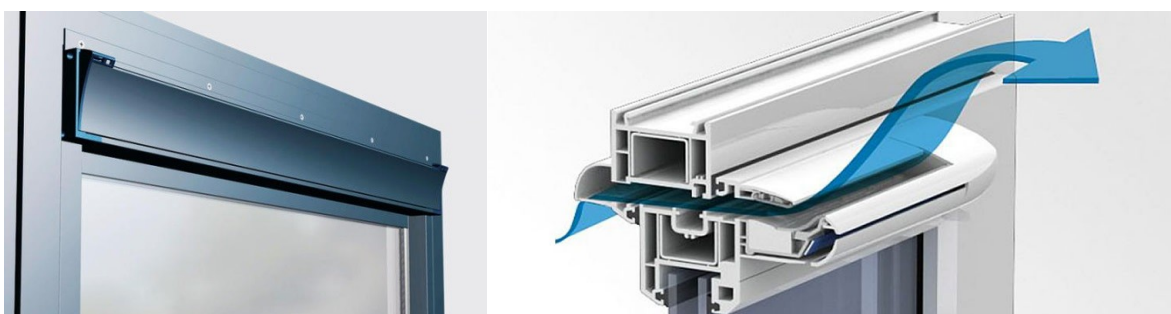
4.2.5.1 Přirozené větrání infiltrací

Dříve bylo možné uvažovat s přirozeným větráním infiltrací, protože starší stavby byly nejen nezateplené, ale zároveň měly okna, která byla relativně netěsná. Docházelo u nich k infiltraci nejen mezi okenním křídlem a okenním rámem, ale i mezi okenním rámem a stavební konstrukcí a i ostatní konstrukční detaily byly výrazně netěsné. Tento systém měl řadu nevýhod, k výměně vzduchu totiž dochází vlivem tlakových rozdílů, které jsou způsobeny různými teplotami uvnitř a vně a díky účinkům větru. V létě, kdy je teplotní spád minimální a nefouká, je infiltrace prakticky nefunkční. V zimě naopak dochází k velmi intenzivní výměně vzduchu a také k výraznému ochlazení interiéru. Nicméně i přes tyto nevýhody byl systém relativně funkční a zajišťoval dostatečnou výměnu vzduchu v interiéru.

V současné době však nemůžeme s větráním infiltrací vůbec počítat. Nejen novostavby, ale i rekonstruované objekty se snaží o co nejmenší spotřebu energií, tudíž jsou veškeré netěsnosti obálky budovy pečlivě utěsněny. Infiltrace je minimální a v žádném případě neposkytuje dostatečnou výměnu vzduchu ani k zajištění hygienických limitů, ani ke snížení koncentrace radonu. [36]

4.2.5.2 Přirozené větrání pomocí větracích štěrbin

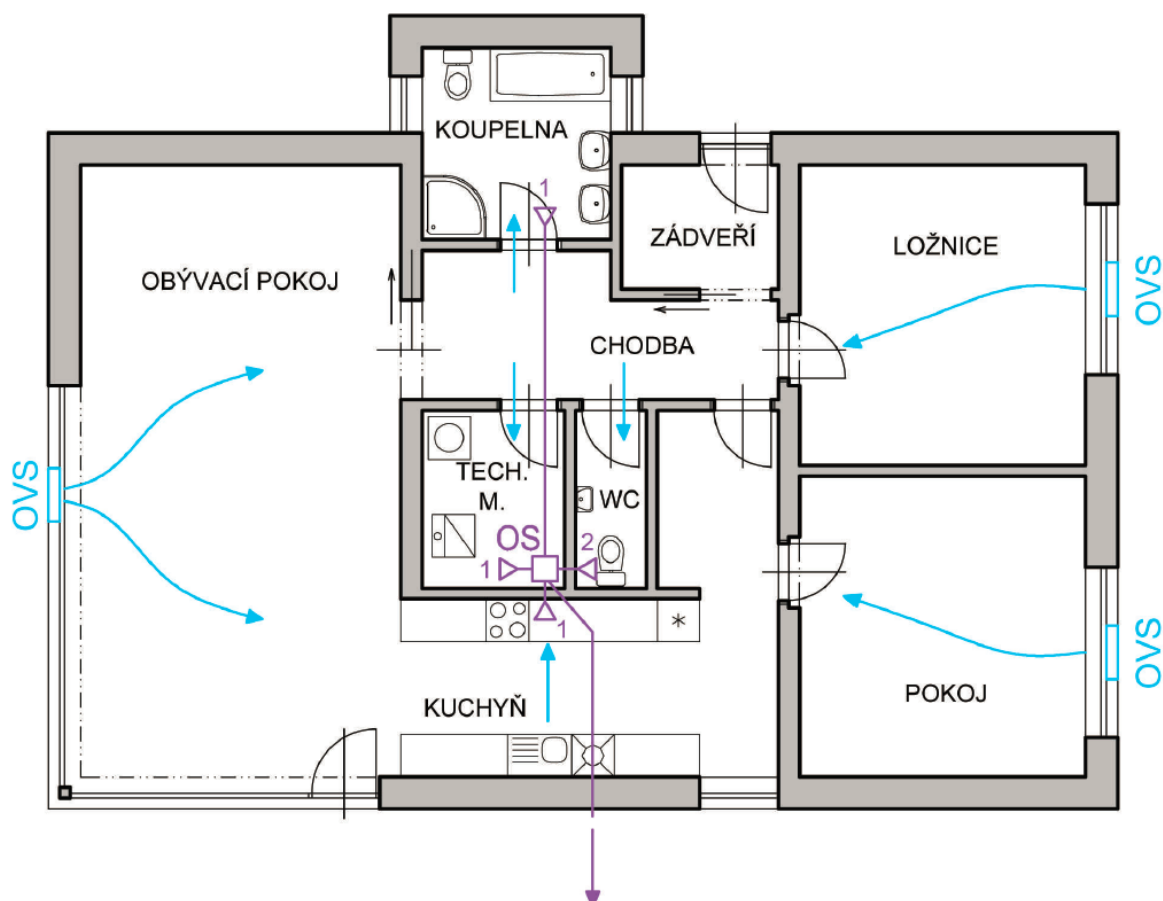
Tento systém pracuje s větracími štěrbinami, které jsou buď osazeny do výplní okenních otvorů, nebo do obvodových stěn. Tyto štěrby zajišťují v závislosti na aktuálních tlakových podmínkách přívod i odvod vzduchu. Větrací štěrby podporují přirozené příčné provětrání domu, dá se tedy říci, že nahrazují infiltraci. Na rozdíl od infiltrace lze však u štěrbin regulovat průtok v závislosti na rychlosti větru, teplotnímu rozdílu nebo relativní vlhkosti v interiéru. Ovládání štěrbin může být ruční nebo automatické, díky tomu nedochází u větrání štěrbinami k tak vysokým tepelným ztrátám jako u infiltrace. Stejně jako infiltrace je větrání štěrbinami závislé na tlakovém rozdílu mezi interiérem a exteriérem. Průtok vzduchu štěrbinami je proměnný, závisí na orientaci štěrbin vzhledem k převládajícímu směru větru, denní a roční době, nadmořské výšce a teplotě v interiéru a v neposlední řadě na umístění štěrbin v půdorysu stavby, zda jsou štěrby pouze na jedné straně nebo na protilehlých stranách a umožňují tak lepší příčné provětrání. Vzhledem k proměnnému průtoku není jisté, že bude docházet k dostatečné intenzitě větrání a snížení koncentrace radonu v průběhu celého roku. [36]



Obrázek č. 21 a č. 22: Větrací štěrby určené k instalaci do okenního rámu [37] [38]

4.2.5.3 Nucené podtlakové větrání kombinované s přívodem vzduchu větracími štěrbinami

V tomto případě zajišťují větrací štěrby pouze přívod vzduchu, odvod vzduchu zajišťují ventilátory, které odsávají vzduch z místností, kde vzniká znehodnocený vzduch, zejména kuchyně, koupelny či toalety. V těchto místnostech je osazen odtahový ventil, který je potrubím spojen s ventilátorem, množství vzduchu, které bude odsáto lze regulovat dle relativní vlhkosti, koncentrace CO₂, množství lidí nebo koncentrace radonu. Díky tomu, že ventilátor reaguje na aktuální potřebu vzduchu, dochází u tohoto systému k velmi nízkým tepelným ztrátám. Ventilátory mohou být umístěny v technické místnosti, v půdním prostoru nebo nad střechou domu na konci stoupacího potrubí. Tento systém je velmi spolehlivý jak pro zajištění dostatečného množství čerstvého vzduchu, tak pro snížení koncentrace radonu, protože není závislý na vnějších podmínkách. [36]



Obrázek č. 23: Princip nuceného podtlakového větrání s přívodem vzduchu větracími štěrbinami – ventilátor umístěn v technické místnosti [36]

4.2.5.4 Lokální větrání s rekuperací tepla

Lokální rekuperační jednotky zajišťují jak přívod, tak odvod vzduchu v jednom zařízení včetně zpětného zisku tepla. Tyto jednotky se umísťují do obvodových stěn a jsou určeny k větrání jedné místnosti. Součástí jednotek je filtr vzduchu, který zajišťuje dodávání čerstvého a čistého vzduchu, dokáže tudíž eliminovat prach i pyly. Objem odváděného vzduchu bývá zpravidla vyšší než objem přiváděného vzduchu, v místnostech může proto vznikat podtlak, pro eliminaci tohoto podtlaku je vhodné využít větrací mřížky. Výhodou tohoto systému je nulová potřeba potrubí a rekuperace tepla, která ještě více snižuje tepelné ztráty objektu. Nevýhodou jednotek je to, že při vyšším výkonu jsou velmi hlučné, musí být tedy v provozu v nižším výkonovém režimu a pak nemusí stačit pro zajištění dostatečného množství vzduchu a snížení koncentrace radonu. [36]

4.2.6 Využití protiradonových opatření

V následující tabulce jsou pro srovnání uvedena jednotlivá opatření vhodná pro stávající stavby, jejich účinnost a maximální koncentrace radonu, při které je lze použít:

Opatření	Průměrná účinnost (%)	Maximální koncentrace (Bq/m ³)
Těsnění trhlin, prostupů a jiných netěsností v kontaktních konstrukcích	10 – 40	500
Nové podlahy s protiradonovou izolací a s pasivně odvětranou instalační vrstvou nebo s pasivně odvětraným podložím	45 – 55	650
Nové podlahy s protiradonovou izolací a s aktivně odvětranou ventilační vrstvou	80 – 90	3 000
Nové podlahy s protiradonovou izolací a s aktivně odvětraným podložím	85 – 95	6 000
Aktivní odvětrání stávajícího podloží bez výměny podlah	85 – 95	6 000
Zvýšení přirozené výměny vzduchu v obytných místnostech	20 – 40	500
Zvýšení intenzity větrání obytného prostoru nuceným podtlakovým větráním kombinovaným s větracími štěrbinami	50 – 70	1 000
Zvýšení intenzity větrání obytného prostoru lokálními větracími jednotkami s rekuperací tepla	50 – 70	1 000
Instalace centrální nucené ventilace s rekuperací tepla	50 – 70	1 000
Zvýšení intenzity větrání ve sklepech	25 – 45	550

Tabulka č. 6: Účinnost protiradonových opatření ve stávajících stavbách [34]

Jak již bylo uvedeno výše, pro stavby, které jsou postavené ze závadných materiálů, je zvýšená intenzita větrání nejlepší možnou variantou řešení pro odstranění radonu, v tabulce jsou proto zvýrazněny modře.

Jako nejlepší protiradonové opatření do stávajících budov je zvolena instalace centrální nucené

ventilace s rekuperací tepla. Tento systém se může zdát jako protiradonové opatření příliš nákladný a složitý, je však třeba brát v úvahu i další okolnosti. Tato práce nemá za úkol pouze vybrat nejvhodnější ochranu proti radonu, hledá způsob jak nejen odstranit radon ze staveb, ale také zlepšit vnitřní podmínky v interiéru. V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na energetickou úsporu domů, domy jsou zateplovány, okna jsou velmi těsná a zdroje tepla jsou stále výkonnější a přitom ekonomičtější i ekologičtější. Jak však stále stoupají uspořené finance, víc a víc klesá kvalita vnitřního prostředí staveb. V domech se hromadí vlhkost, která způsobuje plísně, ty zase zapříčiňují vznik alergií a astma, studenti a pracovníci jsou ospalí a malátní, protože je v interiéru vysoká koncentrace CO₂, zároveň tato energetická opatření zvyšují koncentrace radonu. A protože jedno neexistuje bez druhého, je vhodné využívat větrání s rekuperací v co největší míře.

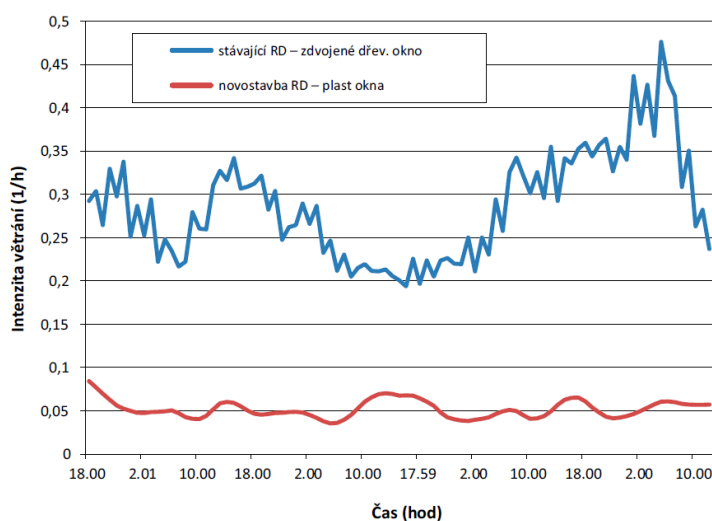
5. Požadavky na větrání obytných budov

Požadavky na větrání nejsou zcela jasně dány, jako je tomu u radonu. Pro pobytové prostory platí vyhláška č. 6/2003 Sb., ale požadavky na větrání zde zcela chybí. Základní požadavky jsou uvedeny v ČSN EN 15665/Z1 – Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov: [42]

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)	Koupelna (m^3/h)	WC (m^3/h)
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tabulka č. 7: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [42]

6. Energetické souvislosti



Obrázek č. 28: Porovnání průběhu intenzity větrání ve stávajícím RD s původními zdvojenými okny a novém RD s plastovými okny [44]

Pro všechny stávající stavby postavené v 60. až 80. letech, včetně těch postavených ze závadných materiálů, je typická jejich vysoká energetická náročnost. Snaha o energeticky úsporné domy je u nás trendem posledních let a projevuje se jak u novostaveb, tak u rekonstrukcí starších domů. Domy postavené dříve měli relativně dobrou intenzitu výměny vzduchu, kolem 0,3 – 0,4 objemu domu za hodinu, přitom tepelná ztráta větráním činila zhruba 10 %.

Problémem těchto domů byly tepelné ztráty neprůsvitnými stavebními konstrukcemi, zejména obvodovými stěnami, střechou a podlahou na terénu. Ve snaze ušetřit náklady na vytápění tak při rekonstrukci dochází hlavně k zateplení obvodových konstrukcí a výměně původních oken za nová velmi těsná. Tato opatření vedou k výraznému snížení průvzdušnosti domu, často až k hodnotám jen kolem 0,1 – 0,05 objemu domu za hodinu. Tato nízká výměna vzduchu způsobuje nárůst škodlivin v interiéru, uvnitř domu se hromadí nejen vlhkost a oxid uhličitý, ale také se zvyšuje koncentrace radonu. Bylo dokázáno, že provedení zateplení stěn nezpůsobuje nárůst exhalace radonu ze stěn, za zvýšenou koncentraci může pouze snížená ventilace uvnitř domu. Řada dlouhodobých měření potvrzuje, že v domech, kde byla provedena dodatečná opatření ke snížení energetické náročnosti, vzrostla několikanásobně koncentrace radonu. Vzhledem k tomu, že rekonstrukce stále probíhají a to i na domech z rynholeckého škvárobetonu a poříčského pórobetonu, bude domů s vyšší koncentrací radonu stále přibývat a již teď jich bude výrazně více, než bylo uvedeno v tabulkách v předchozích kapitolách. [43]

6.1 Příklad na rodinném domě typu START

Pro názornou ilustraci je v této kapitole popsána rekonstrukce rodinného domu typu START, její dopady na energetickou bilanci a na koncentraci radonu. Součástí práce je také návrh vhodného opatření.

6.1.1 Popis rekonstrukce

Rodinný dům byl postaven v roce 1975, v roce 2008 došlo k rekonstrukci, která měla snížit energetickou náročnost domu. V rámci rekonstrukce bylo provedeno zateplení obvodových stěn pomocí polystyrenu v tloušťce 100 mm, do tepelné izolace střechy bylo přidáno 100 mm polystyrenu, strop nad nevytápěnou částí sklepa byl zateplen 50 mm polystyrenu a okna i dveře byla vyměněna za těsná plastová. [43]

6.1.2 Důsledky rekonstrukce

Příznivým dopadem rekonstrukce bylo snížení energetické náročnosti domu, současně se však snížila i intenzita větrání, tím pádem výrazně vzrostla koncentrace radonu. Výsledky měření a výpočtů jsou uvedeny v následujících tabulkách:

Místnost	Koncentrace radonu (Bq/m ³)		Poměr (-) C _{po} /C _{před}
	Před C _{před}	Po C _{po}	
Obývací pokoj + kuchyň – 1NP	302	753	2,5
Dětský pokoj – 2NP	296	1 165	3,9
Ložnice – 2NP	312	1 524	4,9
Kuchyň	438	1 025	2,3
Průměrné hodnoty	337	1 117	3,4

Tabulka č. 8: Koncentrace radonu v domě Start před a po realizaci opatření ke snížení spotřeby energií. Koncentrace byly měřeny stopovými detektory s roční dobou expozice. Radonová diagnostika potvrdila, že škvárobetonové panely jsou jediným zdrojem radonu v domě. [43]

Parametr	Před	Po	Poměr Před/Po
Intenzita větrání	0,36 h ⁻¹	0,106 h ⁻¹	3,4
Podíl větrání na celkových ztrátách tepla	8,6 %	5,6 %	1,5
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy	1,42 W/m ² K	0,66 W/m ² K	2,2
Měrná potřeba tepla na vytápění	311 kWh/m ² a	110 kWh/m ² a	2,8
Celková roční potřeba tepla na vytápění	47,7 MWh	16,9 MWh	2,8

Tabulka č. 9: Parametry vyjadřující energetickou náročnost domu Start před a po realizaci opatření ke snížení spotřeby energií. Pro výpočet byl použit program Energie [43]

Z druhé tabulky vyplývá, že energetické úspory jsou velmi vysoké a z tohoto hlediska měla rekonstrukce jistě smysl. Naproti tomu v první tabulce vidíme, že koncentrace radonu se výrazně zvýšila a téměř 4krát převyšuje limit 300 Bq/m³, také intenzita větrání nesplňuje ani minimální požadavky pro zajištění hygienického množství čerstvého vzduchu, která má být minimálně 0,3 h⁻¹.

6.1.3 Opatření

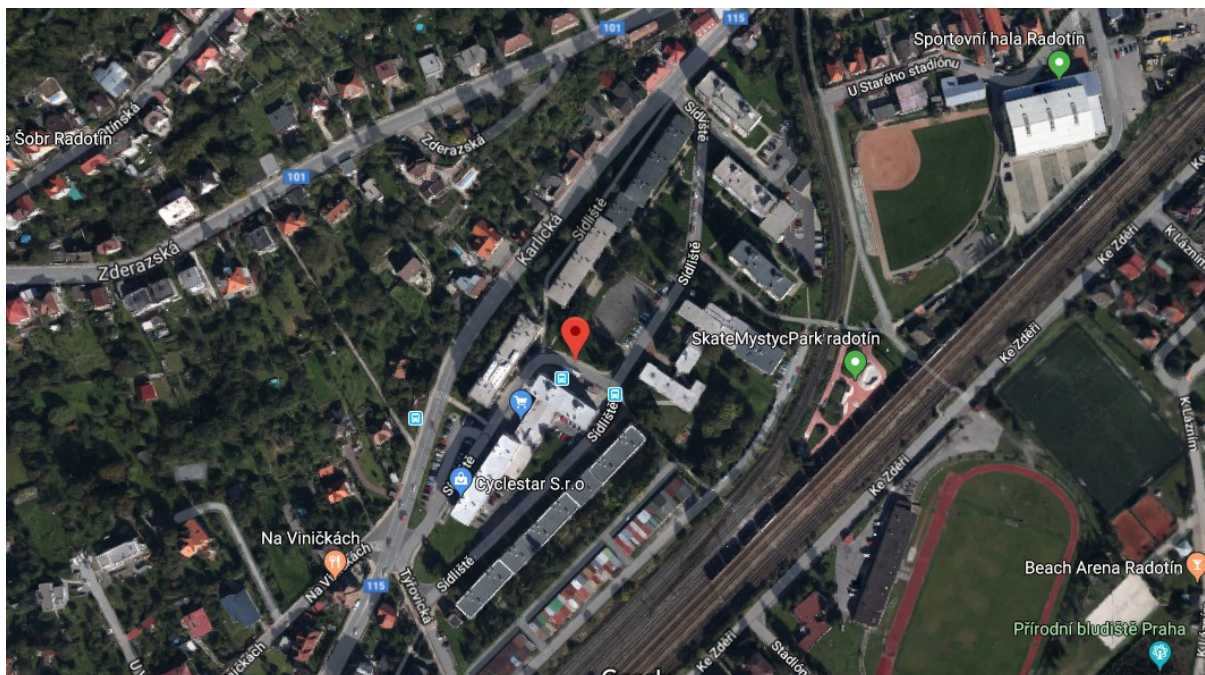
Při rekonstrukcích objektů, které vykazují zvýšený obsah přírodních radionuklidů, je potřeba volit takové metody, které nesnižují intenzitu větrání nebo zajistit správnou ventilaci za pomoci účinného větracího systému. Pokud bychom u sledovaného rodinného domu typu START chtěli zajistit stejnou výměnu vzduchu jako před energetickou sanací, bylo by potřeba přivést do domu 105 m³/h čerstvého vzduchu. Nejedná se o nijak velké množství, tento vzduchový výkon by zajistila buď centrální vzduchotechnická jednotka s rekuperací tepla nebo ventilační štěrby osazené do oken. Použití větracích štěrbin je velmi ekonomicky výhodné a navíc není náročné na instalaci [43], nicméně vzrostou náklady na vytápění, protože štěrby nejsou vybaveny rekuperací tepla a tak jimi proudí chladný vzduch. Dále je také potřeba zdůraznit, že při původní výměně vzduchu, tedy 0,36 h⁻¹, byly koncentrace radonu stále vyšší, než jsou v současnosti referenční hodnoty. Cílem protiradonových opatření by nemělo být jen splnění požadavků, ale snaha koncentraci snížit ještě více. Také výměna vzduchu splňuje pouze minimální požadavky, pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí by bylo vhodné dosáhnout výměny vzduchu kolem 0,5 h⁻¹. Z tohoto důvodu by bylo vhodné použití systému nuceného větrání s rekuperací tepla. Tento systém zajistí optimální snížení koncentrace radonu, dostatečnou výměnu vzduchu a zároveň šetří energii, protože pracuje s odpadním teplem produkovaným životem v domácnosti.

7. Sídliště Radotín

V této části je popsán vývoj protiradonových opatření na sídlišti v Praze – Radotíně, které je postavené z materiálů s vyšším obsahem přírodních radionuklidů. Jeden z bytových domů je následně použit pro zpracování projektu vzduchotechnického systému a je součástí této práce jako její praktická část.

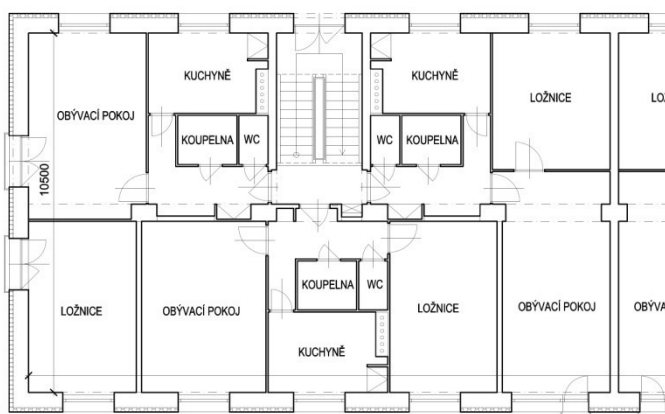
7.1 Popis Sídliště Radotín

Sídliště Radotín se nachází v městské části Praha 16 – Radotín mezi ulicemi Karlická a Sídliště.



Obrázek č. 29: Sídliště Radotín na mapě [45]

Jedná se o soubor pěti bytových domů o třech až pěti nadzemních podlažích v celkem 17 vchodech – čísla popisná 1061 – 1063, 1065 – 1071, 1074 – 1075 a 1078 – 1082. Sídliště bylo postaveno v 50. a 60. letech, nosné stěny nadzemních podlaží jsou postaveny z bloků z rynholeckého škvárobetonu o tloušťce 440 mm. Domy mají suterén částečně pod terénem a stěny jsou z plných pálených cihel. Byty mají různé dispozice, najdeme zde garsoniéru, dvoupokojové i třípokojové byty. Vzhledem k materiálu, ze kterého jsou bytové domy postaveny, je sídliště již od 90. let proměřováno a bylo zde provedeno několik opatření proti radonu.



Obrázek č. 30 a č. 31: Pohled na bytový dům a část půdorys typického podlaží bytového domu na Sídlišti Radotín (foto: autor) [46]

7.2 První měření a opatření v 90. letech

V polovině 90. let byla na Sídlišti Radotín provedena první měření a v návaznosti na ně instalována první opatření proti radonu.

7.2.1 Výsledky měření

Dle znaleckého posudku doc. ing. Martina Jiráka, který získal sdělení od Státního ústavu radiační ochrany, bylo v roce 1995 změřeno celkem 194 bytů na Sídlišti Radotín. Měření bylo prováděno stopovými detektory s roční dobou expozice. Tehdejší směrná hodnota objemové aktivity radonu byla 200 Bq/m^3 , ta byla zvýšena v rámci měření v celkem 99 bytech, což odpovídá zhruba 51 %, nejvyšší změřená hodnota byla 856 Bq/m^3 [47]. Podrobné počty a procentuální zastoupení bytů jsou uvedeny v následující tabulce.

Objemová aktivita radonu (Bq/m^3)	Počet bytů	Procentuální zastoupení (%)
< 100	23	13
100 - 199	72	37
200 - 399	79	40
400 - 599	12	6
600 - 799	6	3
> 800	2	1

Tabulka č. 10: Četnost výskytu daných objemových aktivit radonu v bytech na Sídlišti Radotín podle měření

stopovými detektory z roku 1995 [47]

V průběhu podzimu roku 1995 bylo provedeno měření v celkem 47 obecních bytech na Sídlišti v Radotíně. Měření bylo prováděno stopovými detektory s měsíční dobou expozice. Zvýšená koncentrace radonu byla zjištěna v celkem 41 bytech, což odpovídá více než 85 %. Pro srovnání jsou i tyto výsledky zaznamenány v tabulce: [46]

Objemová aktivita radonu (Bq/m ³)	Počet bytů	Procentuální zastoupení (%)
< 100	0	0
100 - 199	6	13
200 - 399	31	66
400 - 599	7	15
600 - 799	2	4
> 800	1	2

Tabulka č. 11: Četnost výskytu daných objemových aktivit radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z roku 1995 [46]

Výsledky měření se od sebe v některých případech liší, v obou případech se objemová aktivita radonu v bytech nejčastěji vyskytuje v rozmezí 200 – 399 Bq/m³, u měření v obecních bytech se však častěji vyskytují vyšší koncentrace. Tyto nesrovnalosti lze přičítat různým dobám expozice či nemožnosti přesného srovnání kvůli absenci popisu přesných podmínek měření.

7.2.2 Provedená opatření

I přes odlišnosti ve výsledcích měření faktem zůstává, že v bytech se vyskytuje vyšší objemová aktivita radonu, než je povoleno, proto byla v bytech provedena protiradonová opatření. Do 48 bytů byly instalovány přenosné pokojové filtry vzduchu a do 4 bytů byla umístěna centrální vzduchotechnická jednotka.

7.2.2.1 Filtry vzduchu

Elektrostatické filtry fungují na principu přitahování elektricky nabitých částic na zachytné desky, organické molekuly a plyny jsou absorbovány na filtrační vložce z aktivního uhlí, která je umístěna na výstupu vzduchu z filtru. V takto ošetřeném vzduchu vznikají záporné elektrické ionty, které mají údajně přispívat k příjemnému pobytu v místnosti, záporné ionty vznikají například po bouřce a mají potlačovat pocit únavy. Filtry vzduchu mají tři výkonové stupně, ale vzhledem k velké hlučnosti

(nejnižší stupeň přes 40 dB, nejvyšší stupeň přes 50 dB) se dá předpokládat, že byly používány pouze na nejnižší výkonový stupeň. Filtry je nutné jednou za týden omýt v teplé vodě a za 3 až 6 týdnů je nutné měnit vložky s aktivním uhlím. Tyto filtry nejspíš ve své době byly relativně dostupné a účinné, jejich velkou nevýhodou je nutná údržba a také omezenost použití, protože je lze použít pouze do 600 Bq/m³ koncentrace radonu, pak jsou již neúčinné. [46]

7.2.2.2 Centrální vzduchotechnická jednotka

Jako druhé protiradonové opatření, byla do 4 bytů umístěna rekuperační větrací jednotka. Jednotka měla výkon 180 m³/h a její účinnost byla 70 %. Jednotka byla umístěna v chodbě bytu, v částečně sníženém podhledu, rozvody vzduchotechniky byly vedeny v sádkokartonových podhledech a ve skříňkách. Přívod vzduchu do místnosti zajišťovaly dýzy umístěné v obývacím pokoji a ložnici, vzduch byl do jednotky odtahován mřížkou umístěnou v chodbě. Systém vytvářel přetlak v obytných místnostech a zabraňoval tak průniku radonu, z tohoto důvodu musely být utěsněny spáry oken a venkovních dveří a musel být zajištěn průchod vzduchu bytem za pomoci dveří bez prahu nebo jejich podříznutím. Napojení na exteriér bylo provedeno přes fasádu domu. Řídící jednotka vzduchotechnické jednotky byla umístěna na záchodě. Tento systém byl na svou dobu velmi kvalitní a účinný, jeho nevýhodou byla vysoká cena, která činila skoro 150 tisíc korun. [46]



Obrázek č. 32 a 33: Pohled na distribuční elementy v pokoji a řídicí jednotka na toaletě [46]



Obrázek č. 34 a 35: Pohled na potrubí umístěné ve skříňce a odtahovou mřížku umístěnou v chodbě [46]

7.2.3 Vyhodnocení použitých opatření

V rámci vyhodnocení použitých opatření byly přeměřeny byty, v kterých byly umístěny filtry a vzduchotechnické jednotky.

7.2.3.1 Vyhodnocení použití filtračních zařízení

Filtry byly umístěny ve velkém množství bytů, proměření všech bytů by bylo nejen časově ale i ekonomicky náročné, z toho důvodu bylo měření provedeno pouze v 9 bytech a předpokládalo se, že ve zbytku bytů bude situace obdobná. Jak již bylo řečeno, ventilátory filtrů mají sice 3 výkonové stupně, ale bylo zjištěno, že uživatelé je používají výhradně na nejnižší výkonový stupeň, proto bylo i měření prováděno výhradně při nejmenším výkonu. Měření probíhalo ve dvou a třípokojových bytech, trvalo vždy 48 hodin, z toho 24 hodin byl filtr vzduchu zapnutý a 24 hodin vypnutý. Uživatelé bytu měli omezit ventilaci a podříditi ji dohodnutému režimu. Ze získaných hodnot během vypnutého a zapnutého filtru pak byla vyhodnocena účinnost čističe. Z provedených měření bylo zjištěno, že při spuštěném filtru poklesne objemová aktivita radonu v průměru na 54 % původní hodnoty a tři čtvrtiny hodnot bude ležet v rozmezí poklesu na 42 % a 74 %. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že použité filtry jsou skoro ve všech případech účinné.

Může se zdát, že použité opatření proti radonu v podobě čističů vzduchu je velmi účinné a jednoduché řešení, ale ve skutečnosti tomu tak nebylo. Uživatelé bytu byly v rámci měření dotazovány i na osobní použití těchto filtrů a bylo zjištěno, že drtivá většina přístroje vůbec nepoužívá. Jedním z argumentů bylo i tvrzení, že produkce iontů způsobuje nadměrné znečištění prachem moderní HI – FI soupravy, v ostatních případech bylo nepoužívání způsobeno nejspíš hlukem a nutností údržby. Je však evidentní, že uživatelé bytů dříve nepřikládali riziku zvýšeného radonu velkou váhu. [46] V následující tabulce je shrnuto, kolik a jak byly filtry vzduchu používány:

Využití pokojových filtrů vzduchu	Počet filtrů
Poskytnuto	19
Nepoužíváno	11
Používáno příležitostně	5
Používáno pravidelně	3

Tabulka č. 12: Přehled poskytnutých a využívaných filtrů [46]

Z tabulky vyplývá, že z hlediska využívání poskytnuté techniky je účinnost ozdravných opatření velmi nízká. Téměř 58 % zařízení nebylo používáno vůbec, systematicky využíváno je naopak pouze necelých 16 %. Z předchozích čísel se dá usuzovat, že tato protiradonová opatření byla spíše jen mrháním finančních prostředků. [46]

7.2.3.2 Vyhodnocení použití vzduchotechnické jednotky

V rámci zhodnocení účinnosti instalovaných větracích jednotek bylo provedeno měření i v těchto bytech. Měření bylo prováděno jednotlivě v každé místnosti. Pro přesné měření a možnost vhodného nastavení režimu větrání bylo měření provedeno při vypnuté rekuperační jednotce, v režimu trvalého rychlého větrání a během pomalého cyklického větrání. Z měření vyplynulo, že při použití jednotky dochází k výraznému poklesu koncentrace radonu v interiéru. Jako nejekonomičtější provoz jednotky bylo zvoleno pomalé cyklické větrání. Uživatelům bytů byl též sestaven týdenní program, jaký nejlepší režim pro větrání dodržovat a jeho vhodné alternativy. Pro správné fungování bylo nutné zajistit kontrolu jednotky, pravidelnou výměnu filtrů a nenarušovat cestu prouděním vzduchu, například osazením prahu do dveří či zvýšení podlahy. [46]

Použití rekuperačních jednotek se zdá jako velmi účinné opatření proti radonu, bohužel je vcelku nákladné, také není zcela jisté, že obyvatelé bytu jednotku používají ve správném režimu, či ji používají vůbec.

7.3 Posudek z roku 2009

V roce 2009 byl prof. Ing. Martinem Jiránkem, CSc. vypracován znalecký posudek, který měl posoudit vliv výměny oken na objemovou aktivitu radonu v bytových domech postavených z ryncholeckého škvárobetonu. Tento posudek byl vypracován pro Městskou část Praha 16 – Radotín, která má ve správě právě tyto bytové domy, respektive některé byty v nich.

7.3.1 Vliv násobnosti výměny vzduchu na objemovou aktivitu radonu v bytech

V rámci posudku byl proveden výpočet, který posuzoval vliv násobnosti výměny vzduchu na koncentraci radonu v bytech. Vzhledem k tomu, že zdrojem radonu je škvára uvnitř stavebního materiálu, nebude exhalace radonu ze stěn rovnoměrná, protože ani škvára v materiálu není rozmístěna rovnoměrně. V důsledku těchto nerovnoměrností jsou koncentrace radonu pro určitou výměnu vzduchu udávány ve vypočteném rozmezí od minimální po maximální hodnotu. Vzhledem k technickému stavu domů z roku 2009, kdy byly domy osazeny původními okny a nebyly zatepleny, byla uvažována výměna vzduchu kolem hodnoty $0,3 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota výměny vzduchu odpovídala objemové aktivitě radonu v rozmezí od cca 150 Bq/m^3 do cca 600 Bq/m^3 . Tyto hodnoty velmi dobře korespondují s výsledky měření, které bylo prováděno v roce 1995 a jehož výsledky byly shrnuty výše. Posudek upozorňuje na to, výměna vzduchu už bude v bytech pravděpodobně menší, protože po necelých 15 letech od měření jsou ceny energií mnohem nižší a uživatelé bytu pravděpodobně snížili intenzitu větrání bytů. V posudku je uvedeno, že pokud se intenzita výměny vzduchu sníží na hodnotu $0,1 \text{ h}^{-1}$, objemová aktivita nepřímo vzroste na trojnásobek, tedy na hodnoty od cca 450 Bq/m^3 do cca 1800 Bq/m^3 . Prof. Ing. Martin Jiránek, CSc. zde upozorňuje, že při hodnotách nad 600 Bq/m^3 již není možné použít filtry vzduchu, protože budou neúčinné. [47]

7.3.2 Požadavky na okenní výplně

Dle sdělení objednatele posudku bude i po osazení nových oken výměna vzduchu v místnostech probíhat pouze přirozeným větráním, bude tedy záviset pouze na těsnosti oken a povětrnostních podmínkách. Vzhledem ke snaze minimalizovat tepelné ztráty objektů, jsou nová okna velmi těsná

a jejich součinitel spárové průvzdušnosti je tak o jeden až dva řády nižší než byl u původních oken. V závislosti na poklesu infiltrace přes nová okna se velmi silně snižuje intenzita výměny vzduchu v interiéru, a to až do té míry, že není zajištěno hygienicky nezbytné množství čerstvého vzduchu. Z těchto důvodů je autorem posudku doporučováno, aby se dodavatel oken zavázal dodržet určitou výměnu vzduchu, hodnota této výměny má být určena dle provedených měření v několika bytech. Pro zajištění dostatečné výměny vzduchu jsou v posudku doporučovány následující způsoby:

- mikroventilace – částečné otevření okenního křídla, které zvyšuje spárovou infiltraci, toto opatření má za následek zvýšenou hlučnost a větší tepelné ztráty
- řízená infiltrace – spárovou infiltraci zajišťuje upravené těsnění, stejně jako mikroventilace toto opatření zvyšuje hluk i tepelné ztráty
- větrací štěrby – jedná se o štěrby, které jsou součástí oken, jejich vlastnosti byly popsány výše
- rekuperační okno – součástí okna jsou kanálky, které umožňují odpadnímu vzduchu předat teplo čerstvému, množství vzduchu lze ovládat a tepelné ztráty jsou minimalizovány.

Jako další možná alternativa je uvedeno použití lokálních rekuperačních jednotek do jednotlivých místností. [47]

7.3.3 Závěr posudku

Vzhledem k tomu, že násobnost výměny vzduchu velmi výrazně ovlivňuje objemovou aktivitu radonu v interiéru, je nutné intenzitu výměny vzduchu kontrolovat a důsledně dodržovat. Autor posudku proto doporučuje provést měření nejen po instalaci nových oken, ale i před, aby bylo jasné, jaké parametry se na dané koncentraci radonu v interiéru podílejí. Doporučuje se provést měření pomocí stopových detektorů na dobu 3 měsíců před instalací nových oken, nejlépe v období podzim 2009 až jaro 2010. Prof. Ing. Martin Jiránek, CSc. zároveň upozorňuje, že pokud dojde v další fázi rekonstrukce objektů k zateplení obvodových stěn, je nutné posoudit i tento vliv na objemovou aktivitu radonu v bytech. [47]

7.4 Měření v letech 2013 a 2014

I přes veškerá doporučení uvedená v posudku z roku 2009 prof. Ing. Martinem Jiránekem, CSc. byla další měření radonu provedena až počátkem roku 2013 a 2014. Okna byla sice nejspíš vybavena možností mikroventilace, zda ji však uživatelé bytů vhodně využívají a zda vůbec, není známo. Navíc se postupně ukazuje, že ani tato mikroventilace není dostačující pro zajištění hygienického množství vzduchu a je tudíž nevhodná pro zajištění dostatečné výměny vzduchu v interiéru.

7.4.1 Měření z roku 2013

V průběhu roku 2013 proběhla v bytových domech, dokonce dvě měření. První měření bylo prováděno v 1. polovině roku, druhé pak v zimě na konci roku.

7.4.1.1 Měření v 1. polovině roku 2013

V roce 2013 bylo v období od ledna do dubna proměřeno 40 bytů. Ve většině případů trvalo měření 4 měsíce, v několika případech probíhalo měření pouze 3 měsíce. V jednom případě bylo měření provedeno v období od března do května. V roce 2013 byla na domech pouze vyměněna okna, nebylo provedeno zateplení [46]. Výsledky měření jsou shrnuty v následující tabulce:

Objemová aktivita radonu (Bq/m ³)	Počet bytů	Procentuální zastoupení (%)
< 100	7	17,5
100 - 199	10	25
200 - 399	9	22,5
400 - 599	7	17,5
600 - 799	4	10
> 800	3	7,5

Tabulka č. 13: Četnost výskytu daných objemových aktivit radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z 1. poloviny roku 2013 [46]

Z konečných výsledků se může zdát, že je situace příznivější, protože požadavky na tehdejší směrnou hodnotu 400 Bq/m³ splňuje celkem 65 % bytů (celkem 26 bytů), je ale třeba brát v úvahu, že tato směrná hodnota je vyšší, než byla v 90. letech. Směrnou hodnotu nespĺňuje 35 % bytů (celkem 14 bytů), ale je výrazně více bytů, ve kterých je objemová aktivita radonu vyšší než 600 Bq/m³, tato hodnota je překročena v necelých 18 %. Navíc nejvyšší naměřená hodnota byla 1547 Bq/m³, což je téměř 4x více než je limit. Je zcela jasné, že výměna oken má na koncentraci radonu skutečně velký vliv.

7.4.1.2 Měření v zimě roku 2013

Druhé měření v roce 2013 probíhalo v období od listopadu do prosince 2013 a v jeho rámci bylo změřeno 16 bytů. Během tohoto měření byla zjišťována týdenní průměrná hodnota objemové aktivity radonu a průměrná ventilace. Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce:

Označení bytu	Objemová aktivita radonu (Bq/m ³)	Intenzita výměny vzduchu (h ⁻¹)	Poznámka
1	196	0,23	Neobýváno
2	136	0,28	Neobýváno
3	514	0,07	Neobýváno
4	794	0,24	Pobytové
5	470	0,24	Pobytové
6	112	1,18	Pobytové
7	759	0,22	Pobytové
8	782	0,17	Pobytové
9	257	0,58	Pobytové
10	308	0,39	Pobytové
11	483	0,39	Pobytové
12	483	0,33	Pobytové
13	1072	0,14	Pobytové
14	752	0,18	Pobytové
15	482	0,39	Pobytové
16	1509	0,11	Pobytové

Tabulka č. 14: Objemová aktivita radonu a intenzita větrání v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory ze zimy roku 2013 [46]

Z výsledků měření vyplývá, že ventilace uvnitř bytu je velmi důležitá. Vyšší koncentrace radonu se objevují častěji v případech velmi nízké intenzity výměny vzduchu, zejména při hodnotách kolem $0,1 \text{ h}^{-1}$ jsou koncentrace velmi vysoké. Naopak při intenzivní výměně vzduchu (byt č. 6, intenzita $1,12 \text{ h}^{-1}$), lze velmi výrazně objemovou aktivitu radonu snížit. Je však nutné zdůraznit, že výměna vzduchu v takové míře způsobuje velké tepelné ztráty, bylo by proto lepší tuto výměnu vzduchu zajišťovat nuceným větráním s rekuperací tepla.

7.4.2 Měření v roce 2014

V 1. pololetí roku 2014 bylo proměřeno 24 bytů, ale pro srovnání bude bráno pouze 21 bytů, protože 3 byty byly měřeny v době, kdy domy ještě nebyly zatepleny, tudíž zde nebyly stejné podmínky měření jako u ostatních. Výsledky měření shrnuje následující tabulka:

Objemová aktivita radonu (Bq/m^3)	Počet bytů	Procentuální zastoupení (%)
< 100	0	0
100 - 199	0	0
200 - 399	0	0
400 - 599	12	57
600 - 799	3	14
> 800	6	29

Tabulka č. 13: Četnost výskytu daných objemových aktivit radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z 1. poloviny roku 2014 [46]

Z tohoto měření jasně vyplývá, že provedené zateplení domů má velmi výrazný vliv na objemovou aktivitu radonu v interiéru, tudíž je nutné při provádění taktových rekonstrukcí brát hladinu radonu v úvahu a provést opatření proti radonu. Po zateplení objektu nebyla v žádném bytě dodržena směrná hodnota objemové aktivity, která byla v roce 2014 stanovena na 400 Bq/m^3 a ani dnes, kdy je referenční úroveň radonu stanovena na 300 Bq/m^3 , by žádný byt požadavky nesplnil. Ve 29 % bytů (celkem 6 bytů) je koncentrace radonu vyšší než 800 Bq/m^3 , v necelých 15 % (celkem 3 byty) je koncentrace dokonce vyšší než 1000 Bq/m^3 , nejvyšší naměřená hodnota je 1225 Bq/m^3 .

7.5 Výpočet závislosti intenzity výměny vzduchu na objemové aktivitě radonu

Jak již bylo řečeno, výměna vzduchu v interiéru má velmi výrazný vliv na koncentraci radonu v interiéru. Tato závislost se dá vyjádřit početně a následně i graficky. Koncentraci radonu v místnosti C_m lze vyjádřit takto:

$$C_m = \frac{\sum E_n \times A_n}{n_i \times V_i} [\text{Bq}/\text{m}^3] \quad [48]$$

... E_n je rychlost plošné emise radonu z n – té konstrukce [$\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

... A_n je plocha n – té konstrukce [m^2]

... n_i je intenzita větrání i – té místnosti [h^{-1}]

... V_i je vzduchový objem i – té místnosti [m^3]

Rychlost plošné emise radonu z konstrukce se vypočte dle následujícího vzorce:

$$E_n = \alpha_{Ra} \times \rho \times f \times \lambda \times d [\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad [48]$$

... α_{Ra} je hmotnostní aktivita rádia, pro škváru z Rynholce platí krajní hodnoty 1000 Bq/kg a 4000 Bq/kg

... ρ je objemová hmotnost, pro škvárobeton je to 1650 kg/m^3

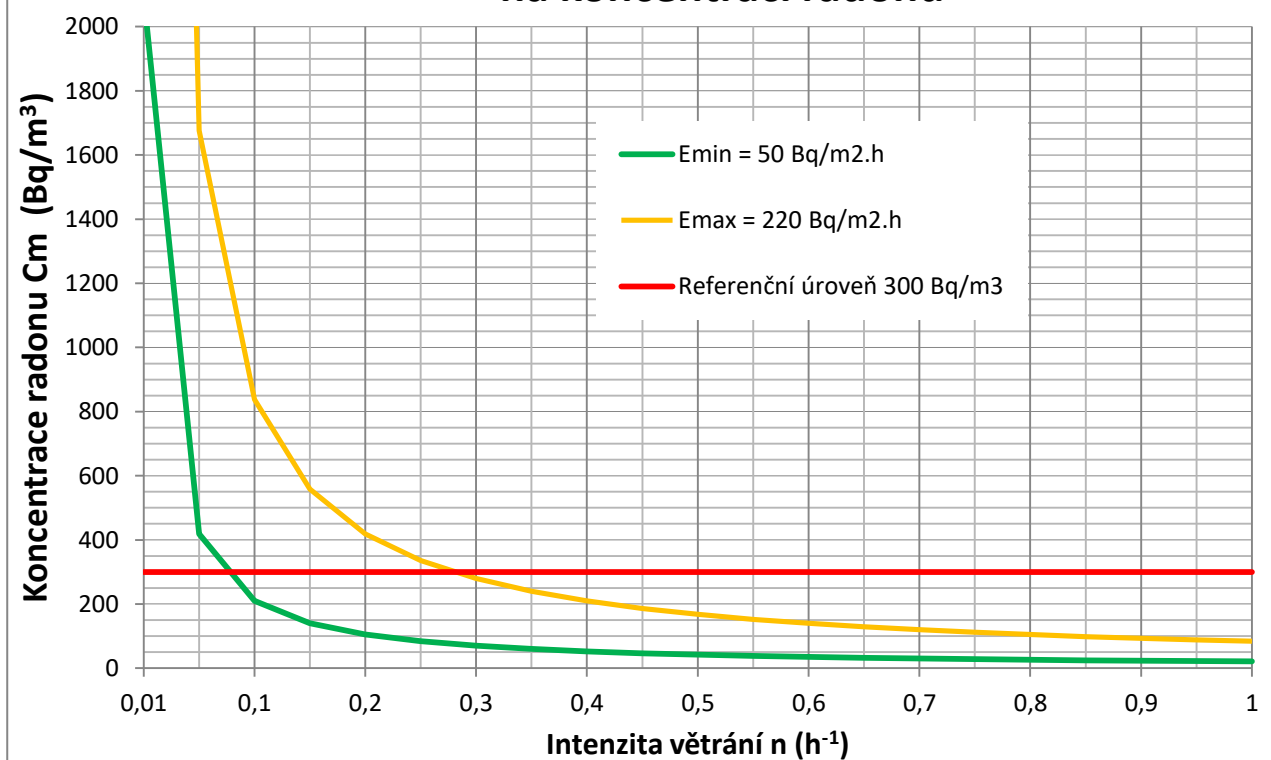
... f je koeficient emanace, v tomto případě 0,02

... λ je rozpadová konstanta, pro radon 0,00756 h^{-1}

... d je tloušťka dané konstrukce, která vyzařuje radon, do interiéru vždy působí pouze polovina dané konstrukce, zateplení na ni nemá vliv, v případě panelů v Radotíně budeme uvažovat $0,44/2 = 0,22$ m

Po dosazení do rovnice získáme dvě krajní hodnoty pro rychlost plošné emise radonu ze stěn, pro 1000 Bq/kg je $E_n = 55 \text{ Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ a pro 4000 Bq/kg je $E_n = 220 \text{ Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, skutečná rychlost emise pak bude ležet někde mezi těmito hodnotami. Pro výpočet použijeme místnost v bytovém domě na Sídlišti Radotín, místnost má půdorysné rozměry 5x3,15 m a světlou výšku 2,675 m. Stěny, které emitují radon, mají plochu 6 m^2 a 10 m^2 . Pokud tyto hodnoty dosadíme do prvního vzorce, získáme závislost objemové aktivity radonu v místnosti na násobnosti výměny vzduchu v interiéru:

Vliv intenzity větrání a rychlosti plošné emise na koncentraci radonu



Graf č. 1: Vliv intenzity větrání a rychlosti plošné emise na koncentraci radonu

Z předchozího grafu jasně vyplývá, že koncentrace radonu je nepřímo úměrná intenzitě větrání. Pokud bude intenzita větrání odpovídat hodnotě $0,3 h^{-1}$, budou se koncentrace radonu pohybovat v rozmezí od cca $75 Bq/m^3$ do cca $275 Bq/m^3$. Hodnota $0,3 h^{-1}$ je uvedena i v normě jako minimální intenzita výměny vzduchu, tudíž by měla být v interiéru dodržena. Jak ale ukazují předchozí měření a obecné poznatky o situaci větrání, reálné hodnoty jsou dnes výrazně nižší. Pokud by výměna vzduchu klesla třikrát na hodnotu $0,1 h^{-1}$, budou hodnoty koncentrace radonu zhruba třikrát vyšší v rozmezí od cca $200 Bq/m^3$ do cca $850 Bq/m^3$. Vzhledem k tomu, že domy na Sídlišti Radotín jsou dnes zatepleny, dá se očekávat, že hodnoty výměny vzduchu v bytech se budou pohybovat kolem hodnoty $0,1 h^{-1}$, možná i níže. I přes upozornění a doporučení nedošlo k systematickému proměření bytů, které by zmapovalo intenzitu výměny vzduchu v bytech po provedení zateplení. Byla sice měřena objemová aktivita radonu, ale jen v několika bytech a ventilace zde nebyla nijak zohledněna.

7.6 Možnosti technického řešení

Nutnost dostatečné ventilace v bytových domech zde byla několikrát potvrzena, v následující části jsou popsány jednotlivé možnosti technického řešení, které zajistí dostatečnou výměnu vzduchu v interiéru.

7.6.1 Centrální vzduchotechnická jednotka pro celý dům

První možností, jak zajistit dostatečnou výměnu vzduchu je instalace centrální vzduchotechnické jednotky, která bude určena pro celý dům nebo vchod. V případě běžných bytových domů by se

jednalo o jednotky s výkonem v řádu tisíců m³/h. Jako výhody toho systému lze uvést, že mají vysokou účinnost zpětného zisku tepla a mohou být vybaveny mnoha dalšími funkcemi úpravy vzduchu, jako je například ohřev, chlazení či zvlhčování. Nevýhodou jsou velké dispoziční nároky, jednotky jsou velmi rozsáhlé a často potřebují samostatnou místnost pro své umístění. Zároveň je potřeba brát v úvahu rozsáhlá potrubí o velkých dimenzích a rozdělení budovy do požárních úseků. Z hlediska použití pro stávající stavby je tento systém spíše nevhodný, v případě nových projektů by jeho použití bylo vhodné, pokud je s ním uvažováno již v projekční fázi.

Výhody	Nevýhody
Vysoký výkon	Velikost – vysoké dispoziční nároky
Snadná údržba a ovládání – jedna jednotka	Rozsáhlé rozvody vzduchu – vysoké tlakové ztráty
Další funkce – ohřev, chlazení, zvlhčování	Vyšší požadavky na požární bezpečnost
	Při výpadku postižen celý objekt/vchod
	Vhodné zejména pro novostavby

Tabulka č. 14: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro celý objekt

7.6.2 Centrální vzduchotechnická jednotka pro jedno patro

Druhou možností je využití centrálních jednotek o menším výkonu, které pokryjí potřebu více bytů, zpravidla na jednom patře. Tyto jednotky se na českém trhu objevují ve velkém množství a jsou velmi variabilní jak v provedení, tak ve výkonech. Jednotky mají vysokou účinnost zpětného zisku tepla, jsou relativně tiché a nejsou náročné na údržbu. Nemají tak velké dispoziční nároky, takže je lze snadno instalovat i do stávajících objektů, stejně tak je potrubí tohoto systému kratší a nemá tak velké dimenze. Nevýhoda tohoto systému je vyšší finanční náročnost a v případě rozsáhlých objektů obtížnější výměna filtrů a celkového servisu.

Výhody	Nevýhody
Variabilita provedení a výkonů	Větší počet jednotek
Relativně snadná instalace do stávajících prostorů	Vysoká počáteční investice
Menší dispoziční nároky	Komplikovanější údržba
Možnost postupné realizace	
Při výpadku postižen jen jeden úsek	
Kratší rozvody s nižší tlakovou ztrátou	
Možnost členění dle požárních úseků	

Tabulka č. 15: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro jedno patro

7.6.3 Centrální vzduchotechnická jednotka pro jeden byt

Dalším možným řešením je umístění centrální jednotky do každého bytu. Výhoda tohoto systému je ta, že každý byt má svoji jednotku, její režim tak lze nastavit přesně podle požadavků uživatele bytu, případně dle konkrétních podmínek v bytě. Jednotky mají menší výkony, takže mají nejen nižší dispoziční požadavky, ale i menší spotřebu a kratší rozvody o velmi malých dimenzích. Nicméně u stávajících bytů je i tak velmi obtížné najít vhodné místo pro instalaci takové jednotky, navíc je nutné každou jednotku napojit na exteriér. Jednotka je navíc zdrojem hluku, který by mohl majitele bytů rušit. Údržbu jednotky by musel zajišťovat uživatel bytu sám nebo kvůli údržbě vpouštět do bytu správce. Vzhledem k velikostem bytů je vhodných jednotek na trhu spíše méně, takže by pravděpodobně musely být instalovány jednotky o vyšším výkonu než by bylo potřeba.

Výhody	Nevýhody
Malé dispoziční požadavky	Vysoký počet jednotek
Individuální nastavení	Vysoká počáteční investice
Při výpadku postižen jen jeden byt	Zdroj hluku přímo v bytě
Možnost postupné realizace	Komplikovaná údržba
Krátké rozvody – menší tlaková ztráta	Každý byt prostup do exteriéru
Možnost členění dle požárních úseků	Nedostatečná variabilita jednotek

Tabulka č. 16: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro jeden byt

7.6.4 Decentrální rekuperační jednotky

Poslední možností, která zahrnuje zpětný zisk tepla je použití decentrálních rekuperačních jednotek. Tyto jednotky se instalují do každé místnosti, kde je potřeba zvýšit výměnu vzduchu, zařízení zajišťuje přívod i odvod vzduchu. Instalace těchto jednotek je vhodná zejména do malých bytů, kde není možnost instalace centrálního systému. Velkou výhodou je absence potrubí a relativně snadná instalace do stávajících objektů. Nevýhodou těchto jednotek je nižší účinnost, nižší výkony a nutnost prostupu do exteriéru z každé místnosti, kde je instalována. Jednotky jsou také zdrojem hluku přímo v obytné místnosti a v bezprostřední blízkosti jednotek může vznikat nepříjemné prostředí. Jednotky a jejich instalace navíc nejsou levnou záležitostí, v případě instalace do více místností je cena srovnatelná s umístěním centrální jednotky na patro.

Výhody	Nevýhody
Malá velikost	Jednotka v každé místnosti
Absence potrubí	Nižší výkon
Velmi snadná instalace	Nižší účinnost
	Prostup do exteriéru pro každou jednotku
	Hluk – jednotka přímo v místnosti
	Nepříjemné prostředí v blízkosti jednotky

Tabulka č. 17: Výhody a nevýhody decentrálních rekuperačních jednotek

7.6.5 Větrání bez rekuperace tepla

Existují i další možnosti, které sice nezahrnují zpětný zisk tepla, ale zvyšují výměnu vzduchu v interiéru a zajišťují dostatek čerstvého vzduchu.

7.6.5.1 Automatická okna

První varianta, která zajišťuje větrání, ale ne zpětný zisk tepla je instalace automatických oken. Jedná se o automaticky řízená okna, která se dle nastavených režimů zavírají a otvírají. Tento systém je vhodný pro byty, kde dosud neproběhla výměna oken. Výhodou je, že výměnu vzduchu zajišťují okna a není potřeba dalšího zařízení. Nevýhodou je řádově vyšší investice než do běžných oken a samozřejmě nulová rekuperace tepla.

Výhody	Nevýhody
Plně automatická dle nastavení	Nutnost výměny oken
Různé stupně otevření	Vyšší pořizovací náklady
	Nemožnost individuálního otevření
	Nulové šetření energie – přirozené větrání
	Nulová úprava vzduchu

Tabulka č. 18: Výhody a nevýhody automatických oken

7.6.5.2 Větrací štěrbin

Druhou variantou větrání bez rekuperace tepla je osazení větracích štěrbin do oken či obvodových zdí a jejich případná kombinace s odtahovými ventilátory. Tento systém byl popsán již výše. Výhodou tohoto systému je hlavně snadná instalace a nízká cena. Nevýhodou je nulové šetření energie, protože se jedná o přirozené větrání. Tento způsob je vhodný jako protiradonové opatření, ale pokud chceme v bytech zajistit i optimální vnitřní prostředí je vhodnější vybírat sofistikovanější systém.

Výhody	Nevýhody
Nízká cena	Nulové šetření energií - přirozené větrání
Snadná instalace	Malé objemy vzduchu
	Nulová úprava vzduchu

Tabulka č. 19: Výhody a nevýhody větracích štěrbin

7.6.6 Výběr preferované varianty

Jako nejvhodnější varianta pro zajištění dostatečné výměny vzduchu nejen pro snížení objemové aktivity radonu v interiéru, ale i k zajištění optimálních podmínek v obytných místnostech, se jeví centrální jednotka pro více bytů, resp. na jedno patro. Vzhledem k současnému trendu snižování energetické náročnosti objektů připadají v úvahu hlavně systémy, které zároveň šetří teplo, přirozené větrání je tudíž nedostačující. Stávající bytové domy nemají dostatek místa pro umístění centrální jednotky pro celý dům ani pro rozsáhlá potrubí, která jsou u tohoto systému nezbytná.

Vzhledem k malým dispozicím většiny stávajících bytů by bylo umístění rekuperační jednotky do každého bytu velmi komplikované. Lokální rekuperační jednotky nejsou dostatečně výkonné a pořízení do každého bytu by bylo ve finále velmi finančně náročné. Menší centrální jednotky pro jedno patro jsou velmi vhodné, protože nejsou náročné na instalaci a prostor jako velké centrální jednotky pro celý objekt. Rozvody od menších jednotek jsou méně rozsáhlé a nemají tak velké dimenze, tudíž mají menší dispoziční nároky. Instalace těchto jednotek může probíhat postupně, dle finančních a časových možností majitelů i uživatelů bytů. V případě výpadku jednotky není zasažen celý objekt. Důkazem toho, že tento systém je optimální, je realizace, která byla provedena na Sídlišti Radotín během roku 2016.

7.7 Opatření proti radonu v roce 2016

Po vyhodnocení měření z roku 2013 a 2014, kdy byla zjištěna zvýšená koncentrace radonu ve 40 bytech, se radotínská radnice rozhodla v těchto bytech provést opatření, které tuto hladinu sníží.

7.7.1 Výběr vhodného opatření

Původně bylo vypsáno výběrové řízení bez požadavku na konkrétní systém větrání. O tom, že se jedná o relativně komplikovanou a netradiční realizaci svědčí fakt, že se do výběrového řízení přihlásila pouze jediná firma. Bylo tedy vypsáno nové výběrové řízení, do nějž se přihlásily dvě firmy, obě byly následně požádány o provedení referenční instalace. Během léta 2015 proběhlo měření v obou bytových jednotkách. Po vyhodnocení byla vybrána firma, která se přihlásila již do prvního výběrového řízení, firma ThermWet, a byla vyzvána, aby zpracovala cenovou nabídku pro 20 bytů. První etapa realizace byla provedena jen pro 20 bytů, protože zbytek nájemníků o instalaci nemá zájem, do zbylých bytů bude systém nainstalován dodatečně poté, co se byt uvolní. [49]

7.7.2 Realizace opatření

Při realizaci byly použity dva typy jednotek. Podstropní jednotky byly umístěny na mezipodestách jednotlivých pater, pro poslední dvě patra byly použity nástěnné jednotky. Jednotky jsou s exteriérem propojeny prostupy přes fasádu zakončenými protidešťovými žaluziemi. Hlavní rozvody jsou vedeny ve společných prostorách domu, na jednotlivých podlažích byly provedeny prostupy do jednotlivých bytů. V případě bytů, kde bude systém teprve proveden, je na chodbě instalována příprava v podobě těsných klapek, které umožňují regulaci současného systému i následujících realizací. V jednotlivých bytech byly rozvody vedeny v chodbě, koupelně a části jednoho pokoje, světlá výška byla tedy snížena pouze v těchto prostorech. Do zbylých místností byly provedeny prostupy přes stěnu a distribuční elementy umístěny do těchto prostupů, světlá výška zde tedy nebyla snižována. Všechny rozvody byly po realizaci zakryty sádkartonem a na závěr došlo k výmalbě všech dotčených prostorů. [50]



Obrázek č. 36 a č. 37: Revizní dvířka jednotky umístěná na stropě mezipodesty a příprava pro napojení jednotky na mezipodestě (foto: autor)



Obrázek č. 38 a č. 39: Vedení potrubí pod konstrukcí schodišťového ramena a prostup potrubí do bytu a příprava pro napojení dalších bytů (foto: autor)



Obrázek č. 40 a č. 41: Potrubí vedené v chodbě bytu a distribuční elementy v pokoji (foto: autor)

7.7.3 Vyhodnocení provedeného opatření

Po spuštění a regulaci systému bylo provedeno kontrolní měření, které mělo vyhodnotit účinnost provedených opatření. Měření bylo prováděno v jedné místnosti v rámci čtrnácti dnů během května a června, součástí měření bylo i stanovení výměny vzduchu v místnosti dle certifikované metodiky *Metodika stanovení celkové násobnosti výměny vzduchu v budovách ČR* - osvědčení o certifikaci vydal SÚJB č.SÚJB/RCHK/4581/2017. Výsledky a porovnání s předchozími hodnotami je uvedeno v následující tabulce:

Označení bytu	Objemová aktivita radonu před realizací VZT (Bq/m ³)	Objemová aktivita radonu po realizaci VZT (Bq/m ³)	Intenzita výměny vzduchu (h ⁻¹)
1	461	69	1,45
2	316	83	1,62
3	414	74	1,51
4	714	64	1,68
5	488	51	1,21
6	540	83	2,80
7	548	107	1,53
8	959	89	1,13
9	402	59	1,48
10	430	88	1,47
11	549	57	1,70
12	993	32	4,11
13	1001	109	1,23
14	459	37	1,08
15	741	76	0,92

Tabulka č. 20: Porovnání objemových aktivit radonu v obecních bytech před a po instalaci VZT a intenzita větrání [46]

Z výsledků měření jasně vyplývá, že instalovaný systém snižuje koncentraci radonu v interiéru a to výrazně pod referenční hodnotu, která je v současné době 300 Bq/m³. Instalované rekuperační

jednotky zajišťují intenzivní výměnu vzduchu v interiéru, díky tomu nejen snižují objemovou aktivitu v interiéru, ale zároveň poskytují optimální prostředí uvnitř interiéru, protože uživatelům bytů zajišťují dostatek čerstvého vzduchu. V těchto bytech tak nehrozí zvýšená vlhkost, ani vysoká koncentrace CO₂, díky filtrům v rekuperačních jednotkách do interiérů nepronikají zápachy ani prach a pyl. Centrální rekuperační jednotka se tedy jeví jako velmi účinné protiradonové opatření, které s sebou přináší řadu dalších pozitiv.

8. Závěr

V dnešní době je řada budov, ať už nových či stávajících ohrožována některými škodlivinami, kromě zvýšené vlhkosti či oxidu uhličitého mezi tyto škodliviny mimo jiné patří i radon. Tento vzácný plyn sám o sobě není nebezpečný, škodlivé jsou produkty jeho radioaktivní přeměny, které jsou vdechovány a následně ozařují plicní tkáň. Pokud je člověk radonu a tím pádem i jeho dceřiným produktům vystaven, zvyšuje se u něj riziko vzniku rakoviny plic.

V České republice je kvůli geologickým podmínkám zvýšené riziko výskytu radonu, navíc je možné radon najít i ve stavbách, které byly postaveny ze závadného materiálu, jehož příměsi jsou radioaktivní. Mezi tyto stavby patří domy v Jáchymově, kde bylo při výstavbě použito odpadních materiálů ze zpracování uranových rud do omítek, štuků, zdící malty a násypů podlah nebo stropů. Dále se jedná o stavby postavené z rynholeckého škvárobetonu, sem patří typizované domy START a bytové domy ve Stochově, Letňanech, Kbelích, pražských Petřinách, Strašnicích či Radotíně. Poslední obecně známý závadný materiál je Pórobeton z Poříčí u Trutnova. Těchto domů se na území ČR nalézá velké množství, pokud vezmeme v úvahu i fakt, že geologické podmínky jsou též nepříznivé, je zcela jasné, že radonovou problematikou je nutné se zabývat.

Legislativa na ochranu před radonu vznikla již v 90. letech, v současné době je platný Nový atomový zákon č. 263/2016 Sb. a Radonový program ČR 2010 až 2019 – Akční plán. V novostavbách je objemová aktivita radonu pečlivě kontrolována, u stávajících staveb probíhají bezplatná měření. Pokud dochází změnám dokončených staveb, musí vlastník stavby zajistit měření koncentrace radonu.

Ochrana proti radonu je v novostavbách zakomponována již od projektu, pro stávající stavby je ochrana komplikovanější. Existuje řada způsobů, jak stavby před radonem ochránit. Buď lze přísunu radonu do domu zabránit konstrukčním opatřením, nebo je radon odveden pryč za pomoci zvýšené ventilace v objektu. Při rekonstrukcích je nutné výměnu vzduchu nezanedbat, protože bylo dokázáno, že při zateplení objektu a výměně oken, se ventilace v domech výrazně snižuje. Dostatečná intenzita větrání je nutná i z hlediska zajištění dostatečného množství vzduchu a tím pádem optimálního vnitřního prostředí.

Problematika radonu byla řešena v praxi na Sídlišti Radotín, kde se nacházejí bytové domy postavené ze škvárobetonu z Rynholce. Měření zde probíhalo již v 90. letech a následně zde byla zavedena první protiradonová opatření v podobě vzduchových filtrů a vzduchotechnických jednotek. Další měření proběhla v roce 2013 po výměně oken, jejich výsledkem bylo zjištění zvýšené koncentrace radonu v řadě bytu. Následovalo zateplení bytových domů a další měření v roce 2014, při němž byla zjištěna vysoká objemová aktivita radonu ve 40 obecních bytech. Radnice se proto rozhodla instalovat do těchto bytů systém nuceného větrání s rekuperací, bohužel polovina obyvatel bytů s tím řešením nesouhlasila, a tak byl dosud systém instalován jen do 15 bytů.

Instalace řízeného větrání s rekuperací tepla se ukázalo jako velmi účinné opatření proti radonu. Součástí této práce je proto projekt vzduchotechnického systému v bytovém domě, který zajišťuje

nejen odstranění radonu, ale i zajištění kvalitního prostředí. Výhody nuceného větrání spočívají ve vysoké spolehlivosti bez ohledu na venkovní podmínky, možnost nastavení dle režimu uživatelů bytu a také ve snižování tepelných ztrát způsobených větráním. Navíc rekuperační jednotky zajišťují dostatečné množství čerstvého vzduchu a v bytech je tak velmi příznivé vnitřní prostředí, tento aspekt je v dnešní době stále opomíjen a často brán jen jako zbytečný luxus.

Použitá literatura, podklady, zdroje

- [1] Zdravotní účinky radonu. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/zdravotni-ucinky-radonu/>
- [2] Vývoj nehodovosti na českých silnicích. *SAP - Sdružení automobilového průmyslu* [online]. Česká republika: SDRUŽENÍ AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU, 2013 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://w.autosap.cz/dalsi-informace/nehodovost-na-ceskych-silnicich/>
- [3] NAVRÁTIL, Vladislav. RADON, JEHO PRODUKTY ROZPADU A LIDSKÉ ZDRAVÍ. *Škola a zdraví: Výchova a péče o zdraví* [online]. 2011, **2011**(21), 5 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: http://www.ped.muni.cz/z21/knihy/2011/40/texty/cze/25_navratil_cze.pdf
- [4] Radon. In: *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2018 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Radon>
- [5] Co je to radon? *Radioaktivní stránky* [online]. Česká republika, 2012 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.radioaktivnistranky.cz/cojern.html>
- [6] HAVEL, Milan. Co je radon a jak vzniká? In: *Ekoporadna.cz - Wiki* [online]. Česká republika, 2014 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: http://wiki.ekoporadna.cz/index.php?title=Co_je_radon_a_jak_vznik%C3%A1%3F
- [7] Co je Radon. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/o-radonu-co-je-radon/>
- [8] RIZIKEM PRO VAŠE PLÍCE NENÍ JEN CIGARETA, ALE I RADON. *NAUČNÁ STEZKA O RADONU* [online]. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2010 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.radonovastezka.cz/index.php?lmut=cz&part=route&stop=1>
- [9] Co se léčí v lázních Jáchymov. *Léčebné lázně Jáchymov* [online]. Česká republika: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.laznejachymov.cz/co-lecime/>
- [10] Léčebné účinky radonové vody. *Léčebné lázně Jáchymov* [online]. Česká republika: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.laznejachymov.cz/cim-lecime/>
- [11] Historie Lázní Jáchymov. *Léčebné lázně Jáchymov* [online]. Česká republika: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.laznejachymov.cz/historie-lazni/>
- [12] Léčivé zdroje. *Léčebné lázně Jáchymov* [online]. Česká republika: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.laznejachymov.cz/lecive-zdroje/>
- [13] Hotel Radium Palace****. *Léčebné lázně Jáchymov* [online]. Česká republika: Léčebné lázně Jáchymov, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.laznejachymov.cz/ubytovani/hotel-radium-palace/>
- [14] RADON včera a dnes. *Státní ústav radiální ochrany, v.v.i* [online]. Česká republika: SÚRO, 2018 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace/historie-radonove-problematiky/radon-vcera-a-dnes>
- [15] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 9-10. ISBN 978-80-01-05363-8.
- [16] Historie radonové problematiky. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z:

<https://www.radonovyprogram.cz/historie-radonove-problematiky/>

[17] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 10-12. ISBN 978-80-01-05363-8.

[18] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 13. ISBN 978-80-01-05363-8.

[19] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 7. ISBN 978-80-01-05363-8.

[20] Thomas J.: *Výsledky měření a průzkumů*. In: Sborník z konference Radonová problematika v bytech. Dům techniky ČS VT S Ostrava 1991

[21] Fojtíková I.: *Analýza měření OA R a dávkových příkonů záření gama v domech Start*. Interní materiál SÚRO Praha, 2013

[22] Thomas J.: *Problematika domů Start*. In: Sborník přednášek z konference opatření proti radonu. DKO s.r.o., Jihlava 23.–25. 11. 1992

[23] SKURČÁKOVÁ, ZUZANA. *Měření radonu v budovách a ochrana obyvatelstva* [online]. Česká republika, 2009 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z:

https://is.muni.cz/th/269027/prif_b/Skurcakova_radon.pdf. Bakalářská práce. Masarykova univerzita.

[24] Radon v ČR. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/radon-v-cr/>

[25] *Zákon č. 263/2016 Sb.: Zákon atomový*. In: . Česká republika: Sbírka zákonů ČR, 2016, ročník 2016, číslo 263.

[26] *RADON bulletin* [online]. Česká republika: Státní ústav radiační ochrany, 2016, **2016** [cit. 2018-01-06]. ISSN 2336-7733.

[27] Radonový program ČR 2010 až 2019 - Akční plán. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z:

<https://www.radonovyprogram.cz/radonovy-program-cr/>

[28] Ve vodě. *Radonový program ČR* [online]. Česká republika: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.radonovyprogram.cz/mereni-radonu-ve-vode/>

[29] WITZANY, J., M. JIRÁNEK, J. ZLESÁK a R. ZIGLER. *Konstrukce pozemních staveb 20*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3422-4.

[30] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Radon - stavební souvislosti: Odvětrání podloží*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05023-1.

[31] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Radon - stavební souvislosti: Ventilační vrstvy*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05023-1.

[32] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Radon - stavební souvislosti: Protiradonové izolace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05023-1.

[33] JIRÁNEK, Martin. *Opatření proti radonu pro novostavby* [online]. Česká republika: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z:

https://www.radonovyprogram.cz/fileadmin/radonovyprogram/clanky/jiranek/Novostavby_2017_brozura_jednostranna.pdf

- [34] JIRÁNEK, Martin. *Opatření proti radonu: vhodná ke svépomocné realizaci ve stávajících stavbách*. Česká republika: České učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05597-7.
- [35] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 22-24. ISBN 978-80-01-05363-8.
- [36] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Radon - stavební souvislosti: Jednoduché větrací systémy*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05023-1.
- [37] Nadokenní akustická ventilanční mřížka Renson AK 80. In: *TOR CHEB s.r.o.* [online]. Česká republika [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://tor.cz/vetraci-mrizky-renson#> [38]
- VĚTRACÍ ŠTĚRBINY. In: *OKNOSTART* [online]. Česká republika: Mariusz Burszta, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://oknostart.cz/nawiewniki.html>
- [39] Jak funguje rekuperace tepla? In: *KORADO* [online]. Česká republika: KORADO, 2018 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/lokalni-vetraci-jednotky/vseobecne-udaje/jak-funguje-rekuperace-tepla.html>
- [40] O rekuperaci. In: *ThermWet* [online]. Česká republika: ThermWet, 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.thermwet.cz/>
- [41] Centrální rekuperace. In: *Mega-Sunshine* [online]. Česká republika: Mega-Sunshine, 2013 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.mega-sunshine.cz/rekuperace/centralni-rekuperace/>
- [42] ZMRHAL, Vladimír. Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. In: *TZB-info* [online]. Česká republika: Topinfo, 2012 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [43] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 19-22. ISBN 978-80-01-05363-8.
- [44] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Radon – Stavební souvislosti. Jednoduché větrací systémy*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013, s. 12. ISBN 978-80-01-05363-8.
- [45] Sídliště, 153 00 Praha 16. *Mapy Google* [online]. Česká republika: Google, 2018 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/S%C3%ADdli%C5%A1t%C4%9B,+153+00+Praha+16/@49.980271,14.3524459,16z/data=!4m5!3m4!1s0x470b970eb129f1f9:0x6b0ef15de536d712!8m2!3d49.9803072!4d14.353433?dcr=0>
- [46] Archiv městské části Praha 16 - Radotín
- [47] JIRÁNEK, Martin. *Vliv výměny oken na OAR v bytových domech postavených z ryncholeckého škvárobetonu: Znalecký posudek*. Česká republika, 2009.
- [48] JIRÁNEK, Martin a Milena HONZÍKOVÁ. *Stavební materiály jako zdroj radonu a gama záření: Principy ochrany proti radonu a gama záření ze stavebních materiálů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013, s. 14-19. ISBN 978-80-01-05363-8.
- [49] Řešení zvýšené hladiny radonu v obecníc. In: *ODS Radotín* [online]. Česká republika: Webnode, 2015 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.odsradotin.cz/news/reseni-zvysene-hladiny->

radonu-v-obecnich-bytech/
[50] Archiv firmy ThermWet

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Rozpadová řada radonu [7]

Obrázek č. 2: Graf ukazující kolikrát vzroste riziko onemocnění rakovinou plic v závislosti na koncentraci radonu [8]

Obrázek č. 3: Radium Palace v Jáchymově [13]

Obrázek č. 4: Radonová koupel v Jáchymově [13]

Obrázek č. 5: Pohled na bytový dům z rynholeckého škvárobetonu [15]

Obrázek č. 6: a půdorys typického bytu v bytovém domě z rynholeckého škvárobetonu [15]

Obrázek č. 7: Pohledy na typizovaný rodinný dům typu START [17]

Obrázek č. 8: Pohledy na typizovaný rodinný dům typu START [17]

Obrázek č. 9: Půdorys technického podlaží typizovaného rodinného domu typu START [17]

Obrázek č. 10: Půdorys obytného podlaží typizovaného rodinného domu typu START [17]

Obrázek č. 11: Geometrický průměr objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky [24]

Obrázek č. 12: Integrální měřiče [34]

Obrázek č. 13: Integrální měřiče [34]

Obrázek č. 14: Kontinuální monitory [34]

Obrázek č. 15: Kontinuální monitory [34]

Obrázek č. 16: Schéma použití protiradonové izolace pro ochranu nových staveb [32]

Obrázek č. 17: Zásady ochrany proti radonu u novostaveb [33]

Obrázek č. 18: Schéma použití protiradonové izolace pro ochranu stávajících staveb [32]

Obrázek č. 19: Schéma použití protiradonové izolace pro ochranu stávajících staveb [30]

Obrázek č. 20: Schéma použití ventilačních vrstev pro ochranu stávajících staveb [31]

Obrázek č. 21: Větrací štěrbiny určené k instalaci do okenního rámu [37]

Obrázek č. 22: Větrací štěrbiny určené k instalaci do okenního rámu [38]

Obrázek č. 23: Princip nuceného podtlakového větrání s přívodem vzduchu větracími štěrbinami – ventilátor umístěn v technické místnosti [36]

Obrázek č. 24: Schéma lokální rekuperační jednotky [39]

Obrázek č. 25: Schéma principu lokální rekuperace [36]

Obrázek č. 26: Schéma centrální rekuperační jednotky [40]

Obrázek č. 27: Schéma principu centrální rekuperace [41]

Obrázek č. 28: Porovnání průběhu intenzity větrání ve stávajícím RD s původními zdvojenými okny a novém RD s plastovými okny [44]

- Obrázek č. 29: Sídliště Radotín na mapě [45]
- Obrázek č. 30: Pohled na bytový dům na Sídlišti Radotín (foto: autor)
- Obrázek č. 31: Část půdorys typického podlaží bytového domu na Sídlišti Radotín [46]
- Obrázek č. 32: Pohled na distribuční elementy v pokoji [46]
- Obrázek č. 33: Pohled na řídicí jednotku na toaletě [46]
- Obrázek č. 35: Pohled na potrubí umístěné ve skříňce [46]
- Obrázek č. 35: Pohled na odtahovou mřížku umístěnou v chodbě [46]
- Obrázek č. 36: Revizní dvířka jednotky umístěná na stropě mezipodesty (foto: autor)
- Obrázek č. 37: Příprava pro napojení jednotky na mezipodestě (foto: autor)
- Obrázek č. 38: Vedení potrubí pod konstrukcí schodišťového ramena (foto: autor)
- Obrázek č. 39: Prostup potrubí do bytu a příprava pro napojení dalších bytů (foto: autor)
- Obrázek č. 40: Potrubí vedené v chodbě bytu (foto: autor)
- Obrázek č. 41: Distribuční elementy v pokoji (foto: autor)

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Příkony fotonových dávkových ekvivalentů v jáchymovských domech postavených před rokem 1991 [20]

Tabulka č. 2: Příkony fotonového dávkového ekvivalentu v domech z rynholeckého škvárobetonu podle měření z let 1989–1990 [21] [22]

Tabulka č. 3: Koncentrace radonu v jáchymovských domech postavených před rokem 1991[15]

Tabulka č. 4: Koncentrace radonu v domech STA RT na základě integrálního celoročního měření stopovými detektory z let 1989–1990 [22]

Tabulka č. 5: Koncentrace radonu v bytech bytových domů z rynholeckého škvárobetonu na základě integrálního celoročního měření stopovými detektory z roku 1995 [22]

Tabulka č. 6: Účinnost protiradonových opatření ve stávajících stavbách [34]

Tabulka č. 7: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [42]

Tabulka č. 8: Koncentrace radonu v domě Start před a po realizaci opatření ke snížení spotřeby energií. Koncentrace byly měřeny stopovými detektory s roční dobou expozice. Radonová diagnostika potvrdila, že škvárobetonové panely jsou jediným zdrojem radonu v domě. [43]

Tabulka č. 9: Parametry vyjadřující energetickou náročnost domu Start před a po realizaci opatření ke snížení spotřeby energií. Pro výpočet byl použit program Energie [43]

Tabulka č. 10: Četnost výskytu daných objemových aktivity radonu v bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z roku 1995 [47]

Tabulka č. 11: Četnost výskytu daných objemových aktivity radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z roku 1995 [46]

Tabulka č. 12: Přehled poskytnutých a využívaných filtrů [46]

Tabulka č. 13: Četnost výskytu daných objemových aktivity radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z 1. poloviny roku 2013 [46]

Tabulka č. 14: Objemová aktivita radonu a intenzita větrání v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory ze zimy roku 2013 [46]

Tabulka č. 13: Četnost výskytu daných objemových aktivity radonu v obecních bytech na Sídlišti Radotín podle měření stopovými detektory z 1. poloviny roku 2014 [46]

Tabulka č. 14: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro celý objekt

Tabulka č. 15: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro jedno patro

Tabulka č. 16: Výhody a nevýhody centrální jednotky pro jeden byt

Tabulka č. 17: Výhody a nevýhody decentrálních rekuperačních jednotek

Tabulka č. 18: Výhody a nevýhody automatických oken

Tabulka č. 19: Výhody a nevýhody větracích štěrbin

Tabulka č. 20: Porovnání objemových aktivit radonu v obecních bytech před a po instalaci VZT a intenzita větrání [46]

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**PROJEKT VZDUCHOTECHNIKY V BYTOVÉM DOMĚ NA
SÍDLIŠTI RADOTÍN**

Bc. HELENA ŠVECOVÁ

Vedoucí diplomové práce :

Ing. Ilona Koubková, Ph.D.

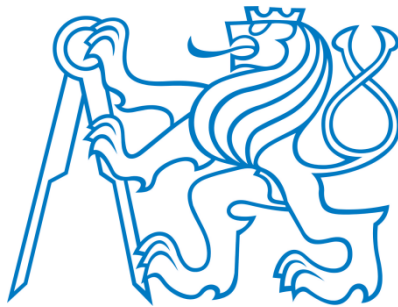
Konzultant(i) :

**prof. Ing. Martin Jiránek, CSc.
K124**

2017/2018

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

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**TECHNICKÁ ZPRÁVA
Vzduchotechnika**

Název stavby: Bytový dům č. 1061 – 1063 na Sídlišti Radotín

Místo stavby: Praha 16 - Radotín

Vypracoval: Bc. Helena Švecová

Obsah

1. Rozsah projektu	4
2. Technické podklady	4
3. Zásady řešení	5
3.1 Vzduchotechnická jednotka	6
3.2 Rozvodné potrubí	6
3.3 Distribuční elementy	6
4. Požadavky na navazující profese	7
5. Používání, obsluha a údržba zařízení.....	7
6. Závěr	8
7. Příloha.....	8
8. Výkresy	8

Identifikační údaje

Název akce:	Centrální systém nuceného větrání se zpětným ziskem tepla
Místo stavby:	Sídlště 1061 – 1063, Praha 16 - Radotín
Majitel:	Městská část Praha 16 Václava Balého 23/3 153 00 Praha - Radotín
Účel zpracování:	Snížení koncentrace radonu v bytech a zajištění příznivého vnitřního klimatu v administrativní části
Projektant:	Bc. Helena Švecová

1. Rozsah projektu

Předmětem projektového řešení je systém řízeného větrání s rekuperací tepla. V rámci projektu je řešen bytový dům nacházející se na Sídlšti Radotín na Praze 16 – Radotín.

Jedná se o bytový dům se čtyřmi nadzemními podlažními a jedním podzemním podlažím. V prvním nadzemním podlaží se nachází jeden byt s dispozičním řešením 3 + 1, dále se v přízemí nachází byt 2 + 1 a garsoniéra. Zbývá tři nadzemním podlaží jsou shodná, na každém podlaží se nachází tři byty, které jsou řešeny jako 2 + 1. Garsoniéra je obývána 2 lidmi, ve zbylých bytech je uvažováno se 4 osobami.

2. Technické podklady

Jako výchozí podklady pro zpracování projektu sloužily stavební výkresy. Projekt je zpracován v rozsahu pro rozšířené stavební povolení a v souladu s vyhláškami a normami. Jedná se především o následující nařízení a normy:

- platné normy ČSN EN 15665/Z1 – Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov
- ČSN 12 7010 - Navrhování větracích a klimatizačních zařízení
- ČSN 73 0872 - Požární bezpečnost staveb - Ochrana staveb proti šíření požáru potrubím
- Nařízení vlády č.272/2011 - NV o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

- Nařízení vlády č.361/2007 - NV kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Zákon č.86/ 2002 o ochraně ovzduší
- Nařízení vlády č.502/2000 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a změna 88/2004 Sb.,
- Vyhláška č.137/1998 Sb., O obecných technických požadavcích na výstavbu.“
- Vyhláška č.6/2003 Sb., kterou se stanoví ukazatele pro vnitřní prostředí bytových místností některých staveb

Návrh a dimenzování větracího zařízení je provedeno na základě hygienických předpisů (tj. požadované intenzity výměny vzduchu, požadované dávky vzduchu na osobu a zařizovací předměty, hlučnost VDI 2081, DIN 4109 atd.) a požárních a bezpečnostních požadavků. Zároveň je brána v úvahu zvýšená koncentrace radonu v těchto bytech.

3. Zásady řešení

Soustava je navržena jako rovnotlaká se systémem nuceného větrání s rekuperací odpadního vzduchu. Vzduchotechnická soustava je navržena tak, aby zajistila nutnou výměnu vzduchu a požadovaný průtok vzduchu větráním, při pobytu všech osob současně v každém bytu. Zároveň je požadována taková výměna vzduchu, která zajistí optimální úroveň objemové aktivity radonu.

Objemový průtok vzduchu větráním byl volen v jednotlivých místnostech dle vyhlášky č. 361/2007 Sb. se změnou č. 9/2013 Sb. Viz půdorys VZT jednotlivých podlaží s objemovými průtoky vzduchu v potrubí.

Základní požadavky jsou uvedeny v ČSN EN 15665/Z1 – Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov:

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání (h ⁻¹)	Dávka venkovního vzduchu na osobu (m ³ /h*os)	Kuchyně (m ³ /h)	Koupelna (m ³ /h)	WC (m ³ /h)
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

Tabulka č. 1: Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1

3.1 Vzduchotechnická jednotka

Vzhledem ke komplikované dispozici domu byla zvolena pro různá patra odlišná řešení, ale princip je stejný ve všech patrech. Rekuperační jednotka je vždy určena pro jedno patro, zajišťuje tedy výměnu vzduchu vždy pro tři byty. Pro první a druhé nadzemní podlaží byla rekuperační jednotka umístěna do podhledu na mezipodestě. Jednotky určené pro třetí a čtvrté nadzemní podlaží jsou umístěny na stěně v nejvyšším patře.

Zvolena byla podstropní jednotka Venus HRV30EC s maximálním průtokem vzduchu 315 m³/hod a rekuperací 92,5 %, nástěnná jednotka je jednotka Ventbox s maximálním průtokem vzduchu 400 m³/hod a rekuperací 93 %, schémata jednotek jsou součástí výkresové dokumentace. Všechny jednotky jsou umístěny na silent blocích pro snížení hluku. V podhledu pod rekuperačními jednotkami jsou provedeny revizní otvory. Venkovní vzduch bude jednotka nasávat přes protidešťovou žaluzii na fasádě budovy a použitý vzduch bude vyfukovat opět vodorovně přes protidešťovou žaluzii na fasádě budovy do venkovního prostředí.

3.2 Rozvodné potrubí

Rozvodné potrubí je provedeno z flexibilního potrubí SONOFLEX, které je opatřeno tepelnou a hlukovou izolací z minerální vaty tl. 25 mm u potrubí distribuujících vzduch uvnitř bytů a tepelnou a hlukovou izolací z minerální vaty tl. 50 mm u potrubí distribuujících vzduch ve společných prostorách domu.

Potrubí je vedeno ve společných prostorách domu na podestách, mezipodestách a pod šikmou konstrukcí schodiště. Potrubí do 3NP je od jednotky vedeno přes stoupačku z plochého plastového potrubí. Detaily provedení jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci. Uvnitř bytů je potrubí vedeno v chodbě, koupelně a v části pokoje, kde je z tohoto důvod snížený podhled.

V místě, kde prochází potrubí stavební konstrukcí, bude nutné umístit toto potrubí do chráničky z trubky o 2x větší jmenovité světlosti. Návrh tras vzduchotechniky respektuje rozdělení do požárních úseku, není tudíž potřeba zajišťovat průchody potrubí různými požárními úseky.

3.3 Distribuční elementy

Rozmístění a typ těles je zobrazeno na půdorysech. Umístění bylo voleno zejména s ohledem na to, aby v bytech došlo k co nejmenšímu snižování světlé výšky místností. Proto jsou pro

přívod vzduchu použity směrové dýzy, které zajistí dostatečný dosah přiváděného vzduchu. Odtah vzduchu zajišťují talířové ventily.

4. Požadavky na navazující profese

Uvedené požadavky je nutné pro montáž a správné provozování vzduchotechnického zařízení bezpodmínečně zabezpečit.

- **Stavba**

Pro potřebu prostorové koordinace je třeba k rozměrům udaným na výkresech připočítat na všechny strany nejméně 30mm (tj. prostor pro příruby, závěsy, popř. izolaci)

Všechny prostupy a trasy pro vzduchotechniku musí být nejméně o 30mm větší než je rozměr potrubí udaný na výkrese, prostupy jsou vyloženy minerální vatou.

- **Elektro a regulace**

Větrací jednotka smí být připojena jen k elektrické síti odpovídající příslušným předpisům dle normy ČSN pouze pevným přívodem ze samostatného el. okruhu. Ten musí být jištěn jističem 10A s charakteristikou D.

- **Zdravotní technika**

Napojit odvodňovací nátrubek rekuperačního výměníku jednotky Venus (pr. 14 mm) do kanalizace.

5. Používání, obsluha a údržba zařízení

Doporučuje se, aby pracovníci pověřeni obsluhou a údržbou vzduchotechnických zařízení se zúčastnili montáže. Během zkušebního provozu zaučí dodavatel obsluhující personál v používání, obsluze a údržbě zařízení a předá příslušné písemné návody.

Pro bezporuchový chod je nutné provádět pravidelné prohlídky a údržbu vzduchotechnického zařízení a příslušenství. Pro obsluhu a údržbu platí provozní předpisy dodané v technické dokumentaci od dodavatele (výrobce).

6. Závěr

Vzduchotechnická zařízení budou pracovat za předpokladu, že budou dodána a namontována dle projektové dokumentace, budou řádně vyzkoušena, vyregulována a ověřena ve zkušebním provozu.

7. Příloha

V příloze jsou uvedeny výpočty návrhu dimenzí potrubí.

8. Výkresy

1. Návrh VZT systému – 1NP a 2NP 1:100
2. Návrh VZT systému – 1NP 1:50
3. Návrh VZT systému – 2NP 1:50
4. Návrh VZT systému – 3NP a 4NP 1:100
5. Návrh VZT systému – 3NP 1:50
6. Návrh VZT systému – 4NP 1:50
7. Návrh VZT systému – Schematický řez
8. Návrh VZT systému – Stoupačka
9. Schéma rekuperační jednotky
10. Detail napojení VZT jednotky a revizního otvoru
11. Detail prostupu fasádou
12. Detaily spojů
13. Detaily připojení ventilů

Příloha: Návrh dimenze potrubí

- základní vzorec $Q = S \cdot 3600 \cdot v$
 Q = objemový průtok vzduchu [m^3/h]
 S = plocha průřezu [m^2]
 v = rychlost proudění vzduchu [m/s]
- vzorec výpočtu průměru potrubí $DN = \sqrt{Q / (3600 \cdot v \cdot \pi)}$
 DN = průměr potrubí [m]
 Q = objemový průtok vzduchu [m^3/h]
 v = rychlost proudění vzduchu [m/s] – návrhová, volená v rozmezí 2 – 5 m/s
 DN – dimenze potrubí z řady 100, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250
- vzorec výpočtu skutečné rychlosti v potrubí $v_2 = Q / (3600 \cdot S)$
 v = rychlost proudění vzduchu [m/s] - skutečná
 Q = objemový průtok vzduchu [m^3/h]
 S = plocha průřezu [m^2]

Výpočet dimenze potrubí pro 1NP

Objem Q [m^3/h]	Plocha potrubí S [m^2]	DN [m]	Návrhová rychlost v_1 [m/s]	Výsledná rychlost v_2 [m/s]
20	0,01227	0,125	2,5	0,45
25	0,01227	0,125	2,5	0,57
30	0,01227	0,125	2,5	0,68
40	0,01227	0,125	2,5	0,90
50	0,01227	0,125	2,5	1,13
100	0,01227	0,125	4	2,27
200	0,01227	0,125	4	4,53
250	0,01227	0,125	4	5,66

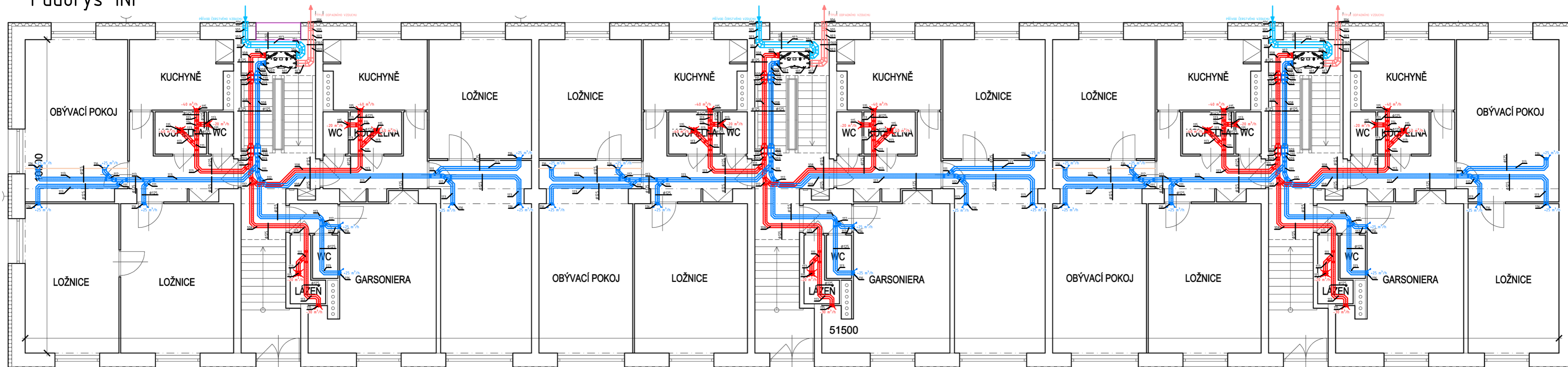
Výpočet dimenze potrubí pro 2NP

Objem Q [m ³ /h]	Plocha potrubí S [m ²]	DN [m]	Návrhová rychlost v1 [m/s]	Výsledná rychlost v2 [m/s]
20	0,01227	0,125	2,5	0,45
25	0,01227	0,125	2,5	0,57
30	0,01227	0,125	2,5	0,68
40	0,01227	0,125	2,5	0,90
50	0,01227	0,125	2,5	1,13
100	0,01227	0,125	4	2,27
200	0,01227	0,125	4	4,53
300	0,01227	0,125	4	6,79

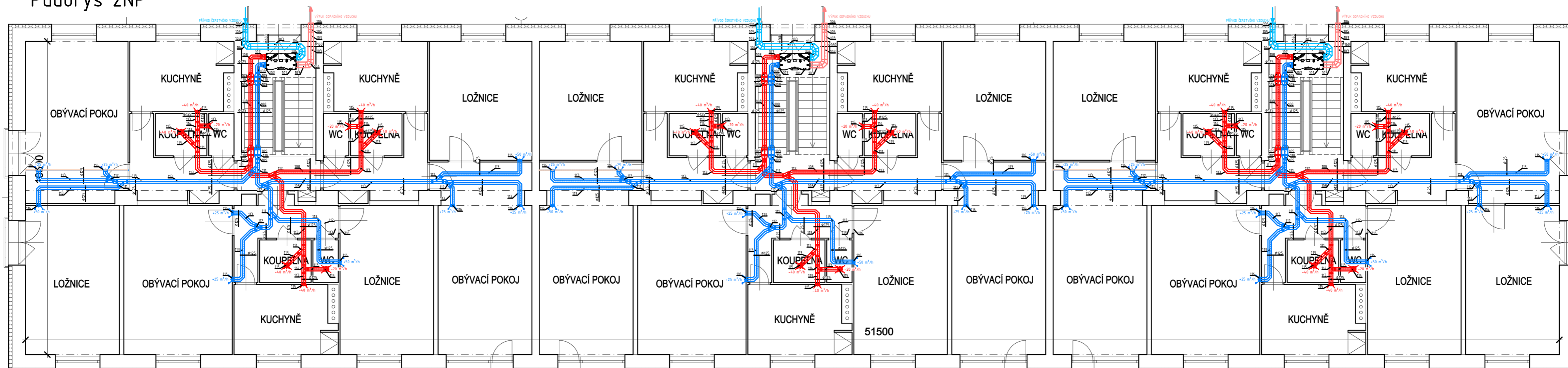
Výpočet dimenze potrubí pro 3NP a 4NP

Objem Q [m ³ /h]	Plocha potrubí S [m ²]	DN [m]	Návrhová rychlost v1 [m/s]	Výsledná rychlost v2 [m/s]
20	0,01227	0,125	2,5	0,45
25	0,01227	0,125	2,5	0,57
30	0,01227	0,125	2,5	0,68
40	0,01227	0,125	2,5	0,90
50	0,01227	0,125	2,5	1,13
100	0,01227	0,125	4	2,27
200	0,01227	0,125	4	4,53
300	0,0201	0,160	4	4,15

Půdorys 1NP



Půdorys 2NP



Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperační jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m3/h, jednotka obsahuje EC motory a předehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v podhledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperační jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m3/h, jednotka obsahuje EC motory, předehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Ploché plastové kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odtahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Ploché oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH

ROZVODŮ:



Přívodní talířový ventil
125 mm.



Odtahový talířový ventil
125 mm.

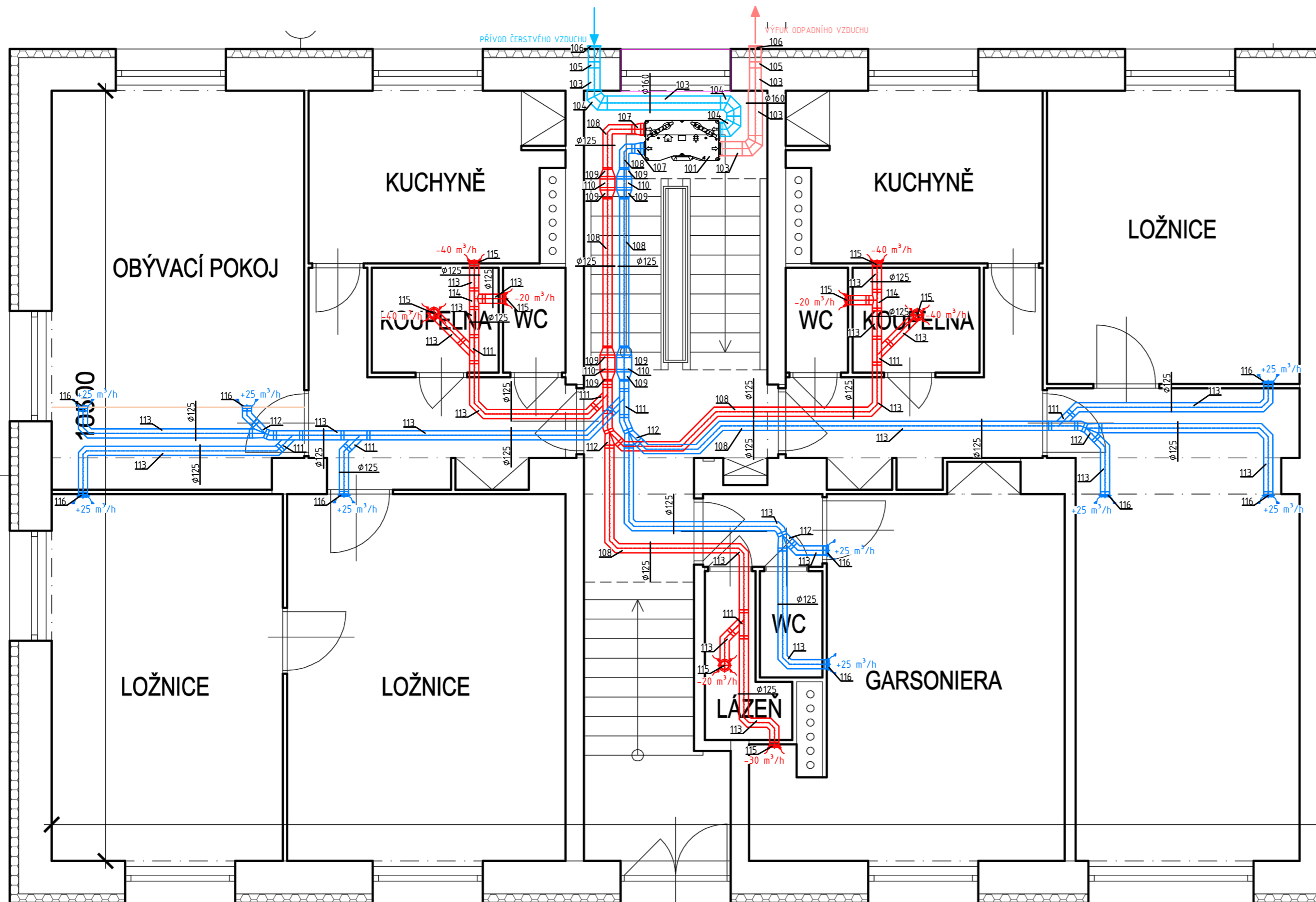
SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - 1NP A 2NP			Datum: 1/2018
			Měřítko: M 1:100
			Číslo výkresu: 1

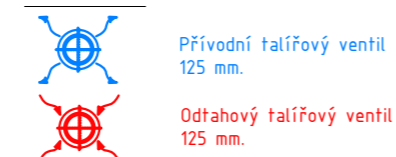


Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperační jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory a předehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v pohledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperační jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory, předehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Plochý plastový kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odfahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Plochý oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH

ROZVODŮ:



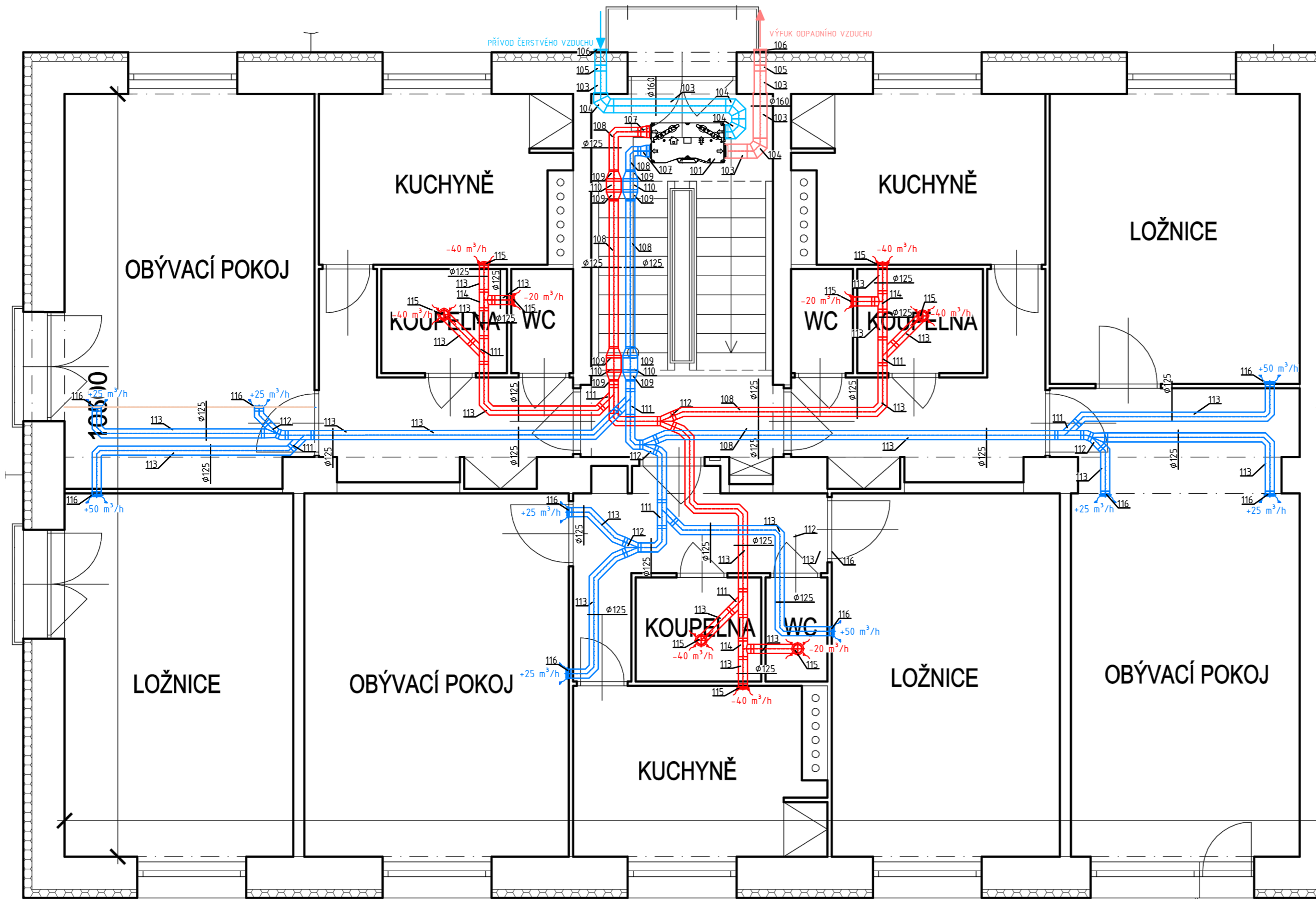
SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala:	Konzultant:	Školní rok:	FAKULTA STAVEBNÍ
Bc. Helena Švecová	Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	2017/2018	ČVUT
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			Datum: 1/2018
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - 1NP			Měřítko: M 1:50
			Číslo výkresu: 2

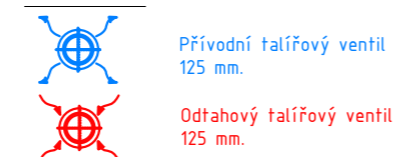


Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperační jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory a předehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v podhledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperační jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory, předehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Plochý plastový kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odfahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Plochý oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH

ROZVODŮ:



SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

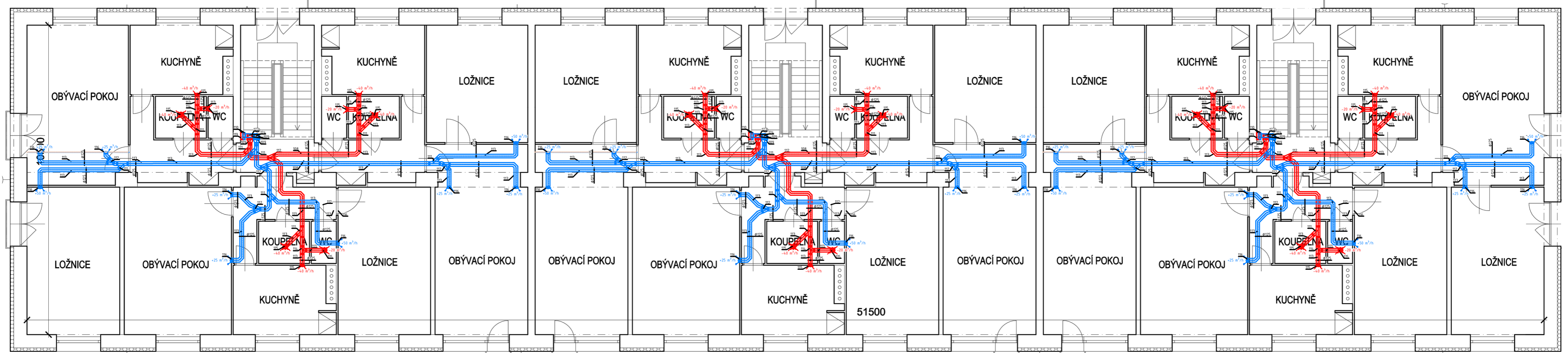
VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

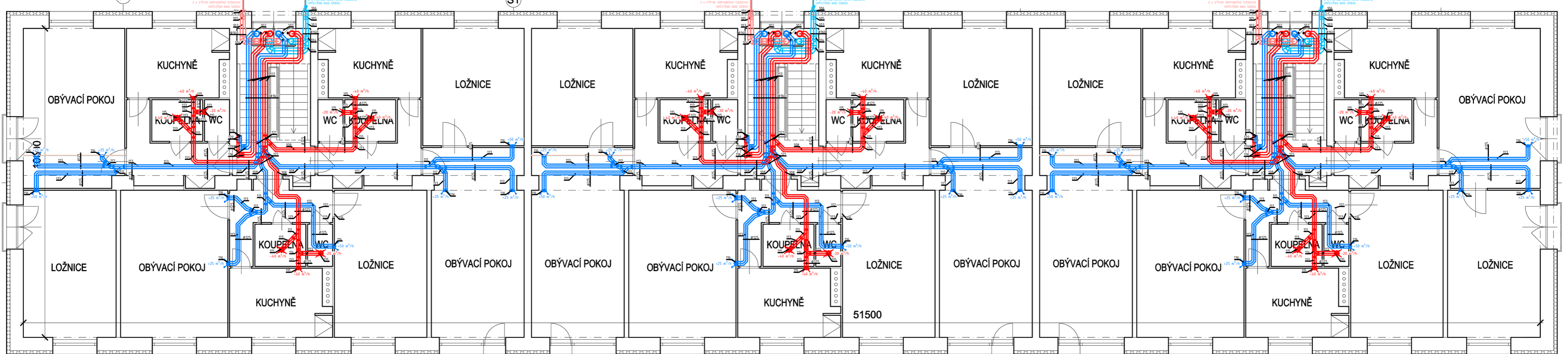
PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala:	Konzultant:	Školní rok:	FAKULTA STAVEBNÍ
Bc. Helena Švecová	Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	2017/2018	ČVUT
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			Datum: 1/2018
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - 2NP			Měřítko: M 1:50
			Číslo výkresu: 3

Půdorys 3NP





Půdorys 4NP



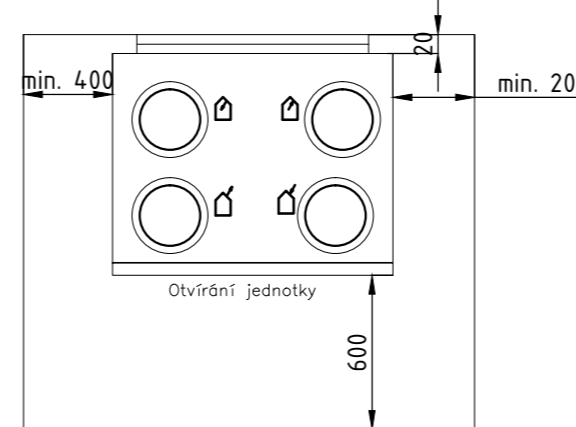
Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperační jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory a přehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v podhledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperační jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory, přehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Ploché plastové kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odtahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Ploché oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

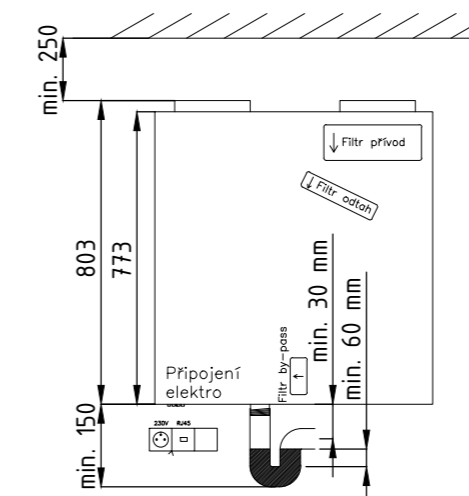
LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ:

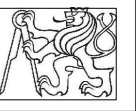
-  Přívodní talířový ventil 125 mm.
-  Odtahový talířový ventil 125 mm.
- SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.**
- VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.**
- VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI
- PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

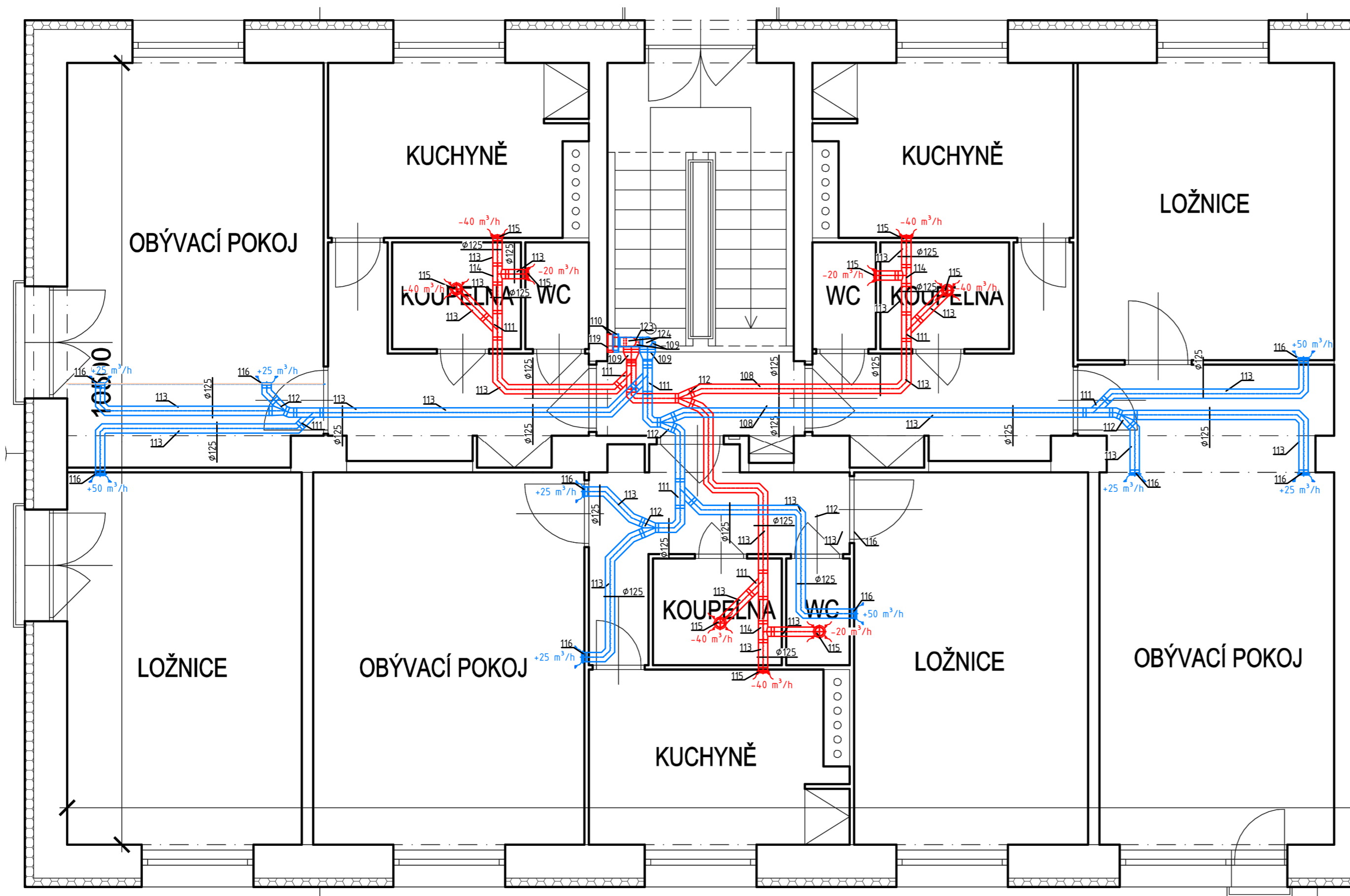
Manipulační prostor Pohled horní



Pohled čelní



Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			 ČVUT
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - 3NP A 4NP			Měřítko: M 1:100
			Číslo výkresu: 4

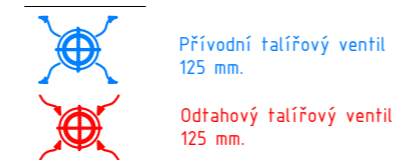


Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperační jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory a předehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v podhledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperační jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory, předehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Plochý plastový kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odfahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Plochý oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH

ROZVODŮ:



⊕ Přívodní talířový ventil 125 mm.
⊕ Odfahový talířový ventil 125 mm.

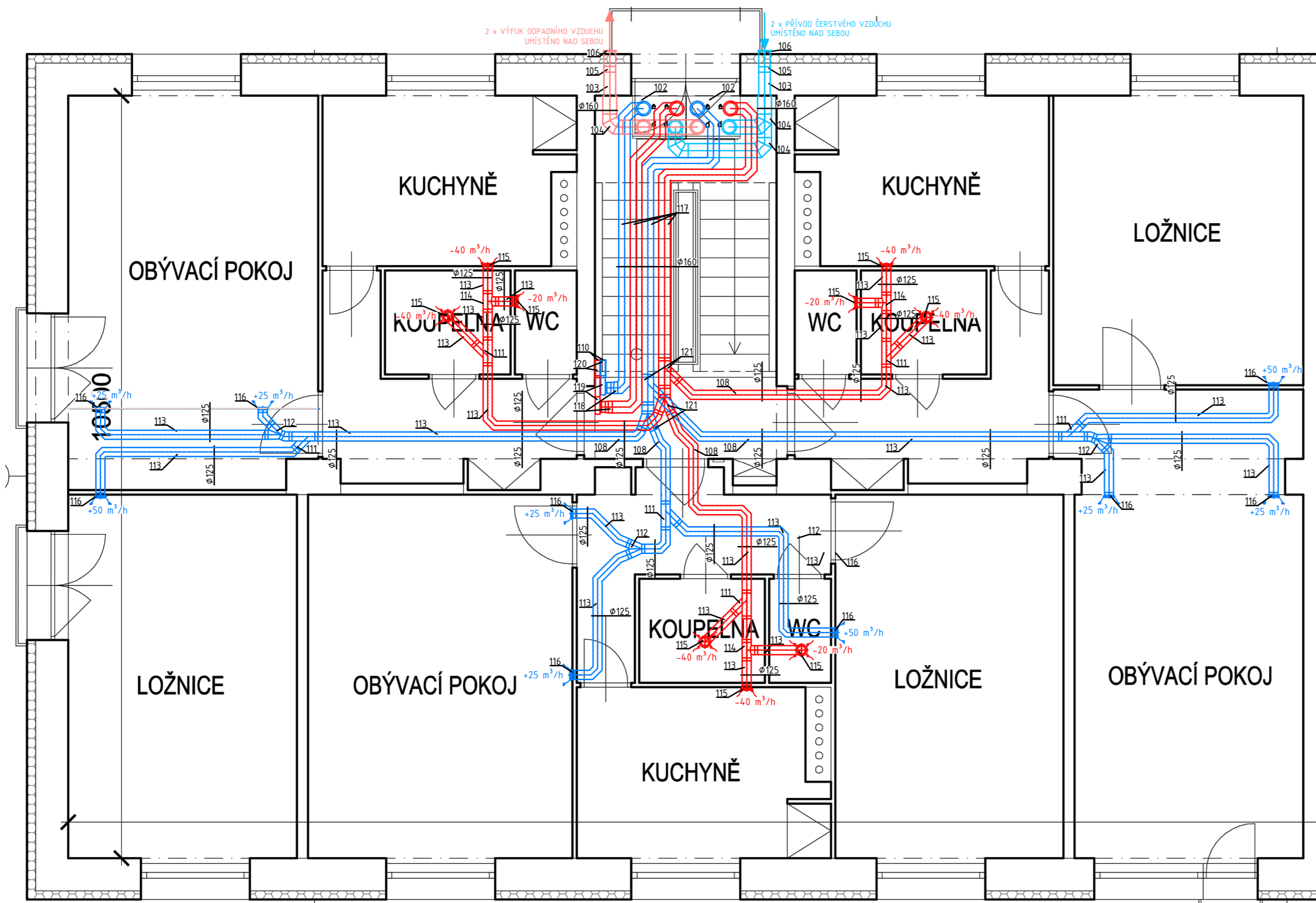
SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala:	Konzultant:	Školní rok:	FAKULTA STAVEBNÍ
Bc. Helena Švecová	Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	2017/2018	ČVUT
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			Název práce:
VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			Datum:
Název výkresu:			Měřítko:
NÁVRH VZT SYSTÉMU - 3NP			Číslo výkresu:
			5



Legenda použitých prvků

Označení	Popis prvku
101	Rekuperční jednotka Venus HRV-30EC-E-74-R, maximální výkon 315 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory a předehřev, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu, v podhledu pod jednotkou provést revizní otvor
102	Rekuperční jednotka Ventbox 400, maximální výkon 400 m ³ /h, jednotka obsahuje EC motory, předehřev a bypass, zajistit připojení k el. síti a napojení kondenzátu do odpadu
103	Izolované potrubí IsoDuct, Ø 160
104	Izolovaný oblouk IsoDuct 90°, Ø 160
105	Těsná klapka, Ø 160
106	Výfukový kus, Ø 160
107	Osový přechod 160/125
108	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 125
109	Přechod na kruhové potrubí horizontální 204x60/125
110	Plochý plastový kanál 204x60
111	Jednostranná odbočka 45° 125/125
112	Kalhotový kus 45° 125/125
113	Flexibilní potrubí s izolací tl. 25 mm, Ø 125
114	Jednostranná odbočka 90° 125/125
115	Odfahový talířový ventil, Ø 125
116	Přívodní směrová dýza, Ø 125
117	Flexibilní potrubí s izolací tl. 50 mm, Ø 160
118	Osový přechod 160/150
119	Přechod na kruhové potrubí vertikální 204x60/150
120	Plochý oblouk horizontální 90°, 204x60
121	Jednostranná odbočka 45° 160/125
122	Kalhotový kus 45° 125/125

LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ:

ROZVODŮ:



Přívodní talířový ventil
125 mm.
Odfahový talířový ventil
125 mm.

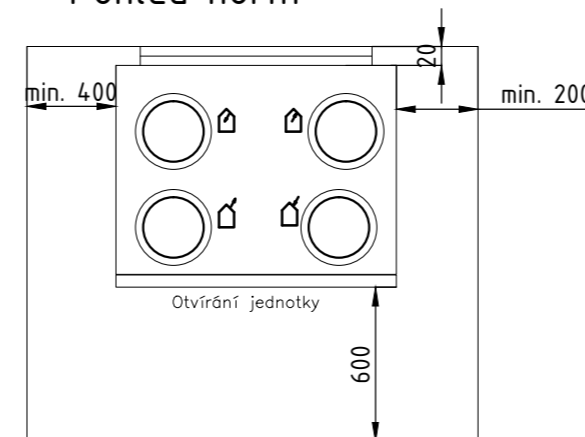
SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

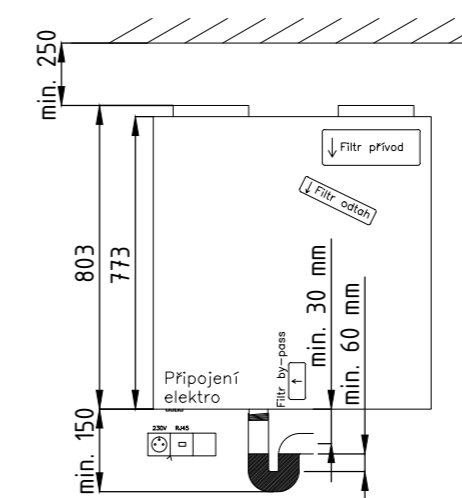
VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

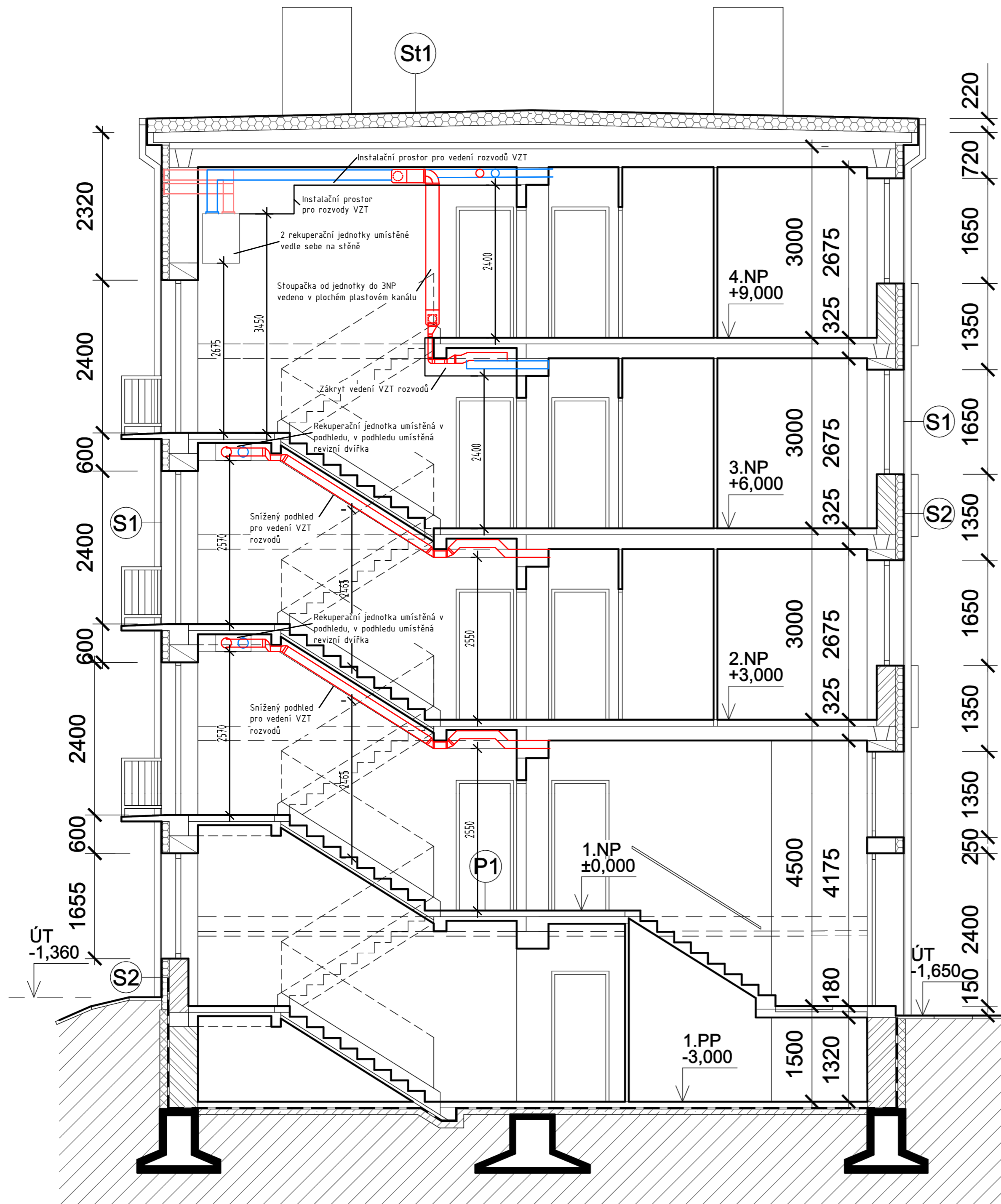
Manipulační prostor Pohled horní





Pohled čelní



Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE – KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			ČVUT
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			Datum: 1/2018
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU – 4NP			Měřítko: M 1:50
			Číslo výkresu: 6



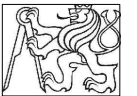
LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ:

-  Přívodní talířový ventil 125 mm.
-  Odťahový talířový ventil 125 mm.

SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.
VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

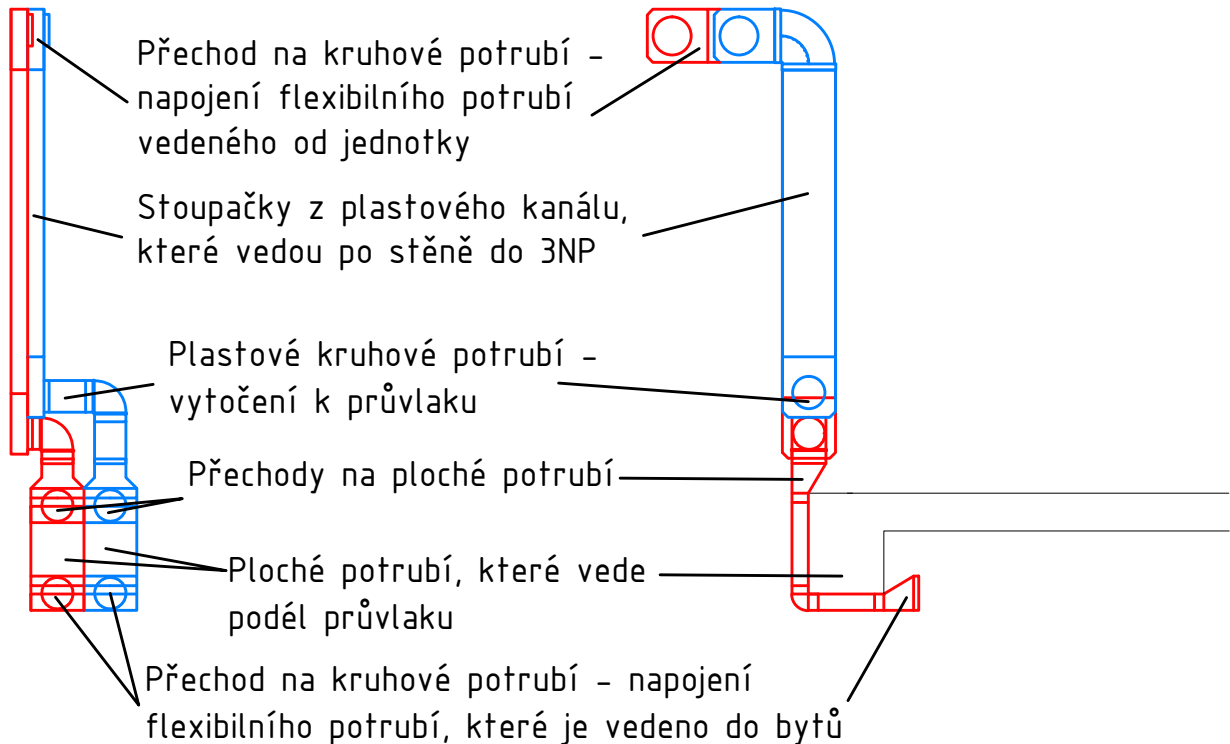
PROSTUPY SKRZ STOPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			 ČVUT
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - SCHEMATICKÝ ŘEZ			Měřítko: M 1:50
			Číslo výkresu: 7

Stoupačka od jednotky umístěné ve 4NP do 3NP

Pohled na stoupačku z boku

Pohled na stoupačku zepředu



LEGENDA ZNAČENÍ VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ:



Přívodní talířový ventil
125 mm.

Odťahový talířový ventil
125 mm.

SÁNÍ ČERSTVÉHO VZDUCHU EXT.

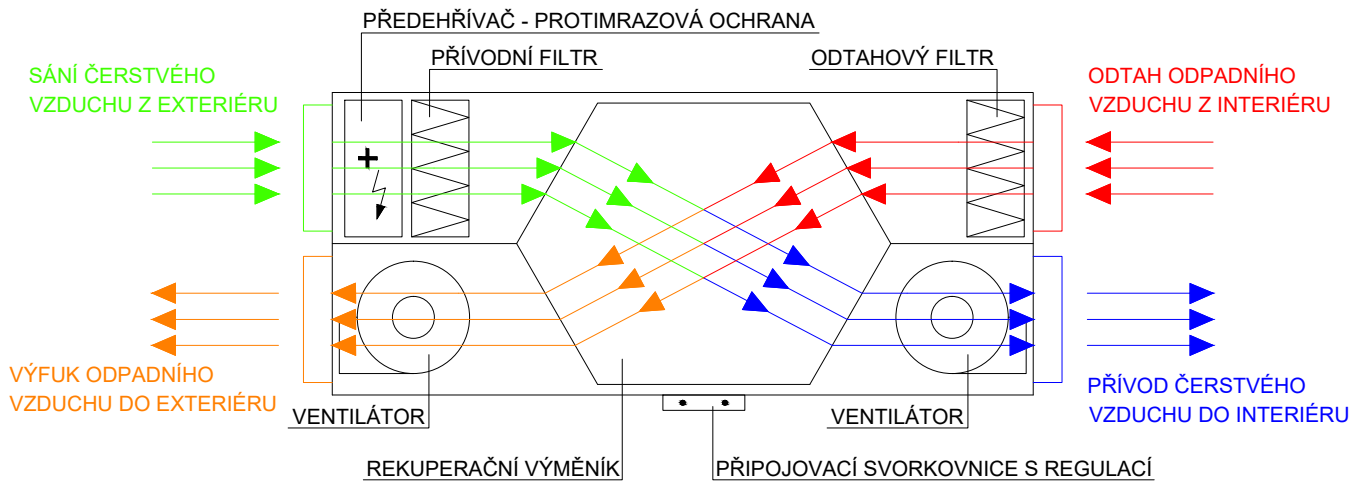
VÝFUK ZNEČIŠTĚNÉHO VZDUCHU EXT.

VŠECHNY VNITŘNÍ DVEŘE ŘEŠIT BEZ PRAHU S MIN. 8mm MEZEROU PODE DVEŘMI

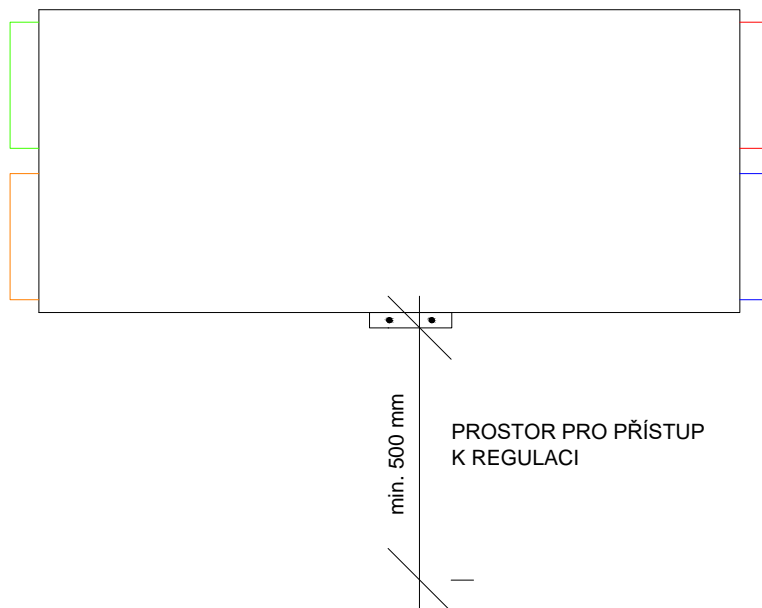
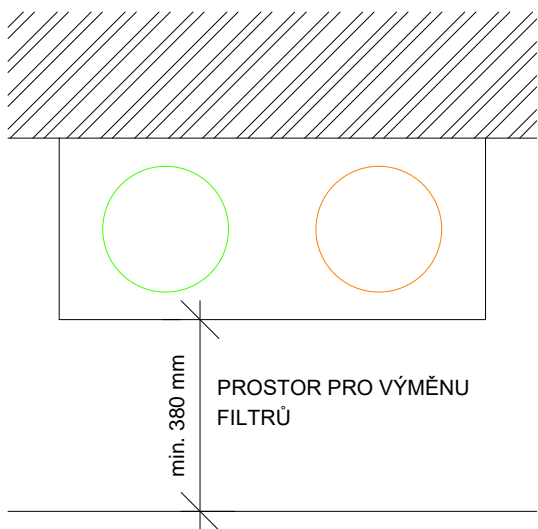
PROSTUPY SKRZ STROPNÍ NEBO STĚNOVÉ KONSTRUKCE JE NUTNO PŘIPRAVIT PŘED MONTÁŽÍ VZT

Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ	
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			ČVUT	
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ				
Název výkresu: NÁVRH VZT SYSTÉMU - STOUPAČKA			Měřítko:	M 1:30
			Číslo výkresu:	8

SCHÉMA REKUPERAČNÍ JEDNOTKY

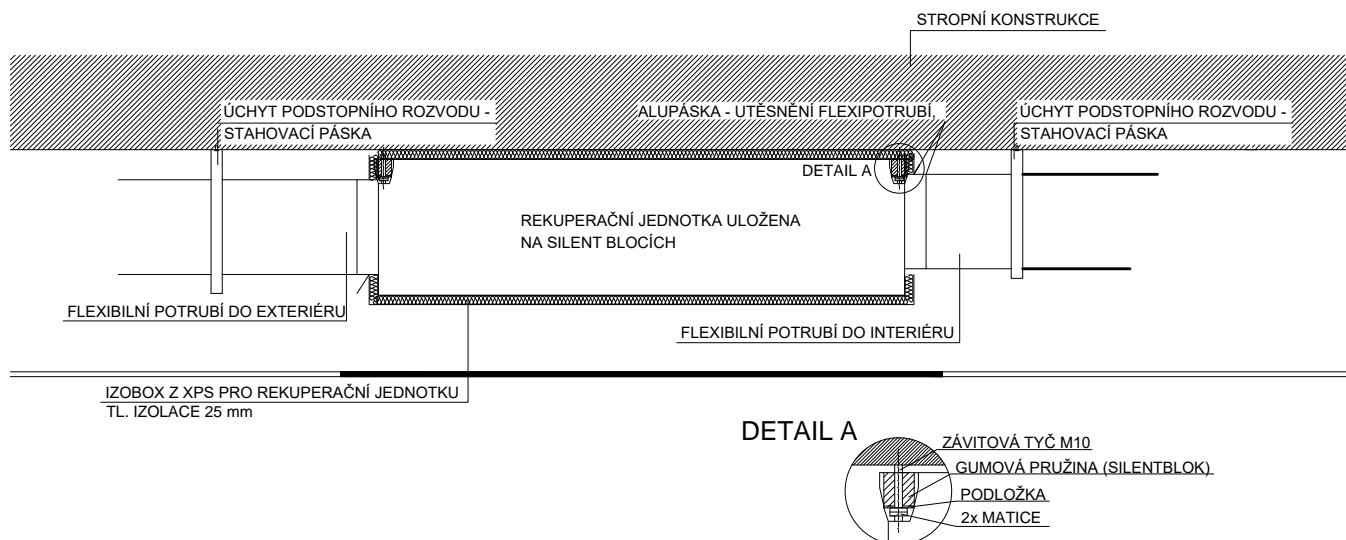


INSTALAČNÍ PROSTOR

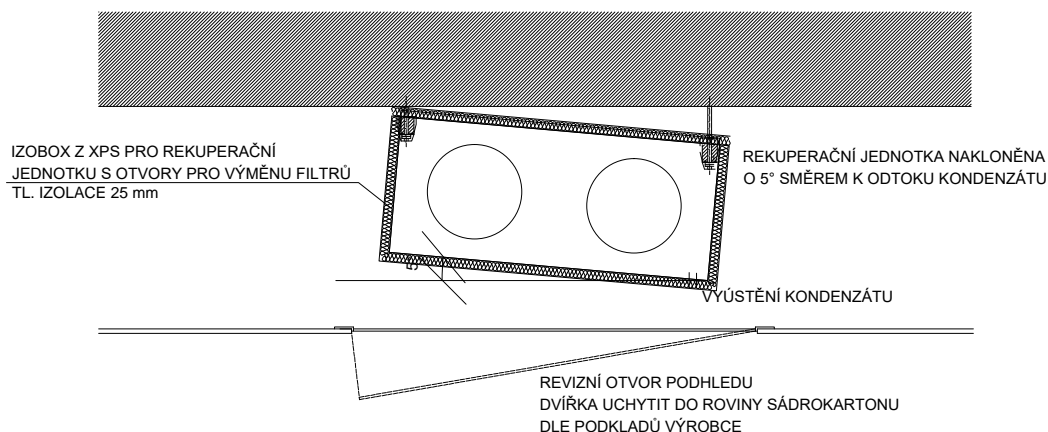


Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ	
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV				
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ				
Název výkresu: SCHÉMA REKUPERAČNÍ JEDNOTKY			Měřítko:	
			Číslo výkresu:	9

DETAIL NAPOJENÍ POTRUBÍ NA JEDNOTKU

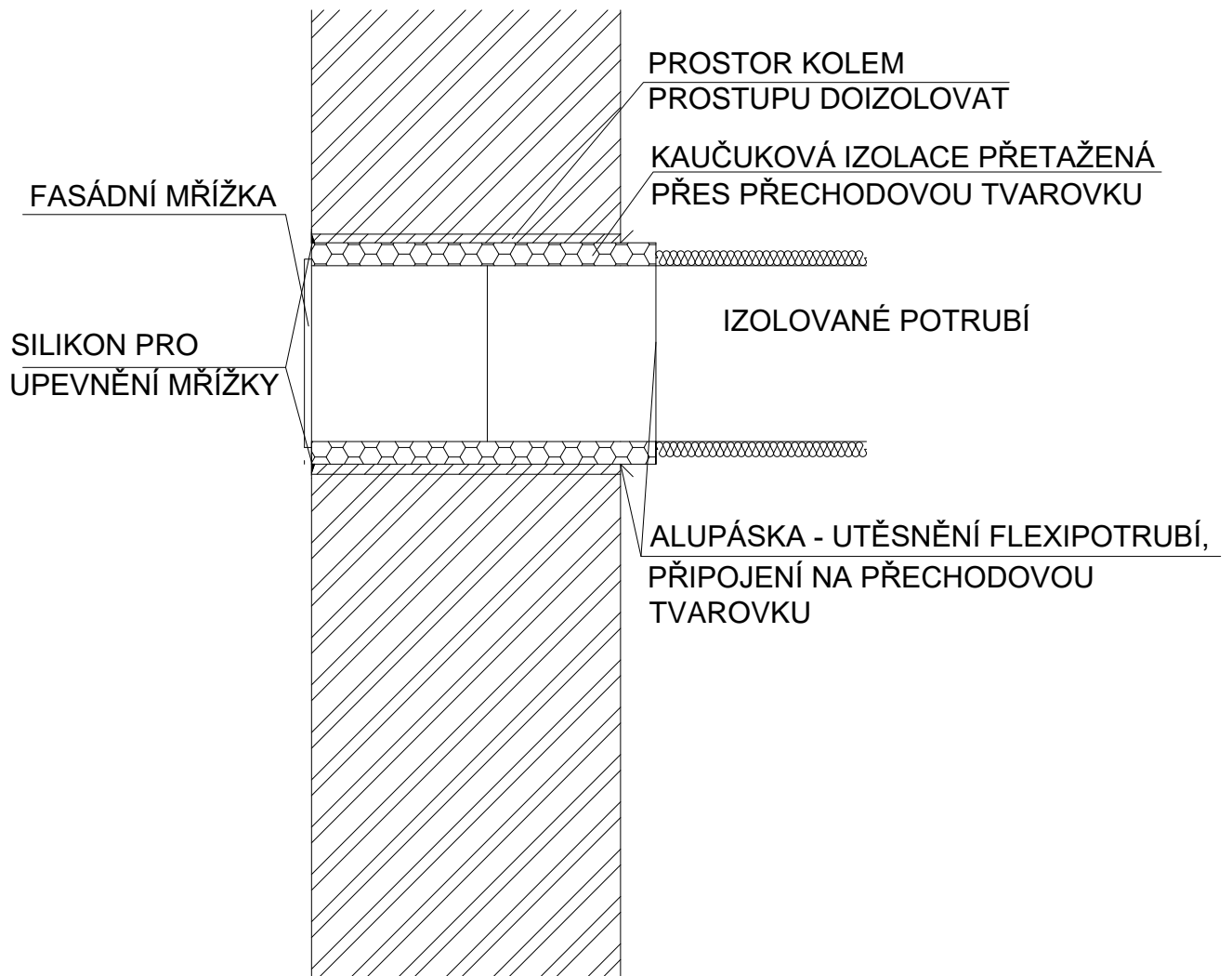


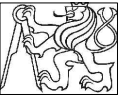
DETAIL REVIZNÍHO OTVORU



Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ	
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV				
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ				
Název výkresu: DETAIL NAPOJENÍ JEDNOTKY A REVIZNÍHO OTVORU			Měřítko:	
			Číslo výkresu:	10

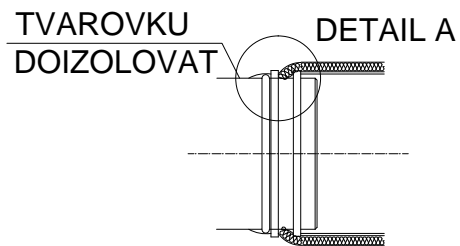
DETAIL PROSTUPU FASÁDOU



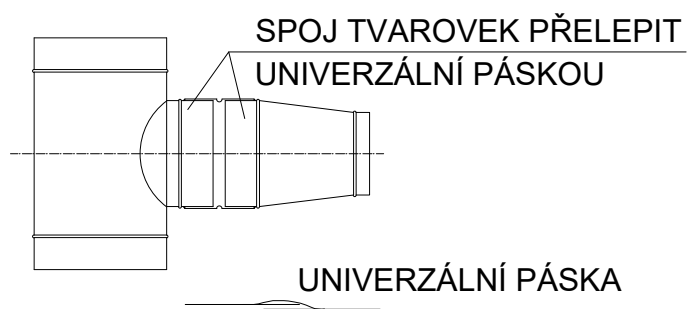
Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ	
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			ČVUT 	
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ				Datum:
Název výkresu: DETAIL PROSTUPU FASÁDOU			Měřítko:	
			Číslo výkresu:	11

DETAILY SPOJŮ

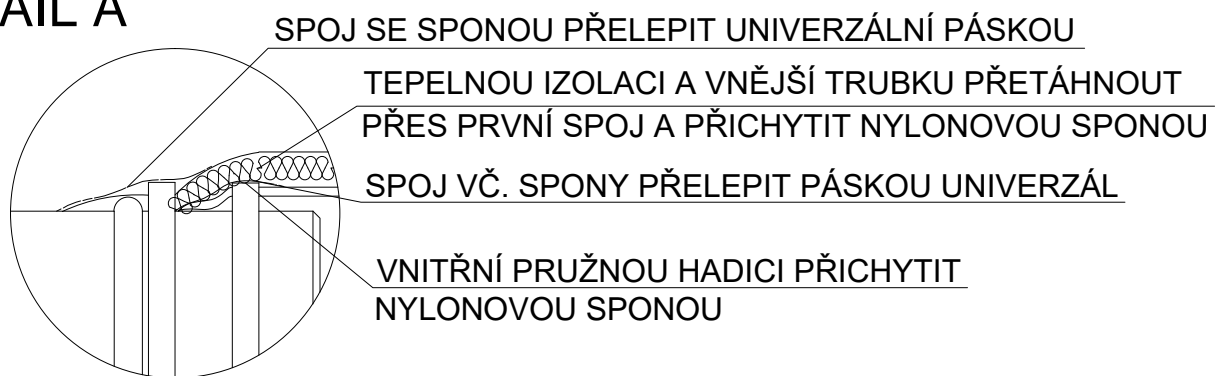
SPOJ HADICE + TVAROVKA




SPOJ TVAROVKA + TVAROVKA

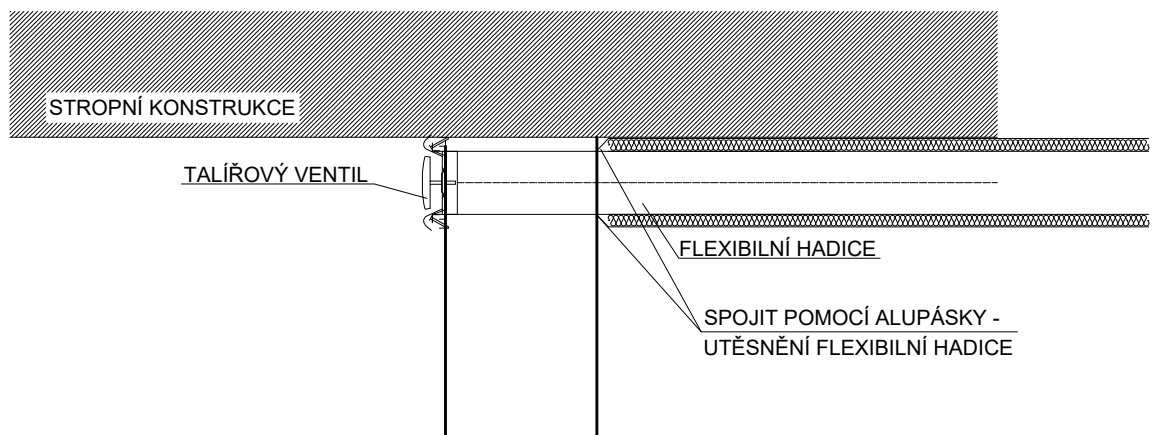
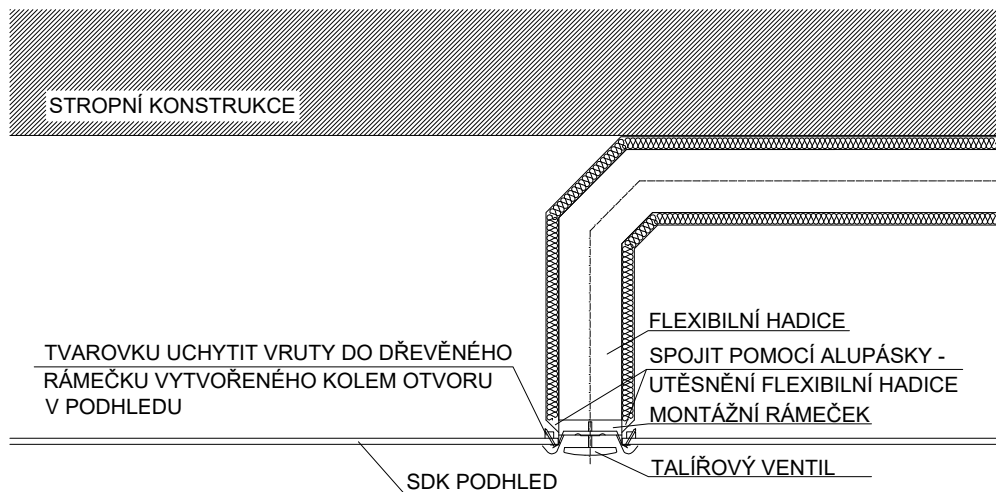


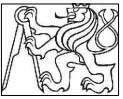
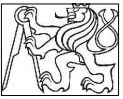
DETAIL A



Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV			ČVUT 
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ			
Název výkresu: DETAILY SPOJŮ			Datum: 1/2018
			Měřítko:
			Číslo výkresu: 12

DETAIL PŘIPOJENÍ TALÍŘOVÉHO VENTILU



Zpracovala: Bc. Helena Švecová	Konzultant: Ing. Ilona Koubková, Ph.D.	Školní rok: 2017/2018	FAKULTA STAVEBNÍ	
DIPLOMOVÁ PRÁCE - KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV				
Název práce: VĚTRÁNÍ V BYTOVÉM DOMĚ				
Název výkresu: DETAILY NAPOJENÍ VENTILŮ			Měřítko:	
			Číslo výkresu:	13