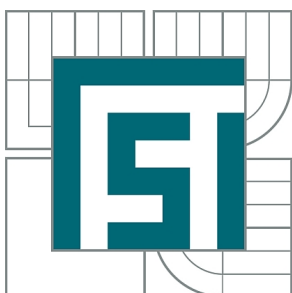




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

TEPLOVZDUŠNÝ VYTÁPĚCÍ A VĚTRACÍ SYSTÉM PRO NÍZKOENERGETICKÝ RODINNÝ DŮM

WARM-AIR HEATING AND VENTILATING SYSTEM FOR LOW-ENERGY FAMILY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ZDENĚK MUSIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MICHAL JAROŠ, Dr.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Zdeněk Musil

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

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

Teplovzdušný vytápěcí a větrací systém pro nízkoenergetický rodinný dům

v anglickém jazyce:

Warm-air heating and ventilating system for low-energy family house

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současné projekty rodinných domů často využívají výhodné propojení vytápěcího a větracího systému v jeden celek. Podmínkou teplovzdušného vytápění jsou však dostatečně nízké tepelné ztráty budovy, které umožní jejich pokrytí přívodem teplého vzduchu o přijatelné teplotě. Použití rekuperace tepla z odpadního vzduchu dále snižuje spotřebu tepla na vytápění a větrání.

Cíle diplomové práce:

Navrhněte teplovzdušný vytápěcí/větrací systém pro vybraný nízkoenergetický rodinný dům. Na základě provedené studie zvažte jeho doplnění dalším vytápěcím systémem (podlahové vytápění, krb nebo krbová kamna apod.). Porovnejte výhody a nevýhody zvoleného řešení oproti klasickým vytápěcím systémům a zhodnoťte ekonomiku provozu.

Seznam odborné literatury:

Kolektiv: Topenářská příručka, svazek 1. Praha: GAS, 2001.

Bašta, J., Drkal, F., Kotrbatý, M. Vytápění – Sálavé a teplovzdušné vytápění průmyslových a občanských staveb. Společnost pro techniku prostředí, Praha, 1998.

Filleux, Ch., Gütermann, A. Solární teplovzdušné vytápění. Ostrava: HEL, 2006.

Internetový portál TZB-info (www.tzb-info.cz).

Firemní materiály fy ATREA.

Další internetové, časopisecké a jiné zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá teplovzdušným vytápěcím a větracím systémem energeticky úsporného rodinného domu. Součástí práce je teoretický úvod do problematiky nízkoenergetických a pasivních domů, větrání a vytápění. Samotný návrh vychází z platných norem a zahrnuje veškeré postupné kroky včetně výpočtu tepelného výkonu objektu a dimenzování jednotlivých částí systému. Výkresová dokumentace projektu je uvedena v přílohách.

Abstract

The diploma thesis deals with warm-air heating and ventilation system of energy-efficient family house. The part of thesis is theoretical introduction to low-energy and passive houses, ventilation and heating. The proposal itself is based on the applicable standards and includes all progressive steps, including the calculation of the thermal performance and sizing individual parts of the system. The drawing project documentation is listed in appendixes.

Klíčová slova

Nízkoenergetický dům, pasivní dům, větrání, vytápění, teplovzdušné větrání a vytápění, teplovzdušná jednotka, tepelný výkon, vzduchotechnická část otopného systému, teplovodní část otopného systému.

Keywords

Low-energy house, passive house, ventilation, heating, warm-air heating and ventilation, warm-air unit, thermal performance, HVAC part of heating system, warm-water part of heating system.

Bibliografická citace

MUSIL, Zdeněk. Teplovzdušný vytápěcí a větrací systém pro nízkoenergetický rodinný dům. Brno, 2012. 87s. Diplomová práce. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Jaroš, Dr.

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem diplomovou práci Teplovzdušný vytápěcí a větrací systém pro nízkoenergetický rodinný dům vypracoval sám bez cizí pomoci. Potřebné informace jsem čerpal z odborné literatury uvedené v seznamu, z osobních znalostí a z odborných konzultací.

V Brně dne:.....

Podpis:.....

Poděkování

Za odborné rady, užitečné připomínky a doporučení k mojí práci děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Jarošovi, Dr. a Ing. Antonínu Kolbábkovi. Dále děkuji Ing. Miroslavu Vyhňákovi za poskytnutí stavebních podkladů rodinného domu.

Obsah

1	ÚVOD	- 11 -
2	ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY	- 12 -
2.1	Obecné zásady pro energeticky úsporné budovy	- 12 -
2.2	Klasifikace budov	- 14 -
2.2.1	Nízkoenergetické a pasivní domy	- 16 -
2.2.2	Budovy s téměř nulovou spotřebou energie	- 17 -
2.2.3	Průkaz energetické náročnosti budovy	- 17 -
2.3	Metodika hodnocení rodinných domů	- 18 -
2.3.1	Vstupní údaje a výpočty	- 18 -
2.3.2	Hodnocení	- 20 -
2.4	Udržitelná výstavba budov	- 21 -
3	VĚTRÁNÍ ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV	- 22 -
3.1	Rozdělení větrání	- 23 -
3.1.1	Přirozené větrání	- 23 -
3.1.2	Nucené větrání	- 24 -
3.1.3	Hybridní větrání	- 27 -
3.2	Filtrace vzduchu	- 28 -
3.2.1	Třídění filtrů	- 28 -
3.2.2	Provedení filtrů	- 28 -
3.2.3	Sorpční filtry	- 29 -
3.3	Zařízení pro zpětné získávání tepla	- 29 -
3.3.1	Rekuperační výměníky pro ZZT	- 29 -
3.3.2	Regenerační výměníky pro ZZT	- 30 -
3.4	Zemní výměník tepla	- 31 -
3.4.1	Vzduchový ZVT	- 31 -
3.4.2	Kapalinový ZVT-s	- 32 -
4	VYTÁPĚNÍ ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV	- 34 -
4.1	Zdroje tepla a paliva pro vytápění	- 34 -
4.1.1	Fosilní paliva	- 34 -
4.1.2	Elektřina	- 34 -
4.1.3	Biomasa	- 35 -
4.1.4	Solární energie	- 35 -
4.1.5	Tepelné čerpadlo	- 36 -
4.2	Teplovodní vytápění	- 37 -
4.3	Teplovzdušné vytápění	- 37 -
4.3.1	Teplovzdušný kotel	- 38 -
4.3.2	Vytápěcí a větrací jednotky	- 39 -
4.3.3	Rozvody potrubí	- 39 -

4.3.4	Systémy provozu teplovzdušného vytápění	41 -
5	INTELIGENTNÍ ŘÍZENÍ BUDOV	42 -
6	VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU OBJEKTU	43 -
6.1	Popis objektu.....	43 -
6.2	Výpočet součinitel prostupu tepla konstrukcí $U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	43 -
6.3	Výpočet tepelného výkonu objektu $\phi_{HL,i} [W]$	46 -
6.3.1	Výpočet tepelné ztráty prostupem $\phi_{T,i} [W]$	46 -
6.3.2	Výpočet tepelné ztráty větráním $\phi_{V,i} [W]$	47 -
6.3.3	Výpočet tepelné ztráty infiltrací $\phi_{V,inf,i} [W]$	48 -
6.3.4	Výpočet zátopového tepelného výkonu $\phi_{RH,i} [W]$	48 -
6.4	Posouzení energetického standardu budovy	49 -
7	NÁVRH TEPELVZDUŠNÉ ČÁSTI SYSTÉMU	52 -
7.1	Stanovení množství větracího a vytápěcího vzduchu.....	52 -
7.1.1	Dimenzování množství přiváděného vzduchu.....	55 -
7.2	Dimenzování množství odváděného vzduchu	55 -
7.3	Návrh větracího systému kuchyně.....	56 -
7.4	Výpočet zemního výměníku tepla	57 -
7.5	Návrh potrubní sítě vzduchotechnického potrubí.....	58 -
7.5.1	Přívodní potrubí	58 -
7.5.2	Potrubní rozvod odpadního, čerstvého a cirkulačního vzduchu.....	59 -
7.5.3	Tlakové ztráty VZT potrubí	59 -
7.5.4	Návrh ventilátorů	60 -
8	NÁVRH TEPELOVODNÍ ČÁSTI SYSTÉMU	62 -
8.1	Zdroj tepla	62 -
8.2	Akumulační nádoba	62 -
8.3	Podlahové vytápění	63 -
8.4	Rozvody teplovodního potrubí ve strojovně.....	66 -
8.5	Návrh oběhových čerpadel teplovodního systému.....	68 -
8.6	Návrh pojistného ventilu	69 -
8.7	Návrh expanzní nádoby	70 -
9	REGULACE	71 -
9.1	Provozní režimy vytápěcí a větrací jednotky	71 -

9.2	Regulace kotlů Vaillant	- 71 -
9.3	Společná regulace systému	- 71 -
10	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROVOZU	- 73 -
11	ZÁVĚR	- 75 -
12	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 77 -
13	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A JEDNOTEK	- 81 -
14	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 85 -
15	SEZNAM TABULEK	- 86 -
16	SEZNAM PŘÍLOH	- 87 -

1 Úvod

V celé historii lidstva bylo obydlí pro člověka pevným bodem, kde hledal útočiště a ochranu před hrozbami z venkovního prostředí. S přibývajícím časem, který lidé ve svých obydlích trávili, rostla snaha o zajištění příjemného vnitřního prostředí a lidé hledali možnosti, jak ho zajistit a minimalizovat přitom přísun potřebné energie. V dnešní době, kdy neustále vzrůstá energetická náročnost civilizace, tráví lidé v budovách, ať už v zaměstnání nebo v domově, až 80 % veškerého svého času. Nedávná historie a v mnohých případech i současnost vykazuje obrovské plýtvání energiemi pro provoz domu a s tím související rapidní úbytek fosilních zdrojů a zhoršení životního prostředí v lokálním i globálním měřítku. Začaly se proto hledat možnosti, jak tento negativní trend společnosti zastavit.

Snaha o minimalizaci energetické náročnosti se projevila již ve starověkých civilizacích Řecka, Číny nebo u severoamerických indiánů, kde šlo především o využití energie Slunce. Obdobou těchto snah v moderní době byly v USA experimentálně vybudované tzv. „solární domy“, které akumulují sluneční energii do mohutných zásobníků. Cestu těmto pokusům MIT (Massachusetts Institute of Technology) otevřel vynález Edwarda S. Morseho – vzduchový sluneční kolektor.

První rozvoj nízkoenergetického bydlení z hlediska tepelné ochrany budovy je spojen s ropnou krizí v 70. letech 20. století. V této době se ve Švédsku začaly budovat domy s velmi tlustými izolačními vrstvami, začala se vyžadovat jejich vzduchotěsnost a vzrůstal význam mechanického větrání. Tento standard se ve zbytku Evropy začal prosazovat až ke konci století. Další vývoj a diskuze mezi švédským profesorem Adamsonem a německým zakladatelem nadace Passive-Haus Institut Wolfgangem Feistem daly vzniknout tzv. „teorii pasivního domu“. Historicky první pasivní dům byl postaven v německém Darmstadtu v roce 1991. Vzhledem k tomu, že nízkoenergetická výstavba je zajímavá nejen z hlediska kvality vnitřního prostředí a ekologie, ale také z hlediska ekonomického, začal se tento standard bydlení rozšiřovat po celém světě. V České republice byl první dům postaven v roce 2004, osvětovou činnost zajišťuje např. občanské sdružení Centrum pasivního domu nebo ekologický institut Veronica.

V teoretické části diplomové práce je podán komplexní přehled o nízkoenergetické a pasivní výstavbě (2 Energeticky úsporné budovy), možnostech větrání (3 Větrání energeticky úsporných budov), vytápění (4 Vytápění energeticky úsporných budov) a v kap. 5 Inteligentní řízení budov je nastíněna problematika inteligentních domů. Praktická část práce se věnuje samotnému návrhu teplovzdušnému vytápěcímu a větracímu systému od výpočtu tepelného výkonu budovy (6 Výpočet tepelného výkonu objektu) přes dimenzování teplovzdušné (7 Návrh teplovzdušné části systému) a teplovodní (8 Návrh teplovodní části systému) části až k nastiněnu regulace (9 Regulace) a ekonomickému porovnání s běžným systémem vytápění otopnými tělesy (10 Ekonomické zhodnocení provozu).

V teoretické části je čerpáno především z děl Othmara Humma a Jana Tywoniaka, pro vypracování praktické části byly podstatné především normy ČSN 0540, ČSN 12 831 a TNI 73 0329 a dále projekční podklady odborných firem.

- **Izolace:** V literatuře se uvádí tloušťka izolace minimálně 20 cm, záleží však na vlastnostech izolačního materiálu a také na tloušťce obvodových stěn. Přesná tloušťka izolačního materiálu se určuje výpočtem, běžně se však pohybuje okolo 30 cm u obvodových stěn a okolo 40 cm u střech. Z hlediska zaizolování je velmi podstatná naprostá eliminace tepelných mostů, kterými v mnoha stavbách uniká více tepla než samotnou konstrukcí. Je třeba kontrolovat především prostory přechodu konstrukcí a napojení oken, dveří, komínů a jiných instalačních prvků. Podle [2] lze jako izolaci použít běžně dostupné izolační materiály, především polystyrén, minerální vlnu, PUR pěny nebo také přírodní alternativy jako celulózu, dřevovláknité desky, slámu aj.
- **Solární zisky:** Při nízkoenergetické výstavbě se využívají velké zasklené plochy orientované na jih, případně na jihovýchod nebo jihozápad. Plocha okna při této orientaci by pro úsporu energie měla zabírat přibližně 30 – 40 % fasády [2]. Při větší ploše prosklení dochází zpravidla k přehřívání. Pro letní provoz je navíc důležité navržení dostatečného zastínění (např. rolety, žaluzie, příp. listnaté stromy). Důležitým faktorem je také kvalita prosklení, pro instalaci do NED se uvažují minimálně plastová okna s dvojitým zasklením a součinitelem prostupu tepla (včetně rámu) alespoň $0,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Vhodnější jsou okna s trojitým zasklením, vyplněná vzácným plynem s vysokou propustností slunečního záření. Pro maximální využití solárních zisků je účelné zajistit dostatečnou akumulaci schopnost ozářených stěn, podlahy a stropu, toho lze dosáhnout využitím masivních konstrukcí. Na obr. 2.2 je patrné orientované zasklení již realizovaného nízkoenergetického domu.



Obr. 2.2: Skutečná realizace pasivního domu [15].

- **Vzduchotěsnost:** Obálka nízkoenergetické budovy musí být co možná nejtěsnější, aby se zamezilo únikům tepla a vlhkosti. Těsnost obálky zajišťuje u masivních konstrukcí vrstva omítky bez prasklin a u dřevostaveb např. OSB desky. Nutná je také kontrola prostupů konstrukcí a utěsnění otvorů tmelem, páskou nebo vhodnou fólií. Kontrola těsnosti se provádí tzv. Blower-door testem, jenž spočívá ve vytvoření přetlaku nebo podtlaku ($+50/-50 \text{ Pa}$) v budově při současném měření hodinové výměny vzduchu. S vysokou těsností budovy téměř nedochází k infiltraci a je třeba zabezpečit dostatečnou výměnu vzduchu, nejlépe s využitím mechanického větracího systému (viz kap. 3).

- Ekologické teplo: Díky velmi nízkému tepelnému výkonu NED a PD je výběr možných zdrojů tepla poměrně široký. Snahou při návrhu zdroje je především jeho nenáročnost z hlediska životního prostředí a přijatelnost pořizovacích a provozních nákladů v závislosti na množství dodaného tepla. Vytápěním energeticky úsporných budov se blíže zabývá kap. 4.
- Teploty pro vytápění a akumulaci: Kromě akumulace sluneční energie v konstrukcích je pro vytápění energeticky úsporných budov vhodné navrhnout akumulární zařízení tepla ze zdroje. Nejčastěji tuto funkci zajišťují zásobníky tepla s akumulací do vody. Pro minimalizaci ztrát zásobníku je vhodné zvolit nižší teploty pro akumulaci a vytápění. Pro distribuci tepla do vytápěných prostorů je třeba navrhovat krátké rozvody, protože při dlouhých rozvodech se navyšuje ztrátové teplo a tím se zvyšují celkové tepelné ztráty objektu a dochází k problémům při regulaci otopného systému.
- Spotřebiče: Snižující spotřeba energie na vytápění zvyšuje podíl spotřebičů v domácnosti na celkové energetické náročnosti budovy. Doporučuje se vybavit budovu moderními, úspornými spotřebiči. Je tedy vhodné vybírat spotřebiče energetické třídy minimálně A případně A+, použití úsporných zářivek a vhodný výběr spotřebičů s trvalou spotřebou elektřiny (stand-by režim spotřebičů, bezdrátový telefon apod.).

Pro uživatele energeticky úsporných budov je bezesporu jedním z nejdůležitějších faktorů mikroklima. Vzhledem k specifčnosti nízkoenergetických staveb je třeba mikroklimatu věnovat větší pozornost než běžným stavbám. Složky mikroklimatu dle [23, 24] jsou:

- Tepelně-vlhkostní mikroklima: Problémem je především zaručení správné vlhkosti s ohledem na zdraví uživatelů, vysoká vlhkost podporuje vznik plísní, nízká vlhkost naopak způsobuje např. astma nebo vysychání sliznic.
- Mikrobiální mikroklima: Je tvořeno mikroorganismy bakterií, virů, plísní a jejich spór, jež mají negativní vliv na zdraví člověka. Nositelem mikrobů jsou nejčastěji pevné nebo kapalné aerosoly.
- Ionizační mikroklima: Spojuje se především s účinky radonu na zdraví člověka. Jako ochrana se používají plynotěsné folie pod základovou deskou budovy.
- Aerosolové mikroklima: Aerosoly mohou být pevné (prach) nebo kapalné (mlhy), pevné mohou být organického či anorganického původu. Samotné aerosoly mají negativní vliv na zdraví člověka, navíc jsou nositeli mikrobů.
- Oděrové mikroklima: Tvoří je vůně a zápachy produkované člověkem, jeho činností, zařízeními nebo součástmi stavby. Ve vysokých koncentracích mohou mít negativní vliv na zdraví obyvatel.
- Toxické mikroklima: Je tvořeno toxickými plyny s patologickými účinky na člověka. Způsobují vážné zdravotní problémy.

2.2 Klasifikace budov

Stavebně-energetické vlastnosti budovy se dle [6] hodnotí na úrovni:

- a) měrné potřeby tepla na vytápění,
- b) součinitele prostupu tepla,
- c) měrné potřeby energie na vytápění (zahrnuje vliv účinnosti otopné soustavy),

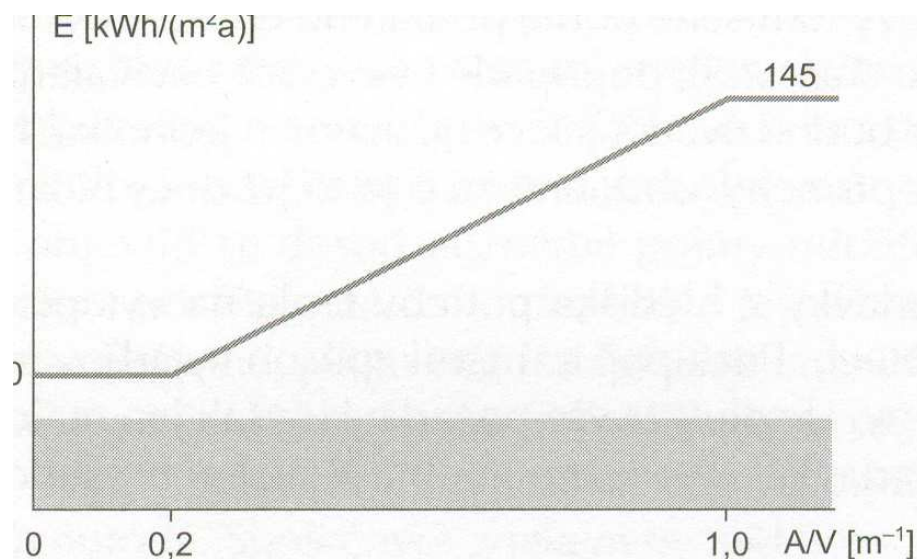
- d) měrné potřeby primární energie na vytápění,
- e) měrné potřeby energie na provoz budovy,
- f) měrné potřeby primární energie na provoz budovy,
- g) měrné ekvivalentní emise CO₂ při provozu budovy.

Jak už bylo uvedeno v úvodu kapitoly, budovy se primárně rozdělují dle měrné potřeby tepla na vytápění [3]. Je to množství tepla spotřebovaného na vytápění za rok, vztažené na 1 m² plochy vytápěné části budovy (viz tab. 2-1).

Tab. 2-1: Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění [6].

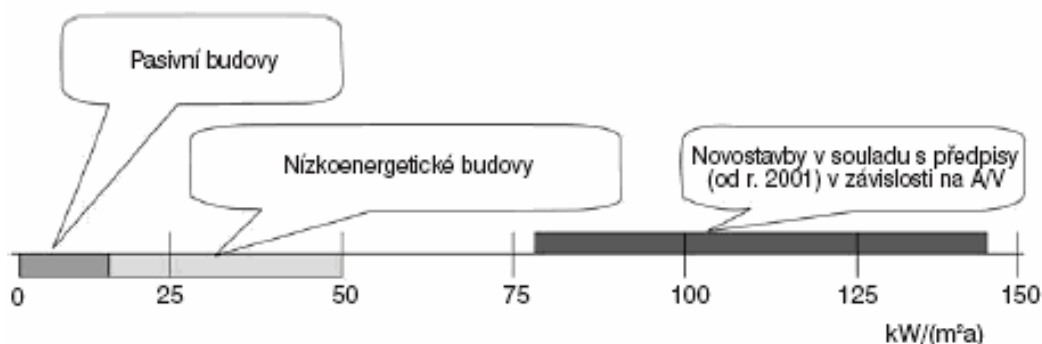
Kategorie budovy	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh·m ⁻² ·a ⁻¹]*
Starší budovy	Až dvakrát více než pro obvyklé novostavby a více
Obvyklá novostavba	80-140 (v závislosti na tvarovém faktoru A/V - viz obr. 2.3)
Nízkoenergetický dům	≤ 50
Pasivní dům	≤ 15
Dům s nulovou potřebou tepla na vytápění	< 5
Energeticky nulový dům	= 0
Dům s energetickým přebytkem	< 0
Energeticky nezávislý dům	Nelze jednoznačně stanovit, je nezávislý na obvyklém zásobování energií.

* Pozn.: Písmeno a ve fyzikálním rozměru potřeby tepla na vytápění vychází z latinské fráze „per annum“ a znamená „ročně“.



Obr. 2.3: Měrná potřeba tepla na vytápění v závislosti na faktoru A/V [8].

Z tabulky vyplývá, že za energeticky úspornou budovu lze teoreticky považovat novostavbu s potřebou tepla nižší než 80 kWh·m⁻²·a⁻¹. Dle platných norem (ČSN 73 0540-2: Požadavky) se však energeticky úsporné budovy rozdělují až od hodnoty 50 kWh·m⁻²·a⁻¹ na domy nízkoenergetické (dále NED), pasivní (dále PD) a úspornější. Grafické znázornění rozdělení energeticky úsporných budov je patrné z obr. 2.4.



Obr. 2.4: Zjednodušené porovnání potřeby tepla na vytápění a vymezení oblastí energeticky úsporných budov [8].

2.2.1 Nízkoenergetické a pasivní domy

Jak vyplývá z tab. 2-1, do kategorie nízkoenergetických zařazujeme domy s měrnou potřebou tepla na vytápění mezi 15 a 50 kWh·m⁻²·a⁻¹. NED jsou první budovy, které byly projektovány a realizovány tak, aby byla potřeba energie na vytápění snížena. Zdokonalením kvality obálky a eliminací tepelných mostů vznikl PD s měrnou potřebou tepla na vytápění menší nebo rovnu hodnotě 15 kWh·m⁻²·a⁻¹. NED a PD se liší pouze mírou splnění obecných zásad a požadavků pro nízkoenergetickou výstavbu. Aby dům splňoval pasivní standard, musí být podle [6] dodrženy parametry uvedené v tab. 2-2:

Tab. 2-2: Základní parametry pasivního domu a schéma certifikace [6].

Parametr	Jednotka	Požadovaná hodnota
Základní vlastnosti		
Měrná potřeba tepla na vytápění	kWh·m ⁻² ·a ⁻¹	≤ 15
Celková potřeba primární energie	kWh·m ⁻² ·a ⁻¹	≤ 120
Celková průvzdušnost n ₅₀	h ⁻¹	≤ 0,6
Certifikace		
1. Výpočet součinitele prostupu tepla	W·m ⁻² ·K ⁻¹	≤ 0,15
2. Kontrola projektové dokumentace: Konstrukce bez tepelných mostů a s velmi nízkou průvzdušností		
3. Měření celkové průvzdušnosti n ₅₀	h ⁻¹	≤ 0,6
4. Výpočet potřeby tepla na vytápění	kWh·m ⁻² ·a ⁻¹	≤ 15
5. Výpočet měrného příkonu tepla	W·m ⁻²	≤ 10
6. Kontrola projektové dokumentace: Zajištění pohody prostředí větráním		
7. Výpočet zajištění pohody prostředí v letním období		
8. Hodnocení efektivity přípravy teplé vody		
9. Výpočet roční energetické účinnosti zásobování teplem		
10. Výpočet celkové potřeby primární energie	kWh·m ⁻² ·a ⁻¹	≤ 120

Celková potřeba primární energie udává potřebu primární energie nejen na vytápění, ale dále na ohřev TV, větrání, chlazení, elektrospotřebiče a osvětlení ve stejném rozměru jako měrná potřeba tepla na vytápění. Celková neprůvzdušnost udává intenzitu výměny vzduchu v objektu při tlakovém rozdílu ±50 Pa. Měrný tepelný výkon udává, jaký musí být příkon zdroje pro vytápění vztážený k ploše vytápěného objektu. Tento parametr se posuzuje především při teplovzdušném vytápění objektu (viz kap. 4.3).

Výstavba PD se netýká pouze střeoevropských oblastí, jejich rozšíření do prostředí s odlišnými klimatickými podmínkami je spojeno s odlišnými požadavky na vlastnosti budovy. Často je nezbytné např. chlazení objektu, je tedy nutné upravit definice a metodiku výpočtu.

2.2.2 Budovy s téměř nulovou spotřebou energie

Domy s tímto standardem mají měrnou spotřebu energie blízkou nule. Tohoto lze dosáhnout pouze při mimořádně vhodných podmínkách, proto se objevují jen zřídka. Pro tyto domy jsou takřka nezbytné fotovoltaické panely, které vyrábějí elektřinu, případně solární kolektory pro vytápění nebo ohřev teplé vody. K provozu takovýchto domů je oproti NED a PD nutná nákladnější a modernější technologie.

Pokud dodává fotovoltaika více energie než nulový dům spotřebuje, jedná se o dům s přebytkem energie nebo také „aktivní“ nebo „plusový“ dům (nutné velkoplošné fotovoltaické systémy). Tyto budovy jsou schopny dodávat elektrickou energii do rozvodné sítě.

Nulové a plusové domy se vyskytují převážně jako experimentální stavby, v České republice zatím takový dům postaven nebyl. Energeticky nezávislý dům si produkuje energii na provoz zcela sám, stavba tohoto typu budovy má smysl v místech bez obvyklých energetických sítí (např. v extrémních vysokohorských podmínkách). Tato práce se těmito budovami dále nebude zabývat.

2.2.3 Průkaz energetické náročnosti budovy

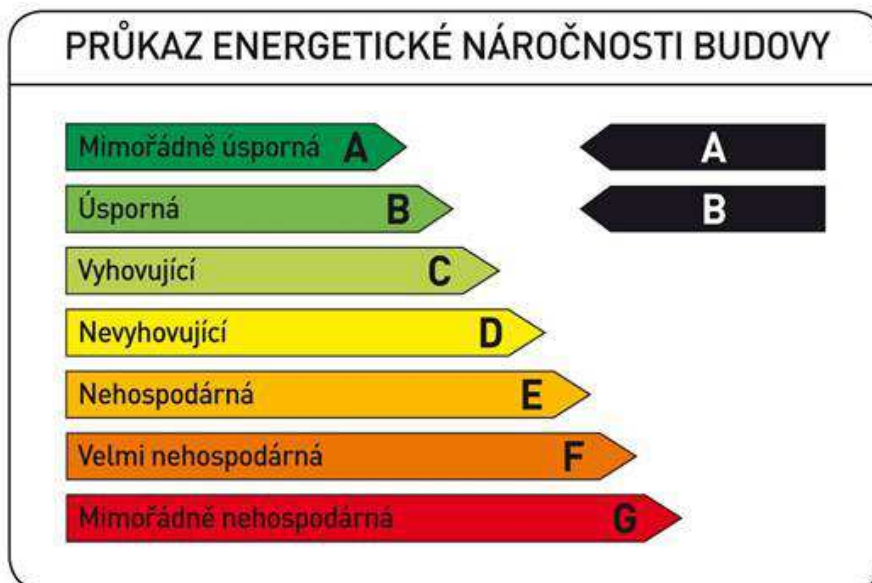
Pomocí měrné spotřeby dodané energie se budovy zařazují do příslušné třídy energetické náročnosti [4]. Měrná spotřeba dodané energie se vztahuje na jednotku užité plochy a rozumí se jí celková potřeba energie (včetně účinnosti s jakou je tato potřeba kryta) a pomocná energie, kterou spotřebovávají systémy kryjící tuto potřebu.

Energie dodaná do budovy je tedy měřítkem, podle něhož se budovy řadí do tříd A-G, přičemž od třídy D je budova nevyhovující z pohledu vyhlášky 148/2007Sb. Referenční hodnoty se uvádí pro třídu energetické náročnosti C. V tab. 2-3 je uvedeno rozdělení do tříd pro rodinný a bytový dům. Hodnoty měrné spotřeby energie jsou uváděny v $kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$.

Tab. 2-3: Klasifikační třídy energetické náročnosti některých budov podle vyhlášky 148/2007Sb. [4].

Druh budovy	A	B	C	D	E	F	G
Rodinný dům	< 51	51 - 97	98 - 142	143 - 191	192 - 240	241 - 286	> 286
Bytový dům	< 43	43 - 82	83 - 120	121 - 162	163 - 205	206 - 245	> 245

Z tab. 2-3 jasně vyplývá, že každý dům splňující parametry nízkoenergetického standardu je zařazen do energetické třídy A. Na obr. 2.5 lze vidět příklad průkazu energetické náročnosti budovy [16].



Obr. 2.5: Průkaz energetické náročnosti budovy [16].

2.3 Metodika hodnocení rodinných domů

V roce 2008 byla sestavena jednoduchá metodika pro hodnocení rodinných domů s nízkou energetickou náročností (označována jako Metodika), jejímž cílem bylo sestavení souboru vstupních podmínek a pravidel podle technických norem tak, aby výpočty provedené více zpracovateli nemohly vést k výrazně odlišným výsledkům [6]. Metodika se zabývá hodnocením rodinných domů pro jejich společenskou poptávku. Provoz v RD se navíc lépe předpovídá než je tomu u komerčně využívaných budov. Metodika je pro hodnocení budov s jiným účelem než je rodinné bydlení nevhodná, stejně tak je nevhodná pro budovy s vyšší energetickou náročností. V zahraničí se pro návrh PD užívá nejčastěji nástroj PHPP, což je výpočetní nástroj na bázi MS Excel.

2.3.1 Vstupní údaje a výpočty

Hodnocení dle Metodiky vychází jednak ze vstupních údajů, jednak ze základních výpočtů. Základními vstupními údaji jsou plochy a objemy v objektu, klimatické podmínky, výměna vzduchu a vnitřní tepelné zisky. Plochy a objemy se stanoví na základě projektové dokumentace objektu, stanovení ploch se řídí platnými normami, v zásadě však platí započítávání vnějších rozměrů a konstrukčních výšek podlaží. Podobné podmínky platí i pro výpočet objemu budovy, vzduchový objem se naopak počítá z vnitřních rozměrů a světlých výšek. Vstupní klimatické podmínky jsou odlišné pro každou lokalitu, vzhledem k tomu, že ne vždy jsou podmínky pro danou lokalitu dostupné či aktuální, využívají se jednotná data, která se co nejvíce přibližují konkrétním podmínkám v dané lokalitě. Dalším vstupním údajem je odhad vnitřních tepelných zisků, především metabolického tepla od osob a tepla uvolňovaného do prostoru při provozu spotřebičů a zařízení pro osvětlení. Větrání musí být zajištěno celoročně, v otopném období se uvažuje 25 m^3 na přítomnou osobu za hodinu.

Hlavní veličinou počítanou pro hodnocení dle Metodiky je součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]. Jeho hodnoty se stanovují dle ČSN EN 12 831 pro různé konstrukce a z této hodnoty se dále vypočítává měrná ztráta prostupem H_T [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]. Z hodnot

součinitele prostupu tepla U se podle ČSN 73 0540:4 stanoví střední hodnota součinitele prostupu tepla U_{em} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]. Dalším vypočítaným parametrem je již zmíněná měrná potřeba na vytápění E_A [$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$]. Potřeba tepla na přípravu teplé vody se uvažuje jednotnou hodnotou $550 kWh$ na osobu za rok. Jedná se o smluvní hodnotu, která odpovídá hodnotě skutečné pouze přibližně. Další smluvní jednotnou hodnotou je potřeba elektrické energie na domácí spotřebiče a umělé osvětlení stanovená na hodnotu $800 kWh$ na osobu za rok. Elektrická energie sloužící pro zařízení zajišťující provoz domu (čerpadla, ventilátory, apod.) se jednotně uvažuje o hodnotě $800 kWh$ za rok bez ohledu na druh otopné soustavy.

Pro hodnocení stavby dle Metodiky je nezbytné vypočítat potřebu měrné primární energie z neobnovitelných zdrojů v závislosti na využitých technických systémech. Zahnuje v sobě součet energie na vytápění, přípravu teplé vody a na provoz domovní techniky násobený faktorem energetické přeměny (tab. 2-4). Metodika také zohledňuje účinnost přeměny energie na teplo dle typu zdroje (tab. 2-5), přičemž v uvedených hodnotách je zahrnuta účinnost distribuce a vliv regulace. Zjednodušený princip výpočtu dodané energie do budovy je zobrazen na obr. 2.6.

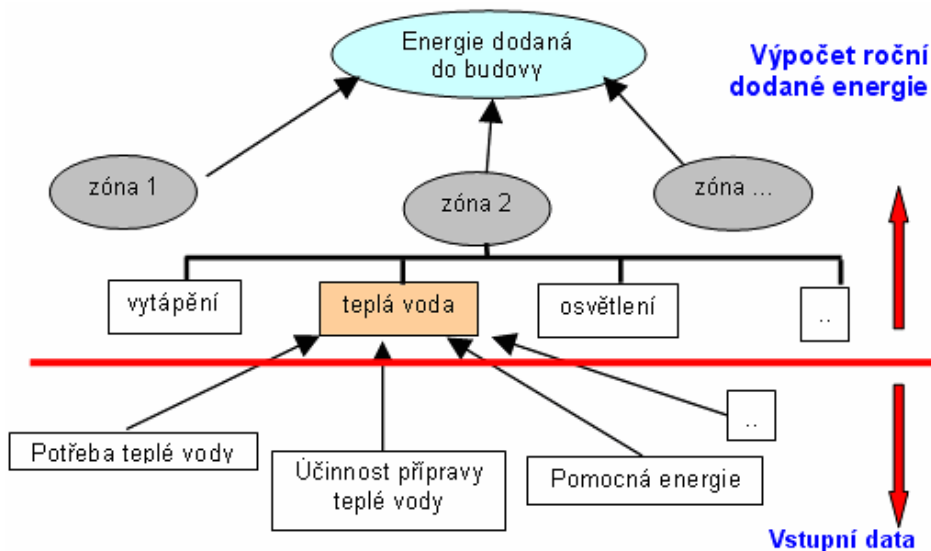
Tab. 2-4: Výpočtové hodnoty faktoru energetické přeměny pro přepočítání spotřeby energie na hodnoty primární energie [6].

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3
Dřevo a ostatní biomasa	0,05
Dřevěné peletky	0,15
Solární systémy fototermitické	0,05
Solární systémy fotovoltaické	0,2

Tab. 2-5: Výpočtová účinnost přeměny energie podle typu zdroje [6].

Typ zdroje	Celková účinnost přeměny
Kotel plynový bez modulace výkonu	0,81
Kotel plynový s modulací výkonu	0,85
Kotel plynový nízkoteplotní	0,90
Kotel plynový kondenzační	0,98
Kotel na kusové dřevo v zapojení s akumulací nádrží	0,71
Kotel na dřevěné peletky v zapojení s akumulací nádrží	0,81
Kamna na kusové dřevo	0,50
Kamna na kusové dřevo s částečným uvolňováním tepla do akumulací nádrže nebo otopného systému	0,60
Kamna na dřevěné peletky	0,70
Elektrické přímotopné panely	0,90
Elektrokotel	0,90
Elektrické akumulací vytápění	0,88
Tepelné čerpadlo s akumulátorem	0,95·COP*

* Pozn. :COP je u tepelného čerpadla označován jako topný faktor



Obr. 2.6: Zjednodušený princip výpočtu energie dodané do budovy [17].

2.3.2 Hodnocení

Soubor hodnocených veličin se zaznamenává do přehledné tabulky pro hodnocení rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností. Veličiny jsou označovány číslem požadavku 1 až 7. Tabulka pro hodnocení je zobrazena v příloze 1. Pro zatřídění do kategorie NED je dle Metodiky třeba splnit požadavky 2, 5 a požadavek 6 v hodnotě do $50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (požadavek 6 hodnotí měrnou potřebu tepla na vytápění, mezní hodnota $50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ je tedy stejná jako v tab. 2-1). Požadavky 1a, 1b, 3 a 4 jsou doporučené a požadavek 7 se nehodnotí. Jako PD lze dle Metodiky označit dům, který splňuje všechny požadavky a hodnotu měrné potřeby tepla na vytápění má nejvýše $20 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla U pro požadavek 1 jsou uvedeny v příloze 2. Tyto hodnoty jsou převzaty z normy ČSN 73 0540:2 [37]. NED a PD se dle [6] dále zařazují do tříd podle měrné potřeby tepla na vytápění (viz tab. 2-6).

Tab. 2-6: Třídy PD a NED v závislosti na měrné potřebě tepla na vytápění [6].

Měrná potřeba tepla na vytápění [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$]	Třída
≤ 10	10
(10 – 12)	12
(12 – 14)	14
(14 – 16)	16
(16 – 18)	18
(18 – 20)	20
(20 – 25)	25
(25 – 30)	30
(30 – 35)	35
(35 – 40)	40
(40 – 45)	45
(45 – 50)	50

Označení třídy je tedy stejné jako horní hranice intervalu měrné potřeby tepla na vytápění. Hodnocené domy jsou v závislosti na výsledcích Metodiky označovány PARD (PD), NERD (NED) a číslem třídy. V případě, že je alespoň polovina ročního množství

energie na ohřev vody pokryta solárním systémem a měrná potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy je menší než $30 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ značení se doplní písmenem S. Nulové domy se označují písmenem N a plusové domy značkou +.

2.4 Udržitelná výstavba budov

Pojem udržitelné výstavby budov vychází z terminologie udržitelného rozvoje společnosti [8]. Souvisí se snižující se potřebou tepla na vytápění, což zvyšuje význam ostatních energetických potřeb budovy. Udržitelnost (sustainability) je odvozena z globálního pojetí rozvoje Země podle dokumentu OSN Agenda 21. Udržitelný rozvoj tedy lze chápat jako rozvoj, který uspokojuje aktuální potřeby a neomezuje přitom potřeby budoucích generací.

Výstavba a provoz budov patří mezi hlavní spotřebitele energetických a materiálových zdrojů během celého období fungování budovy [9]. V rámci EU produkují budovy během svého životního cyklu až 30 % emisí CO_2 , až 40 % všech odpadů a spotřebují cca 40% veškeré energie. Negativní dopady na životní prostředí jsou tedy velmi podstatné. Moderní přístup k udržitelnosti výstavby budov v sobě zahrnuje nejen aspekty související s životním prostředím (environmentální), ale také je spojuje s aspekty ekonomickými, sociálními a kulturními [10]:

- Environmentální aspekty: Celosvětově panuje snaha o snížení energetické náročnosti budov (podpora nízkoenergetické výstavby), která souvisí s využíváním obnovitelných zdrojů energie, efektivním využíváním materiálů (a jejich recyklací) a inteligentním řízením budov (viz kap. 5).
- Ekonomické aspekty: Z tohoto hlediska je hlavním cílem snížení nákladů na realizaci i samotný provoz budovy, aby byla budova dostupná všem potenciálním uživatelům. Lze toho docílit promyšleným návrhem a volbou materiálů. Životnost výstavby by z tohoto hlediska měla být co nejvyšší.
- Socio-kulturní aspekty: Cílem tohoto hlediska je dosažení pohody prostředí uvnitř budovy a zajištění kvalitního vnějšího prostředí v okolí budovy (včetně provozní a protipožární ochrany).

Udržitelná výstavba budov je tedy závislá na uplatňování nových principů návrhů a použití moderních materiálů a technologií, při zachování architektonické a konstrukční pestrosti.

3 Větrání energeticky úsporných budov

Čistota vzduchu patří k základním a také nejdůležitějším parametrům vnitřního mikroklimatu. Přívod čerstvého vzduchu je důležitý už pro samotný zdravý pobyt v místnostech, neboť zajišťuje přísun kyslíku. Ve velké míře je důležité pro dosažení potřebné čistoty vzduchu snižování koncentrací škodlivin v něm obsažených. Hlavními producenty škodlivin jsou lidé, kteří produkují CO_2 , vodní páru a jiné. Množství lidmi vyprodukovaných škodlivin závisí na počtu přítomných osob a na druhu jejich činnosti. Dalšími významnými zdroji škodlivin jsou stavební konstrukce (např. podlahy), nábytek nebo zařízení bytu. Nejvýznamnějšími plynnými škodlivinami jsou již zmíněné CO_2 a vodní pára, dále pak uhlovodíky nebo dusík [11]. Vzduch je také často znečišťován oděry, jejichž zdrojem jsou nejčastěji kuchyně, záchody nebo opět činnost člověka (kouření cigaret, fyzická námaha aj.). Další škodlivinou ve vzduchu je prach, vznikající rozkladem organických nebo anorganických látek a nadměrné teplo, které zatěžuje cévní systém. Neopomenutelnými škodlivinami jsou také mikrobiologičtí činitelé (bakterie, viry, plísňe), které mohou způsobit zdravotní potíže (onemocnění, astma, alergie). Mikroorganismy se ve větší koncentraci vyskytují především v místnostech s velkým počtem osob, s nedostatečným větráním nebo v prostředí se špatně udržovanými teplotně-vlhkostními podmínkami. Choroboplodné zárodky nemohou ve vzduchu existovat samostatně, ale jen ve spojení s pevným nebo kapalným aerosolem jako jejich nosičem. Okrajově může být vzduch znečištěn přítomností radonu vyskytujícího se v podloží staveb.

Již takto vysoký význam větrání narůstá u dobře utěsněných NED a PD. Těsnost omezuje infiltraci do takové míry, že bez větrání by byl přísun čerstvého vzduchu do místnosti téměř nulový. Je třeba větrání věnovat dostatečnou pozornost již při návrhu a samotné realizaci stavby, důležité je také navržení vhodného množství větracího vzduchu, aby byl splněn požadovaný komfort při minimální tepelné ztrátě větráním.

Podle [8] spočívá zajištění kvalitního vnitřního vzduchu ve třech oblastech:

- omezení nebo vyloučení přítomnosti zdrojů škodlivin v interiéru, případně zamezení jejich dalšího uvolňování,
- odvod lokalizovatelných emisí škodlivin pomocí řízeného odvodu vzduchu,
- dostatečné zředění koncentrací škodlivin obsažených ve vzduchu větráním, někdy v kombinaci s filtrací čerstvého vzduchu.

Interiér se při návrhu větrání rozděluje na tři skupiny prostor:

- prostory, kam je nutné přivádět čerstvý vzduch (pobytové),
- prostory, odkud je nutné odtah škodlivin (záchod, koupelna, kuchyň),
- prostory ležící mezi výše uvedenými (chodby).

Intenzitu výměny vzduchu $n [h^{-1}]$ lze určit:

- z bilance škodlivin,
- z tepelné bilance,
- z vlhkostní bilance,
- z dávek vzduchu na osobu (doporučované pro NED a PD Hummem [1]),
- na základě doporučené výměny vzduchu,
- z dávek vzduchu na m^2 podlahové plochy,
- z průtoku místně odsávaného vzduchu.

3.1 Rozdělení větrání

Větrání lze rozdělit z různých hledisek, [11] uvádí např. rozdělení podle času větrání:

- Trvalé větrání: Výměna vzduchu probíhá kontinuálně.
- Občasné větrání: Výměna vzduchu probíhá v opakujících se časových intervalech.

Podle rozsáhlosti se větrání dále rozděluje na:

- Lokální větrání: Zdroje škodlivin jsou soustředěny do vymezeného prostoru, místně se odsávají nebo se využívá místního zavzdušnění (např. vzduchovou sprchou, clonou nebo oázou).
- Celkové větrání: Uplatňuje se v případech, kdy předem nelze určit místa vzniku škodlivin nebo pokud jsou škodliviny ve větraném prostoru rozloženy rovnoměrně.

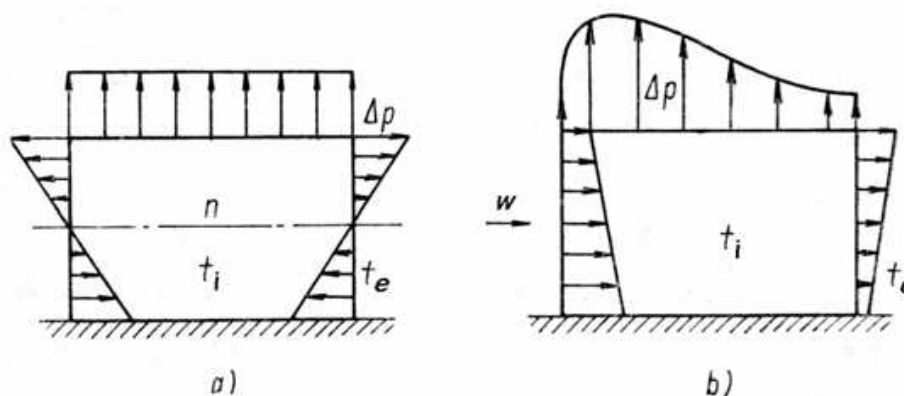
Hlavní rozdělení však vychází z mechanismu výměny vzduchu:

- Přirozené větrání: K výměně vzduchu dochází samočinně v důsledku přírodních sil.
- Nucené větrání: Výměnu vzduchu zajišťuje mechanické zařízení.
- Hybridní větrání: Výměna vzduchu je zajištěna kombinací větrání přirozeného a nuceného.

3.1.1 Přirozené větrání

Výměna vzduchu je vyvolána pouze přírodními silami (viz obr. 3.1):

- Vlivem gravitace: Proudění vzduchu je důsledek rozdílných hustot vzduchu vně a uvnitř budovy.
- Vlivem působení větru: Vzduch proudí důsledkem kinetické energie větru.



Obr. 3.1: Rozložení tlaků na stěnu budovy a) vlivem gravitace, b) vlivem gravitace a větru [11].

Obecně lze říci, že přirozené větrání je závislé na tlakovém rozdílu větraného a okolního prostředí. Situace se liší pro každou budovu a dokonce pro různé místnosti v budově [8]. Mikroklima budov je při přirozeném větrání ovlivňováno pozitivně i negativně. Z hlediska úspor energie má přirozené větrání nespornou výhodu v tom, že není třeba dodávat žádnou energii, na druhou stranu je však velmi špatně regulovatelné, čímž se zvyšují tepelné ztráty objektu větráním. Přirozené větrání je

charakteristické pro běžné budovy, v energeticky úsporných domech je takřka nepoužitelné.

Podle mechanismu výměny vzduchu se rozděluje:

- **Infiltrace, exfiltrace:** Přestože je infiltrace (opakem je exfiltrace) zařazována mezi mechanismy přirozeného větrání, podle [12] jej nelze považovat za plnohodnotný větrací systém, který je nestálý a prakticky neregulovatelný.
- **Aerace:** Jedná se o druh přirozeného větrání, které lze regulovat. Vzduch se přivádí otvory v dolní části místnosti a odvádí světlíkem nebo otvorem v horní části. Je to vhodný způsob větrání průmyslových hal s teplým provozem.
- **Šachtové větrání:** Odváděcí otvor z místnosti je zaústěn do šachty odvádějící vzduch nejčastěji nad střechu budovy. Výška šachty ovlivňuje velikost tlakového rozdílu, který se projeví urychlením průtoku vzduchu šachtou.
- **Otevírání oken:** V současné době nejrozšířenější systém přirozeného větrání. Přívod čerstvého vzduchu je řízen individuálně, nelze jej však regulovat ani dále upravovat, navíc hrozí zhoršené hlukové poměry. Jako nevýhodné se z tohoto hlediska jeví trvalé větrání tzv. mikroventilací, kdy je vnitřní prostředí trvale vystaveno venkovnímu hluku, což může vést k porušení hygienických norem a k významnému zhoršení celkové pohody vnitřního prostředí [8].

Kompromisem mezi energetickou náročností a dostatečnou výměnou vzduchu mohou být větrací prvky umístěných v rámech oken nebo v boxech vnějších rolet. Tyto prvky musí být snadno utěsnitelné a vybaveny tlumiči hluku. Opět je však nutné vzít v úvahu, že při absenci tlakového rozdílu nebude k výměně docházet.

3.1.2 Nucené větrání

Výměnu vzduchu při nuceném větrání zajišťují ventilátory, které uměle vytvářejí nutný tlakový rozdíl. Ventilátory mohou být využity pro odvod, přívod nebo současně pro odvod i přívod vzduchu [11]. Podle poměru objemových toků přiváděného vzduchu $V_p [m^3/h]$ a odváděného vzduchu $V_o [m^3 \cdot h^{-1}]$ se zavádí součinitel větrací rovnováhy $\varepsilon [-]$.

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_o} \quad (3-1)$$

Pokud je:

- $\varepsilon = 1$, jedná se o větrání rovnotlaké, při kterém by nemělo docházet k proudění vzduchu mezi větraným prostorem a okolím,
- $\varepsilon > 1$, větrání je přetlakové, užívá se, pokud je třeba úplně zamezit pronikání vzduchu z okolí do místnosti,
- $\varepsilon < 1$, je větrání podtlakové, které zaručuje nepronikání vzduchu z větrané místnosti do okolních prostor.

V praxi se pro obytné stavby využívají čtyři systémy podle přívodu vzduchu (odtah odpadního vzduchu je vždy nucený) [1, 8]:

- **Systém odvádění vzduchu s řízeným přívodem vzduchu:** V obvodovém plášti nebo v konstrukcích (rámy oken) pobytových místností jsou zabudovány větrací prvky (např. nastavitelné ventily), které zajišťují přívod čerstvého vzduchu. Z místností s největším znečištěním je odváděn odpadní vzduch ventilátorem (nejčastěji nad střechu budovy). Výhodou tohoto systému je nízká cena a provozní jednoduchost, nevýhodou je nemožnost využití zpětného získávání tepla (ZZT)

z odpadního vzduchu a dále přesný návrh umístění větracího prvku, aby bylo dosaženo optimálního rozložení teploty v místnosti (přiváděný vzduch má teplotu venkovního vzduchu).

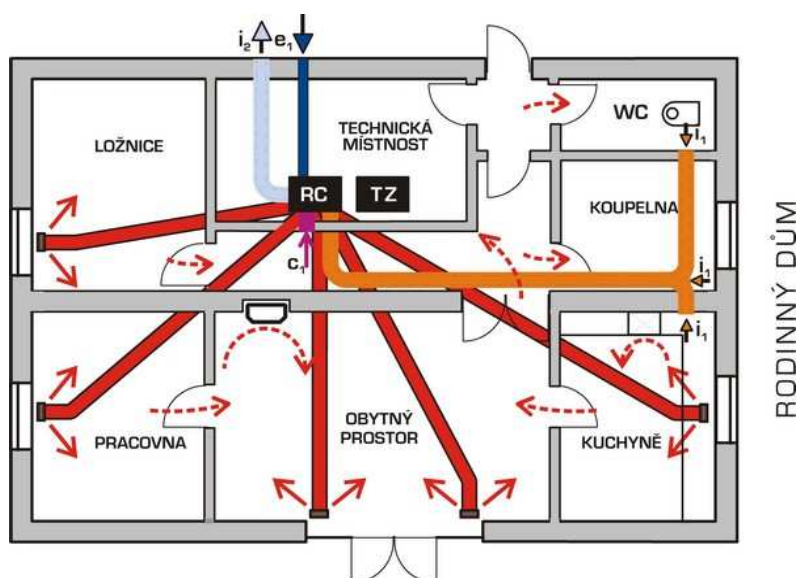
- Systém odvádění vzduchu s neřízeným přívodem vzduchu: Odpadní vzduch je ventilátory odváděn podobně jako v předchozím případě z místnosti s největším zdrojem znečištění, přívod čerstvého vzduchu ale není řešen speciálními prvky v obvodových konstrukcích budovy. Odtahem odpadního vzduchu vzniká podtlak a čerstvý vzduch vniká do budovy spárami a štěrbinami, čímž se vylučuje absolutní těsnost budovy. Tyto netěsnosti musí být velmi pečlivě a přesně dimenzované.
- Systém s decentralizovaným přívodem i odvodem vzduchu: Každá obytná místnost je vybavenou vlastní větrací jednotkou, která je schopna přesně dávkovat množství vzduchu, ohřívát vzduch a využívat odpadní teplo (ZZT). Nevýhodou je zvýšená hladina hluku, tyto jednotky se využívají nejčastěji při rekonstrukcích, kdy není možné provést větší stavební zásahy do budovy.
- Systém s centrálním přívodem i odvodem vzduchu: Čerstvý vzduch se nasává přes protidešťovou žaluzii ve fasádě domu a vzduchovody je dopravován do obytných místností. Pomocí konstrukčního řešení lze velmi přesně dimenzovat množství přiváděného vzduchu. Odtah vzduchu probíhá opět v místnostech s vysokou koncentrací škodlivin. Centrální umístění jednotky je zobrazeno na obr. 3.2. Největší výhodou tohoto systému je možnost využití ZZT, které významně z hospodárňuje provoz větracího zařízení a dále řízení pomocí čidel kvality vzduchu (např. čidlo CO₂). Principy větrání při použití tohoto systému jsou podle [1] následující:
 - Směšovací větrání: je typické vysokými rychlostmi vzduchu na vstupu do místnosti. Indukčním účinkem se vzduch dostává k odváděcímu otvoru, dochází ke zředění škodlivin.
 - Vytěšňovací větrání: využívá se pístový efekt, kdy přívodní vzduch vstupuje do místnosti laminárními vstupy a téměř přímou cestou proudí k vyústkám. Nečistoty jsou strhávány a odváděny s odpadním vzduchem. Toto větrání je typické relativně vysokou rychlostí cirkulujícího vzduchu, ale také nízkou turbulencí a je nejčastěji využíváno pro větrání bytů.
 - Zdrojové větrání: vzniká, když k vytěšňovacímu proudění přispívají tepelné zdroje. Charakteristické jsou pro zdrojové větrání nízké rychlosti proudění. Při tomto větrání dochází k příznivému rozložení teplot v místnosti.

Systém s centrálním přívodem i odvodem vzduchu nejlépe zajišťuje pohodu vnitřního prostředí, jeho schéma lze vidět na obr. 3.3. Výhody uvedeného systému jsou podle [1]:

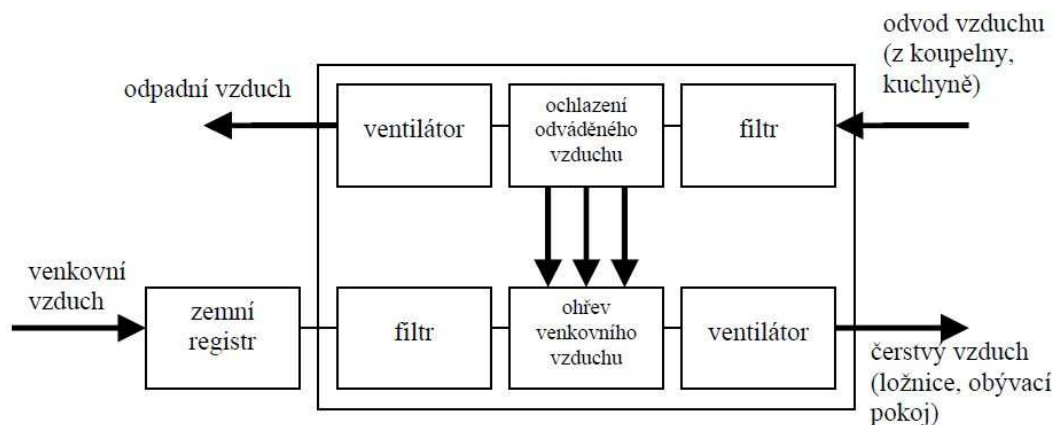
- možnost využití ZZT,
- zajištění hygienicky potřebné výměny vzduchu,
- řízení vlhkosti v interiéru a tím zabránění rozvoji mikroorganismů,
- účinný odtah škodlivin,
- přívod čerstvého vzduchu při zavřených oknech (ochrana před prachem a jinými nečistotami z venkovního prostředí a hlukem),
- bezprašnost vzduchu a pylová ochrana,
- zmenšené teplotní a vlhkostní kolísání,
- bezprůvanové větrání,
- automatický chod zařízení (i při nepřítomnosti osob),
- energetické úspory při provozu s malými rychlostmi vzduchu ve vzduchovodech,
- snížení budoucích nákladů za energii,
- menší potřeba tepla.

Naopak hlavní nevýhody systému jsou:

- nároky na prostor pro zařízení a vzduchovody (v již realizovaných stavbách nutná rozsáhlá rekonstrukce),
- vyšší pořizovací a provozní náklady,
- vyšší nároky na údržbu,
- vyšší spotřeba elektřiny,
- možná změna elektroiontového mikroklimatu.



Obr. 3.2: Centrální umístění větrací jednotky a návrh trasování vzduchovodů [13].



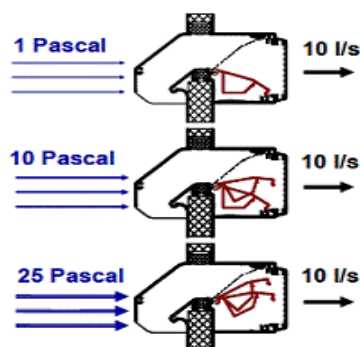
Obr. 3.3: Schéma bytového větrání s nuceným přívodem i odtahem vzduchu [1].

Větrací zařízení se skládá z několika nezbytných prvků, základem každého takového zařízení je větrací jednotka, obsahující prvky nezbytné pro provoz zařízení: klapky, vzduchový filtr, ventilátory a výměník tepla. Obvykle se montuje v sekundárních místnostech objektu (sklep, podkroví, atp.), je možné ji však osadit i v pobytových místnostech (pod strop, do skříní, podhledu). Každá taková jednotka by měla být vybavena také zařízením pro ZZT (jejíž účinnost je závislá na těsnosti obálky budovy).

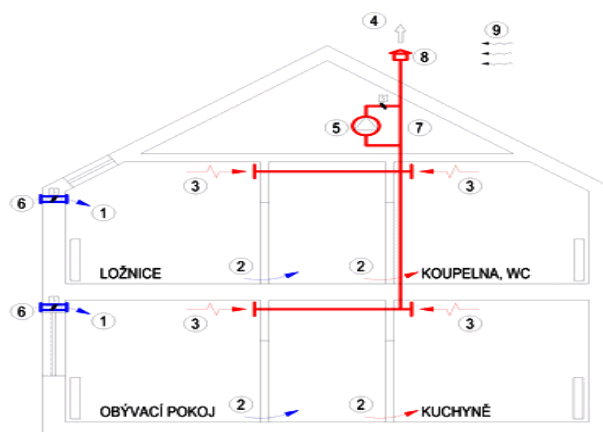
Druhým klíčovým prvkem větracích systémů jsou vzduchovody, přívaděcí a odváděcí otvory. Umístění přívaděcích otvorů má velký vliv na celkovou pohodu prostředí v místnostech. Systémy nuceného větrání se ZZT jsou jedním ze základních rysů energeticky úsporných budov.

3.1.3 Hybridní větrání

Hybridní větrání kombinuje prvky přirozeného i nuceného větrání [18]. Princip zařízení spočívá ve střídavém a kombinovaném provozu obou režimů. Přívod vzduchu zajišťují např. samoregulační vyústky (obr. 3.4) se servopohonem, které bývají umístěny v blízkosti oken nebo zabudovány přímo v okenním rámu. Vyústky mohou dodávat do místnosti předem definované množství vzduchu nebo mohou být řízeny centrální řídicí jednotkou se senzory CO_2 , uživatel má však kdykoliv možnost nastavit průtok přiváděného vzduchu individuálně. Odtah bývá s konstantním průtokem do společného odváděcího vzduchovodu se zaústěním nad střechu a vybaveným samoodtahovou hlavicí nebo solárním komínem. Schéma hybridního větrání je patrné na obr. 3.5.



Obr. 3.4: Funkce samoregulační vyústky [18].



Obr. 3.5: Schéma hybridního větrání se samoodtahovou hlavicí (8), dále je na obrázku zaznačen vzduch přiváděný (1), převáděný (2), odváděný (3), odpadní (4), ventilátor (5), samoregulační vyústka (6), potrubní síť (7) a účinek větru (9) [18].

3.2 Filtrace vzduchu

Čistota vzduchu ve vnitřním prostředí patří k základním požadavkům na kvalitu vnitřního prostředí a má vliv na celkovou pohodu prostředí a především na zdraví obyvatel [12]. Primárním způsobem, jak zajistit čistotu vzduchu, je filtrace. Filtry zajišťují nejen požadovanou kvalitu vzduchu, ale také chrání součásti větracích a klimatizačních zařízení před poškozením nečistotami ve vzduchu. V současnosti je vícestupňová filtrace v klimatizačních a větracích zařízeních samozřejmostí. Filtry slouží v první řadě k odlučování pevných a kapalných částic ze vzduchu, existují však filtry schopné odlučovat pachy nebo mikroby. Filtrace se hodnotí účinnosti a tlakovou ztrátou. Účinnost je závislá na celkové odlučivosti vrstvy filtru O_c [-], která vychází z koncentrací nečistot před a za filtrem. Dalšími parametry filtrů jsou frakční odlučivost O_f [-], která vychází z koncentrací nečistot určité velikosti a celkový průnik P_c [-], jenž je k celkové odlučivosti doplňkem do jedné. Filtry také zvyšují tlakovou ztrátu systému, neboť tvoří překážku proudícímu vzduchu. Tlaková ztráta se zvyšuje se zanášením filtru. Filtry je třeba pravidelně čistit a měnit (v závislosti na typu a využití filtru).

3.2.1 Třídění filtrů

V současné době se filtry dělí na:

- Filtry atmosférického vzduchu: Používají se pro běžné větrání, jejich zařazení vychází z předpisu EUROVENT 4/9, třídí se na filtry pro hrubou a jemnou filtraci (podle odlučivosti syntetického prachu velikosti $0,4 \mu m$). Filtry pro hrubou filtraci se označují G1-G4 a filtry pro jemnou filtraci se označují F5-F9.
- Vysoce účinné filtry: Tyto filtry se používají pro filtraci vzduchu prostorů s vysokými nároky na čistotu. Pro hodnocení těchto filtrů se používají moderní měřicí techniky a filtry se dělí na HEPA (označovány H10-H14) a nejúčinnější filtry ULPA (označovány U15-U17).

3.2.2 Provedení filtrů

Struktura filtrů se mění se zvyšující se třídou. Filtry se podle provedení dělí na pásové a vložkové. Vysoce účinné filtry jsou konstruovány převážně jako vložkové. Pásové filtry jsou tvořeny pásem filtračního materiálu, který se může postupně odvinovat podle míry zanesení (pásové filtry se vyrábějí do třídy G3).

Vložkové filtry se dělí na rámečkové (filtrační materiál ve tvaru plochých nebo skládaných desek se zasouvá do rámu deskovitého tvaru), kapsové (filtrační materiál je ve tvaru hlubokých kapes) a skládané kompaktní, kazetové nebo patronové (filtrační materiál je hustě naskládán v rámu, nejčastěji ve více vrstvách).

Filtračním materiálem dle technologie výroby mohou být:

- rohože: ze silnějších syntetických nebo skleněných vláken spojovány pojivem nebo tepelným zpracováním,
- rouna: z jemnějších minerálních, syntetických nebo organických vláken nanesených na podkladový materiál,
- vpichované textilie: ze syntetických vláken propojených vpichovací technologií,
- filtrační papíry: z jemných skleněných nebo organických vláken vyráběné papírenskou technologií.

Kromě vláknitých materiálů se vyrábějí filtry z porézních syntetických materiálů nebo v podobě omyvatelných kovových a plastových náplní tvaru zrn a třísek. Tyto filtry se umísťují do rámečkových filtrů a slouží pro filtraci nižších tříd.

3.2.3 Sorpční filtry

Tyto filtry slouží k zachycování plynných látek a pachů. Jsou charakteristické velkým měrným povrchem (struktura s trhlinami a póry). Sorpční filtry fungují na principu fyzikální (filtry lze regenerovat) a chemické adsorpce. Adsorbentem je nejčastěji aktivní uhlí, dále potom silikagel, aktivní koks a jiné. Sorpční filtry jsou konstruovány nejčastěji jako patronové, deskové nebo v podobě vrstvy nanesené na povrchu filtračního materiálu.

Sorpční filtry mohou v některých případech využívat také princip absorpce, při kterém dochází k zachycování plynů v kapalině. Jako absorbent se používají nejčastěji alkalické roztoky. Absorpční filtry jsou účinnější než filtry adsorpční.

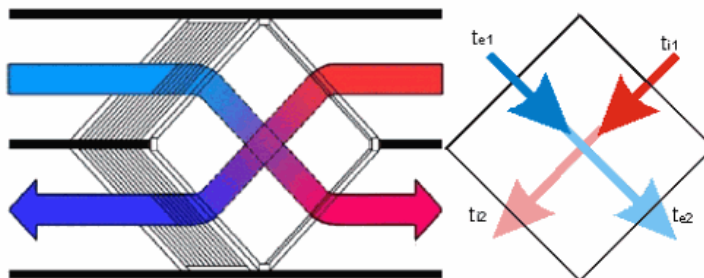
3.3 Zařízení pro zpětné získávání tepla

Jsou to zařízení, která umožňují využití tepla z odcházejícího vzduchu. Teplo se předává chladnému přiváděnému vzduchu. Pro zpětné získávání tepla (ZZT) se nejčastěji používají rekuperační nebo regenerační výměníky. Využití ZZT umožňují také tepelná čerpadla.

3.3.1 Rekuperační výměníky pro ZZT

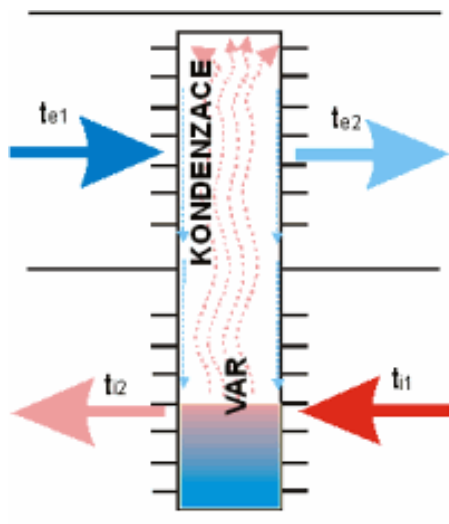
Obě média (ohřívání i ochlazení) jsou oddělena pevnou stěnou, takže se přenáší pouze citelné teplo [12]. Nejjednoduššími rekuperátory pro ZZT jsou lamelové (výměníky s kapalinovým okruhem) a deskové výměníky a tepelné trubice. Výhodou lamelových výměníků je možnost propojení výměníků pro odpadní a čerstvý vzduch i ve větších vzdálenostech, nevýhodou je nízká účinnost a nutnost použití oběhového čerpadla [25].

Deskové výměníky (obr. 3.6) mají vyšší účinnost než lamelové, jsou vyrobeny z hliníkových, plastových nebo skleněných desek. Jejich nevýhodou je nutnost souběžného vedení potrubí čerstvého a odpadního vzduchu a velmi obtížná čistitelnost. Nutné je vhodné umístění výměníku tak, aby byl zajištěn dostatečný sklon pro odvod kondenzátu.



Obr. 3.6: Schéma deskového výměníku s křížovým proudem [27].

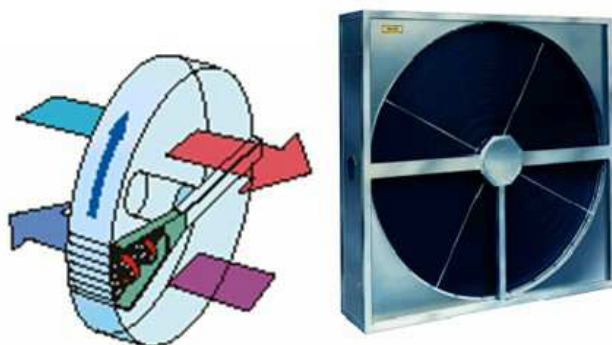
Tepelné trubice (obr. 3.7) pro ZZT jsou tvořeny svazkem svislých trubic naplněných vhodnou kapalinou (např. čpavek). Spodní výparná část je umístěna v proudu teplého vzduchu a horní kondenzační část v proudu studeného vzduchu, části jsou od sebe konstrukčně odděleny. Proudění vzduchu musí být opět vedeno vedle sebe a na jejich vstupu musí být osazeny filtry (proti možnému poškození trubic). Výhodou tepelných trubic je schopnost přenášet velké tepelné toky v malém prostoru [12], nejčastěji se využívají kapilární tepelné trubice, které vlivem kapilárních sil mohou dopravovat kapalinu i proti směru působení gravitační síly.



Obr. 3.7: Schéma tepelné trubice [27].

3.3.2 Regenerační výměníky pro ZZT

Regenerační výměníky vždy obsahují akumulární hmotu, přes kterou střídavě proudí vzduch ochlazovaný a ohříváný. Akumulární hmota je tvořena tenkou jemnou zvlněnou pásovinou z hliníku, hliníku s hygroskopickou vrstvou, plastu s hygroskopickými vlastnostmi, tvrzeného papíru napuštěného *LiCl* aj. Regenerační výměníky jsou díky hygroskopickým vlastnostem akumulárních ploch a jejich kontaktu s oběma proudy vzduchu schopné kromě citelného tepla přenášet také vlhkost. Regenerační výměníky nejsou vhodné pro přenos tepla vzduchu znečištěného plyny a oděry. Regenerační výměníky se využívají v podobě rotačních nebo přepínacích výměníků



Obr. 3.8: Schéma a fotografie rotačního výměníku [27].

Rotační výměníky (obr. 3.8) jsou tvořeny akumulací hmotou ve tvaru kotouče, který se kontinuálně otáčí, přičemž jedna polovina se nachází vždy v kanálu ohřívajícího vzduchu a druhá v kanálu ochlazeného. Pomalým otáčením se teplo přesouvá z oblasti teplého do oblasti chladného vzduchu, kde se odčerpává, zatímco druhá polovina kotouče odebírá teplo odpadnímu vzduchu. Rotační výměníky mají účinnost okolo 70 %.

Druhým typem regenerátorů jsou přepínací výměníky. Obsahují dvě pevné akumulací sekce, které se střídavě ohřívají a předávají teplo chladnému vzduchu. Proudění vzduchu je řízeno klapkami, která v daných cyklech přepínají směry proudění vzduchu do požadované sekce. Tento výměník je ze všech zařízení ZZT neúčinnější (až 90 %).

3.4 Zemní výměník tepla

Zemní výměník tepla (ZVT) je zařízení pro předehřev nebo předchlazení vzduchu s jednoduchým principem, návrh a realizace jsou však obtížnější. Teplonosné medium je vedeno potrubím (soustavou potrubí) uloženým v zemi (v hloubce přibližně 1,5-2 m). V této hloubce se udržuje během zimy přibližně konstantní teplota 4-8 °C (v létě 10-14 °C) [8, 13]. Dochází tak k předehřátí (příp. předchlazení) větracího vzduchu (v tab. 3-1 předehřev vzduchu v zimě pro různé provozní podmínky), v zimě slouží ZVT navíc jako účinná protimrazová ochrana. Výměník využívá teplo zeminy naakumulované během roku. Materiálem potrubí je nejčastěji polypropylen nebo kanalizační PVC. V případně paralelního vedení trubek je doporučena minimální osová vzdálenost 2 m, při které nedochází k vzájemnému ovlivnění větví [8]. Obsyp potrubí nesmí obsahovat štěrk, písek a jiné tepelné izolanty [40].

Tab. 3-1: Předehřívání vzduchu v zimě pomocí ZVT [14].

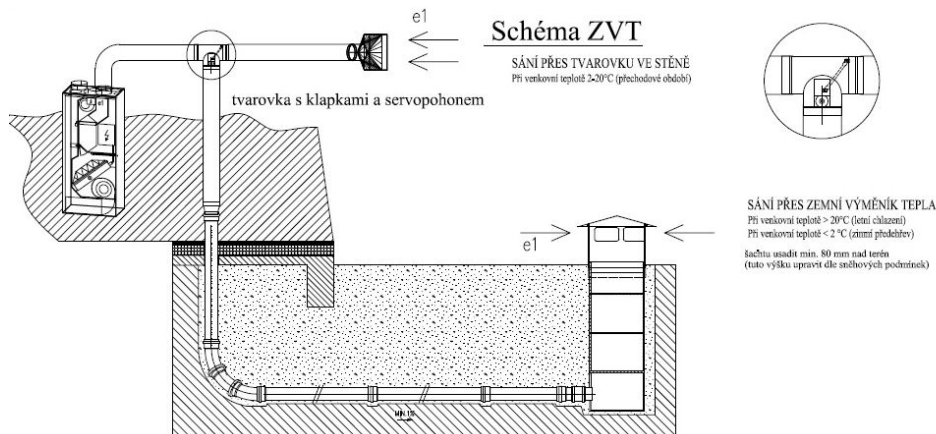
Venkovní teplota [°C]	-15	-19	-7	-4	-10	-15	-10	-20
Výstupní teplota vzduchu ze ZVT [°C]	+2	+3	+4	+5	+2	+1	+2	0
Objemový průtok vzduchu [$m^3 \cdot h^{-1}$]	200			140			160	
Průměr potrubí [mm]	200			125			100	
Délka potrubí [m]	23			42			40	
Hloubka uložení [m]	1,7			1,5			1	

3.4.1 Vzduchový ZVT

Teplonosnou látkou je vzduch nasávaný přímo větrací jednotkou. Vzduchové zemní výměníky tepla (obr. 3.9) jsou méně ekonomicky náročné (není třeba další ventilátor), jsou však náchylnější k negativnímu ovlivnění kvality čerstvého vzduchu. Potrubí musí být dokonale těsné proti průniku vlhkosti a plynů ze zeminy po celou dobu životnosti.

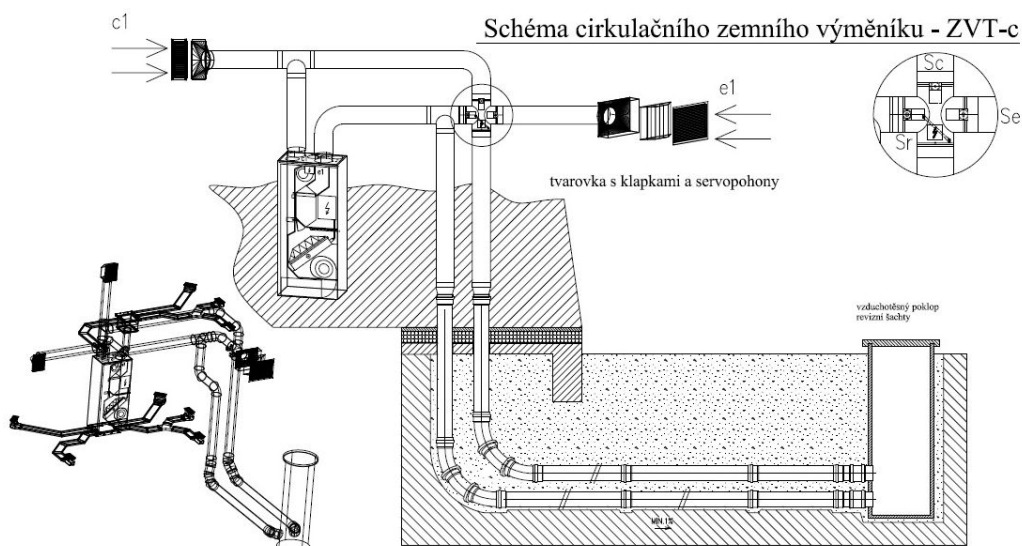
Venkovní vzduch vstupuje do vstupní šachty osazené nadzemním krytem a vybavené filtry (vícestupňová filtrace) a pokračuje potrubím vedeným v zemině k větrací jednotce [40]. Vzduch proudí potrubím rychlostmi do 2 m/s. Potrubí by mělo být na vnitřní straně hladké se zlomy maximálně 45° (usnadnění čistitelnosti) a spádované (1-2 %) k místu, kde je možno shromažďovat a odvádět kondenzát. Vstupní šachta bývá vyrobena z polypropylenu a bývá umístěna v místě s dostatečnou kvalitou vzduchu, vzdáleném od zdrojů pachů a škodlivin v dostatečné výšce nad zemí.

Pro přechodné období a pro období, kdy je využití ZVT zbytečné (teplota zeminy vyšší než teplota vzduchu v létě a nižší teplota zeminy oproti venkovnímu vzduchu v zimě) je zařízení vybaveno „T“ tvarovkou s klapkami a servopohonem s automatickým řízením podle čidla venkovní teploty. Vzduch je pak nasáván přímo přes fasádu domu, optimalizuje se energetická náročnost větrání a zabraňuje se vyčerpání tepelné kapacity zeminy (dochází k tzv. „samočinné regeneraci“).



Obr. 3.9: Schéma klasického provedení vzduchového ZVT [40].

Kromě klasického provedení se vyskytují vzduchové zemní výměníky v cirkulačním provedení (označovány jako ZVT-c; obr. 3.10). Vzduch je v tomto případě nasáván vždy přes fasádu domu a až následně (dle aktuální teploty) pokračuje přímo do jednotky nebo do ZVT-c. V zemi je uložena tzv. cirkulační smyčka (dvě potrubí vedle sebe nebo nad sebou), čímž se zkrátí délka výkopu na polovinu. Výhodou cirkulačního provedení je regenerace zeminy, kdy v letním období předává vnitřní teplý vzduch teplo zpět zemině a zároveň jej ochlazuje.

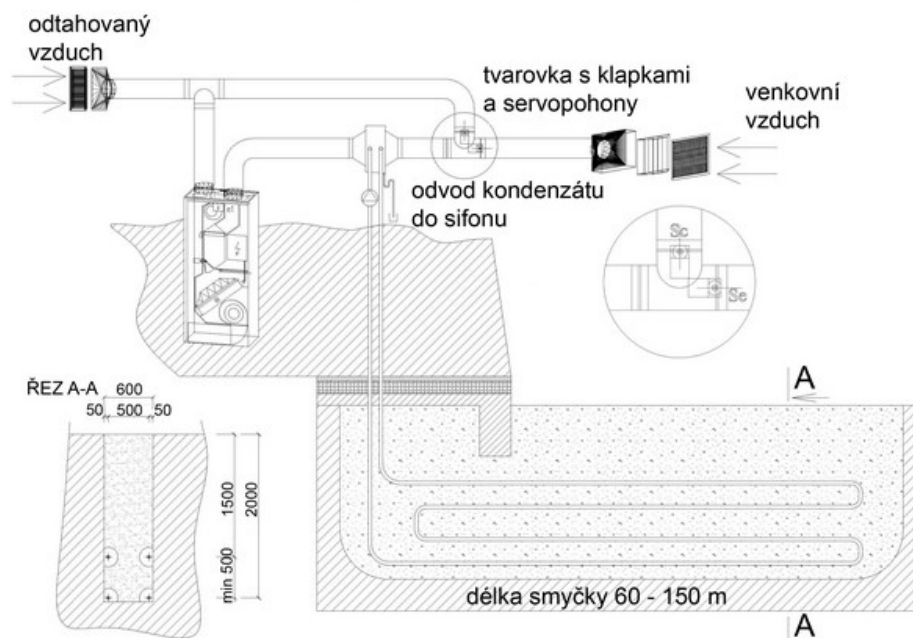


Obr. 3.10: Schéma cirkulačního provedení vzduchového ZVT-c [40].

3.4.2 Kapalinový ZVT-s

Přiváděný vzduch se neohřívá přímo od zeminy, ale pomocí kompaktního výměníku vzduch - nemrzoucí kapalina (např. solanka - označován jako solankový;

obr. 3.11). ZVT-s je tvořen kapalinovým okruhem uloženým v zemi. Součástí okruhu je oběhové čerpadlo, expanzní nádoba a prvky pro topenářské napojení, které navyšují provozní i pořizovací náklady systému [13, 47]. Nevýhodou je také nutnost pravidelné výměny teplotně neustálé kapaliny (degradace požadovaných vlastností). Oproti vzduchovému ZVT však předávání tepla čerstvému vzduchu probíhá zprostředkovaně, snižuje se možné riziko kontaminace.



Obr. 3.11: Schéma solankového ZVT-s s možností cirkulačního chlazení [47].

Podle [26] je přehřev vzduchu v ZVT konkurencí zařízení pro ZZT a při sdruženém systému ZVT a ZZT dochází jen k malému navýšení získané energie v porovnání se samostatným systémem.

V příloze 3 jsou zobrazena některá používaná uložení potrubí a možnosti konstrukčního řešení odvodu kondenzátu vznikajícího během letního provozu.

4 Vytápění energeticky úsporných budov

Přestože jsou PD a NED velmi energeticky úsporné a jejich spotřeba energie na vytápění se minimalizuje, je třeba k dosažení tepelné pohody uvnitř obydlí navrhnout systém vytápění. V této kapitole jsou nastíněny možné zdroje tepla pro vytápění a užívané systémy.

4.1 Zdroje tepla a paliva pro vytápění

Zdroje tepla mohou být lokální a centrální, tato práce se zabývá pouze možnými zdroji pro centrální vytápění rodinných domů. V NED a PD se často uplatňují bivalentní zdroje, což znamená využití více druhů zdrojů tepla, z nichž jeden je považován jako hlavní a druhý jako záložní pro pokrytí špičkové potřeby tepla. Bivalenci zdrojů je možno vytvořit prakticky ze všech dále uvedených typů zdrojů, nejčastěji se však v bivalentních systémech objevují tepelná čerpadla, solární kolektory nebo elektrické topení. Volba energetického zdroje pro energeticky úsporné budovy se odvíjí od nízkých tepelných ztrát, je proto někdy obtížné najít dostatečně malý zdroj tepla [8]. Kromě výkonu jsou na kotel kladeny požadavky jako dobrá regulovatelnost, snadná obsluha, dlouhá životnost a samozřejmě také cena.

4.1.1 Fosilní paliva

Mezi fosilní paliva se řadí především ropa, zemní plyn a uhlí. Fosilními zdroji jsou také jejich produkty - brikety a koks z uhlí nebo LPG, petrolej a topné oleje ze zemního plynu. V trendu udržitelné výstavby budov (viz kap. 2.4) panuje celosvětově snaha o zmírnění vlivu provozu budov na životní prostředí. Fosilní paliva se vyznačují poměrně vysokými hodnotami emisí CO_2 , NO_x a SO_x . Z tohoto hlediska vychází z fosilních paliv jako nejvýhodnější zemní plyn a topné oleje. Výhodou zemního plynu je také nenáročnost na skladový prostor, zatímco ostatní typy fosilních paliv je nutné uskladňovat, zemní plyn je přiváděn do kotelny plynovou přípojkou z centrálního rozvodu. Fosilní paliva se spalují v kotlích speciálně vyráběných pro daný typ paliva. Nejvyšší účinnosti přeměny energie dosahují plynové kondenzační kotle (viz tab. 2-5), u nichž voda obsažená ve spalínách kondenzuje a uvolňuje se tak kondenzační teplo, [1] uvádí jejich účinnost až k 104 %. Plynové kotle jsou velmi dobře regulovatelné a jejich provoz takřka automatický. Pro kotle na fosilní paliva je nutný přívod spalovacího vzduchu, ten může být zajištěn neuzavíratelnými otvory z venkovního prostředí, moderním způsobem je použití dvouplášťového komínu vzduch-spaliny (tzv. turbo).

4.1.2 Elektřina

Elektrická energie je dostupná, její velkou výhodou je dobrá regulovatelnost, schopnost bivalence s jiným zdrojem a téměř stoprocentní účinnost přeměny na teplo [1]. Zásadními nevýhodami jsou nízká účinnost přeměny primární energie v elektrárnách (ke spotřebiteli přichází jen cca 30 %), vysoká cena s trvale rostoucí tendencí, zatěžování

životního prostředí a nutné zajištění dostatečné kapacity pro výrobu a transport v době špičkového odběru.

Systémy elektrického vytápění mohou být lokální nebo centrální [19]. Centrální vytápění zajišťuje elektrokotel nebo otopný had instalovaný v akumulární nádobě. Lokální topidla mohou být přímotopná nebo akumulární. Přímotopná topidla pracují cca 20 hodin denně, mohou být v podobě konvektorů, sálavých panelů, infrazářičů nebo topných kabelů a folií. Elektrické topení je jako hlavní zdroj energie nevýhodné z ekonomického, energetického i environmentálního hlediska.

4.1.3 Biomasa

Biomasa je palivo organického původu, řadí se do ní hlavně kusové dřevo, dřevní odpad, štěpka, piliny, sláma, konopí, šťovík, kapalná kejda atd. Pro vytápění v rodinných domech lze však prakticky použít pouze kusové dřevo či lisované peletky z dřevního odpadu. Výhodou biomasy jako paliva je fakt, že se jedná o obnovitelný zdroj energie, který má při správném způsobu spalování minimální negativní důsledky na životní prostředí. Využívá se odpadů ze zemědělství, lesnictví a potravinářství nebo cíleně pěstovaných rostlin. Biomasa ke spalování musí být dostatečně vysušená, obsažená voda totiž snižuje celkovou výhřevnost a negativně ovlivňuje složení spalin. Pro kusové palivo je doporučeno až dvouleté skladování pod přístřeškem [19].

Spalování biomasy probíhá ve speciálních kotlích, ohřívajících topnou vodu. Výhodou těchto kotlů je poměrně snadná konstrukce, dobrá regulovatelnost a automatizace provozu (s oblibou se využívají kotle s dopravním pásem na lisované peletky). Nevýhodou je náročnost na skladové prostory pro biomasu a celková cena kotlů.

4.1.4 Solární energie

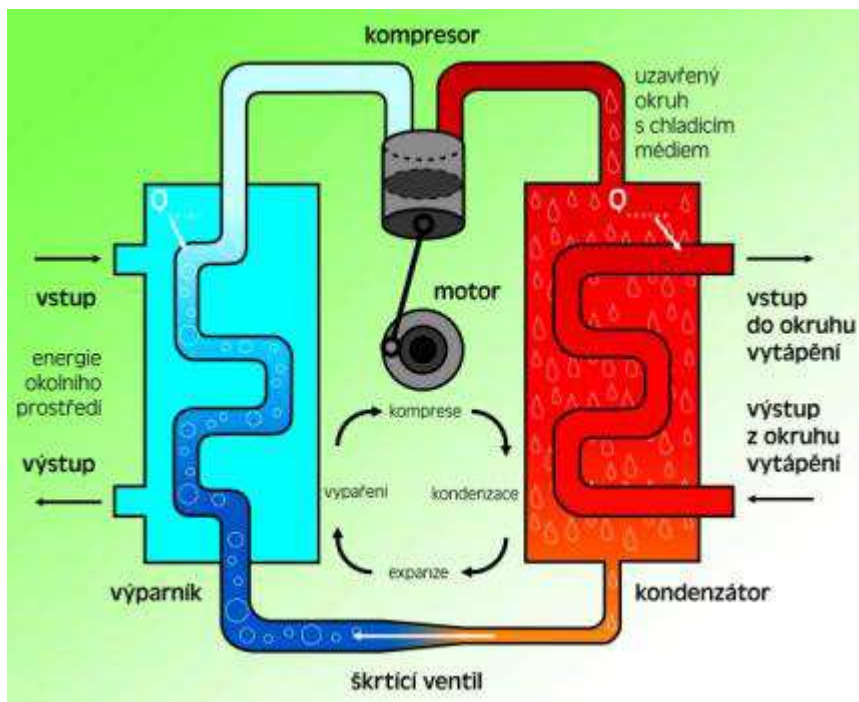
Pro energeticky úsporné budovy je užívání solární energie charakteristické. Kromě využívání pasivních solárních zisků jsou na střeších a fasádách NED a PD velmi často instalovány solární kolektory aktivně přeměňující solární energii na teplo, které se s využitím vlastního kapalinového okruhu ukládá v akumulárních nádržích. Teplo ze solárních kolektorů se velmi často využívá pro ohřev teplé vody nebo pro vytápění v kombinaci s dalším zdrojem tepla (nejčastěji nízkoteplotní teplovodní systémy). Energetické zisky od slunce jsou závislé na konstrukci kolektoru, jeho sklonu a orientaci [1]. Provedení solárních kolektorů může být:

- nezasklené: kolektor se skládá z měděného nebo plastového absorbéru, je využitelný pouze pro nízké teploty,
- ploché zasklené: kovový absorbér z mědi, hliníku nebo oceli je opatřen černým nebo selektivním povrchem, zadní strana kolektoru je tepelně izolovaná a přední strana je opatřena jednoduchým nebo dvojitým zasklením,
- vakuové trubkové: absorbér leží v relativním vakuu ve skleněné trubici, snižují se tak tepelné ztráty a zvyšuje se účinnost i při malé intenzitě záření a vysokých teplotách.

Kromě kapalinových kolektorů se využívají kolektory vzduchové přímo ohřívající proudící vzduch [22].

4.1.5 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je zařízení jež je schopné odebírat teplo z chladnějších těles a předávat je tělesům teplejším. Je to zařízení velmi moderní a přestože je stále podceňován jeho význam, je třeba věnovat mu pozornost. Tepelné čerpadlo se skládá z kompresoru, kondenzátoru a výparníku, samozřejmě je regulační systém a systém pro pomocné přitopení [19]. Na obr. 4.1 lze vidět schéma tepelného čerpadla.



Obr. 4.1: Schéma tepelného čerpadla [19].

Provoz tepelného čerpadla je závislý na dodávce elektrické energie kompresoru (je možné využít i spalovací motor), jeho účinnost se stanovuje pomocí topného faktoru *COP*, který udává kolik tepla je vneseno do otopného systému k hodnotě spotřebované energie. *COP* závisí velkou měrou na rozdílu teplot mezi místy odběru a dodávky tepla. Je tedy vhodné brát teplo z co nejteplejšího zdroje a předávat je médiu o nízké teplotě. Teplo je možné odebírat ze země, vzduchu nebo vody a předávat do vzduchu i do vody. Podle místa odběru tepla se rozlišují typy tepelných čerpadel: země-voda, voda-voda, vzduch-voda; případně země-vzduch, apod.

Mezi další zdroje tepla patří dálkové rozvody z tepláren a vytopen nebo využití kogenerační jednotky, tyto zdroje se však v rodinných domech používají velmi zřídka. Naopak velmi často se využívají výměníky pro ohřev otopné vody v domácích topeništích (krby). V tab. 4-1 je uvedena výhřevnost nejčastěji užívaných paliv.

Tab. 4-1: Výhřevnost nejčastěji užívaných paliv [19]:

Palivo	Jednotka	Výhřevnost H	
		[MJ]	[kWh]
Nafta	1 kg	42,6	11,83
Těžký topný olej	1 kg	40,3	11,19
Zemní plyn	m^3	34,0	9,44
Bioplyn	m^3	25,0	6,95
Dřevo	1 kg	14,6	4,05
Sláma	1 kg	14,2	3,90
Koks	1 kg	27,5	7,60
Černé uhlí	1 kg	25,1	6,97
Hnědé uhlí	1 kg	15,1	4,19
Propan-butan	m^3	46,1	12,8
Svítiplyn	m^3	14,5	4,03

4.2 Teplovodní vytápění

Médium, které předává teplo od zdroje do obytných místností je voda vedená potrubními rozvody z mědi, oceli nebo plastu. Vytápění pak zajišťují otopná tělesa (desková, článková), podlahové topení (příp. stropní nebo stěnové) nebo konvektory. Teplovodní systémy vytápění využívají k přenosu tepla většinou konvekci nebo radiaci. Tyto systémy jsou běžné u klasické výstavby, ale v NED a PD se dají také velmi dobře využít. Rozdílem je potřeba instalovat nižší výkony, otopné plochy mohou být tedy menší a teplota otopné vody nižší [1]. Teplovodní systémy se v nízkoenergetické výstavbě instalují stále častěji v podobě doplňkového vytápění.

4.3 Teplovzdušné vytápění

Teplo od zdroje je přenášeno vzduchem do vytápěné místnosti a spotřebováno na pokrytí tepelné ztráty [20]. Porovnáním fyzikálních vlastností vody a vzduchu (viz tab. 4-2) je patrné, že vzduch je kvůli nižší měrné tepelné kapacitě c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] horším nosičem tepla než voda.

Tab. 4-2: Fyzikální vlastnosti vody a vzduchu [20].

Fyzikální parametr	Voda	Vzduch
Měrná tepelná kapacita c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]	4186	1010
Hustota [$kg \cdot m^{-3}$]	980	1,28
Teplotní spád pro vytápění obytných budov [K]	10 až 25	20 až 30

Z toho vyplývá nutnost většího množství vzduchu pro krytí tepelných ztrát a tím i větší dimenze rozvodů a náročnější stavební zásahy do budovy. Výhody teplovzdušného vytápění oproti teplovodnímu jsou především [20, 21]:

- zajištění hygienické výměny vzduchu při naprosté kontrole jeho kvality,
- zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu,
- kvalitní náhrada klasických teplovodních systémů (s otopnými tělesy),
- využití ZVT pro předehřev a předchlazení,

- absence otopných ploch, úspora místa,
- pružnost systému (rychlá reakce na aktuální výkonové požadavky).

Naopak nevýhodami tohoto systému jsou hlavně:

- trasování vzduchovodů při rekonstrukcích,
- hlučnost,
- nahrazení sálavé složky vyšší teplotou přiváděného vzduchu.

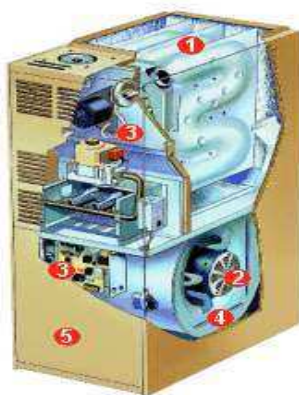
V Evropě se teplovzdušné vytápění rozšiřuje více až v současné době společně s rozvojem energeticky úsporných budov. Dřívější pojetí budovy s masivními zdmi typické teplovodním radiátorovým vytápěním je pod vlivem ekonomických faktorů nahrazováno stavbami lehkými s výrazně lepšími tepelně-technickými vlastnostmi (viz kap. 2). Výjimkou jsou v našich klimatických podmínkách teplovzdušná kamna na pevná paliva, která se vyskytovaly převážně v rekreačních objektech.

Energeticky úsporné budovy se vyznačují řízenou výměnou vzduchu, proto je z ekonomického hlediska velmi výhodné vytvoření jednotného systému pro vytápění a větrání.

4.3.1 Teplovzdušný kotel

Palivem pro teplovzdušné kotle je nejčastěji zemní plyn, topný olej nebo elektřina. Tento typ kotle je používán hlavně v zahraničí (USA, Kanada) a skládá se z ventilační a filtrační jednotky, ohřívacího dílu a regulace [20], jeho schéma je patrné z obr. 4.2. Pokrytí tlakových ztrát při dopravě vzduchu zajišťuje při nízké úrovni hluku nejčastěji radiální ventilátor. Jádrem teplovzdušného kotle je ohřívací díl složený z atmosférického hořáku a výměníku (spaliny-vzduch). Odtah spalin je vždy nucený (vysoká tlaková ztráta výměníku na straně spalin a jejich nízká teplota), často plastovým potrubím. Pro zvýšení účinnosti se vyrábí teplovzdušné kotle v kondenzačním provedení, kdy se využívá kondenzační teplo spalin. Provozní regulace je většinou jednozónová, řízená prostorovým termostatem umístěným v referenční místnosti. Tato zařízení mohou být doplněna o další prvky pro klimatizaci (zvlhčovač, chladič).

Plynové kotle v klasickém provedení ohřívají vzduch o 35 až 55 K, v provedení kondenzačním o 20 K. Jejich výkony se pohybují od 7 do 28 kW a jejich účinnost se pohybuje kolem 80 % pro klasické provedení a pro kondenzační provedení až 96 %.



Obr. 4.2: Schéma teplovzdušného kotle (1-výměník tepla, 2-radiální ventilátor, 3-zapalovací automatika a hořák, 4-filtrační část, 5-izolovaná skříň) [20].

4.3.2 Vytápěcí a větrací jednotky

Tyto jednotky (příklad na obr. 4.3) zajišťují vytápění objektu i jeho větrání čerstvým vzduchem. Zpravidla obsahují výměník tepla voda-vzduch pro ohřev přiváděného vzduchu, zajišťují filtraci, zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu a dopravu pomocí ventilátorů. Pracují se vzduchem čerstvým i cirkulačním.



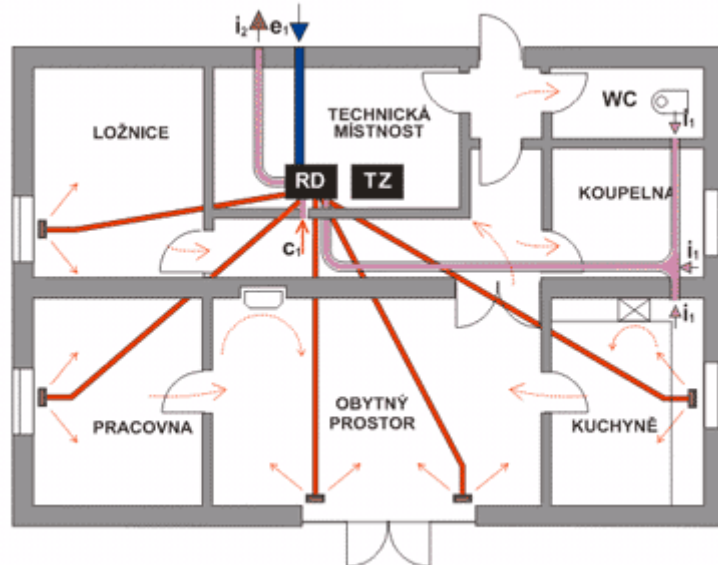
Obr. 4.3: Teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka DUPLEX RC od firmy ATREA [41].

Umisťují se nejčastěji do technických místností nebo pod stropem v chodbě (hrozí zvýšení hlukových emisí). V současné době se jeví jako nejlepší řešení pro teplovzdušné vytápění. Je však nutné je napojit na zdroj topné vody, která ohřívá přiváděný vzduch, tím se výrazně zvyšují investiční náklady. Jednotky mají obvykle více provozních režimů (např. ryze větrací, cirkulační apod.), které zjednodušují jejich ovládání a zároveň mohou flexibilně reagovat na uživatelské potřeby.

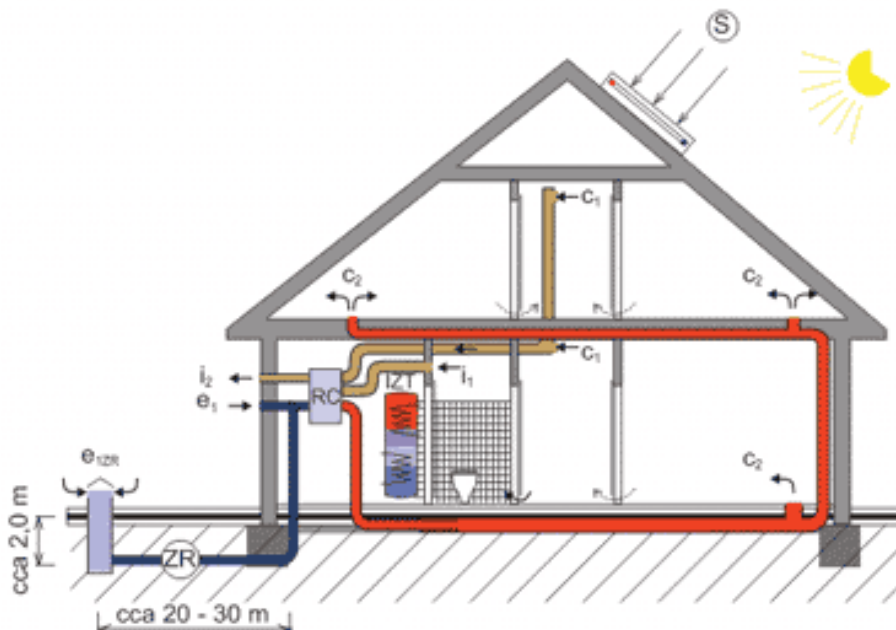
4.3.3 Rozvody potrubí

Vzduch je po objektu rozváděn kruhovým nebo čtyřhranným potrubím vedeným nejčastěji v podlaze, ve stropě nebo v podhledu. Výjimkou však nejsou ani části potrubí tzv. „přiznané“, které vedou přímo pod stropem. Materiál pro tyto rozvody je běžný vzduchotechnický, používá se ocel, pozinkovaný plech nebo spiro potrubí. Potrubí musí být vzduchotěsné a pokud je vedeno nevytápěnými prostory dobře tepelně izolované, aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti ze vzduchu [20]. Návrh potrubního rozvodu musí také zohledňovat hlukové poměry. Přívodní vyústky jsou umístěny nejčastěji v podlaze pod okny nebo obecně ve spodní části místnosti. Odvodní vyústky jsou naopak umístěny v horní části místnosti. Umístění přívodních i odvodních vyústek je důležité pro zaručení správné pohody obyvatel tak, aby nebyli obtěžováni vyfukovaným vzduchem a zároveň, aby byl teplý vzduch do místnosti distribuován rovnoměrně.

Jak už bylo dříve uvedeno, přívodní vyústky se umisťují do obytných místností (ložnice), zatímco odvodní do místností se vznikajícími škodlivinami (koupelny, wc, kuchyně). Vyústka cirkulačního potrubí se umisťuje do prostoru bez vznikajících škodlivin (nejčastěji na chodbu) nebo do blízkosti doplňkového zdroje tepla (krbová kamna). Příklady trasování vzduchovodů je možné vidět na obr. 4.4 a obr. 4.5.



Obr. 4.4: Půdorys vzorového potrubního rozvodu firmy ATREA (RD-větrací a vytápěcí jednotka, TZ-tepelný zdroj, i_1 -odpadní vzduch, i_2 -výfuk odpadního vzduchu, c_1 -cirkulační vzduch, e_1 -čerstvý vzduch) [42].



Obr. 4.5: Bokorys vzorového potrubního rozvodu firmy ATREA v zapojení se solárním kolektorem, ZVT a integrovaným zásobníkem tepla (RC-větrací a vytápěcí jednotka, IZT-integrovaný zásobník tepla, ZR-zemní registr, S-solární kolektor, i_1 -odpadní vzduch, i_2 -výfuk odpadního vzduchu, c_1 -cirkulační vzduch, c_2 -cirkulační a čerstvý vzduch do pobytových místností, e_1 -čerstvý vzduch, e_{1ZR} - čerstvý vzduch přiváděný zemním registrem) [42].

S teplovzdušným vytápěním souvisí problematika víření prachu v místnostech. Uživatelé mají často strach z jeho víření a usazování v místnostech. Provoz teplovzdušného vytápěcího a větracího systému však prašnost prostředí snižuje, neboť cirkulující vzduch prochází filtrem. Riziko zvýšené prašnosti hrozí v případě delší odstávky systému, kdy se víří prach usazený přímo v potrubí.

4.3.4 Systémy provozu teplovzdušného vytápění

Provoz vytápění teplým vzduchem může mít charakter ryze cirkulační, ventilační nebo kombinovaný [20]. Koncepce provozu musí být známa už ve fázi návrhu, v již postavené budově je vzhledem k prostorové náročnosti obtížné přetvořit cirkulační systém na ventilační. Naopak ventilační systém lze využít také jako cirkulační.

- Systém s cirkulačním provozem: Vzduch je ohříván v teplovzdušném agregátu a rozvody veden do jednotlivých místností, zároveň je zpětně nasáván v chodbě. Transport vzduchu mezi místnostmi zajišťují větrací mřížky ve dveřích nebo netěsnosti kolem dveří. Tento systém je typický především pro Severní Ameriku (USA, Kanada), v Evropě se uplatňuje pouze v některých skandinávských zemích.
- Systémy s ventilačním nebo kombinovaným provozem: Principem ventilačního a kombinovaného provozu je spojení vytápění a větrání v jeden celek, čímž lze dosáhnout významných ekonomických úspor (nejúspornější je systém kombinovaný). Tento koncept je vhodný právě pro budovy s nízkou energetickou náročností, protože díky kvalitnímu zateplení se zvyšuje povrchová teplota konstrukcí a tím se eliminuje negativní sálání ploch. Srdcem tohoto systému jsou vytápěcí a větrací jednotky (viz kap. 4.3.2), které mohou dle nastaveného režimu téměř libovolně kombinovat principy všech systémů vytápění a větrání. Rozvody potrubí jsou v tomto případě náročnější než u cirkulačního vytápění nebo samostatného větrání, protože je třeba rozvody doplnit o potrubí cirkulačního vzduchu. Podle [8] se větrací systém s cirkulací vzduchu v zahraničí příliš nepoužívá a z hygienického hlediska je považován až za nevhodný. Tywoniak však upozorňuje, že při kvalitním návrhu a provedení je bezproblémový.

5 Inteligentní řízení budov

Propojením řízení systémů v domě počítačovou nebo komunikační technologií, která je schopná reagovat na aktuální potřeby obyvatel a ovládat propojené systémy (vytápění, větrání, chlazení ale také ohřev teplé vody, stínění a mnoho dalších elektronicky řízených systémů) [30]. Cílem tohoto inteligentního systému je zvýšení komfortu obyvatel, ale také úspora energií. Inteligentní dům je poměrně široká kategorie budov, Valeš je rozděluje do vzájemně navazujících kategorií:

- Domy obsahující inteligentní zařízení a systémy: Systémy pracují nezávisle na ostatních.
- Domy obsahující inteligentní komunikující zařízení a systémy: Systémy v domě jsou propojeny a mohou si předávat informace mezi sebou.
- Propojené domy: Systémy v domě jsou propojeny na úrovni vnitřní a vnější komunikační sítě.
- Učící se domy: Systémy zaznamenávají informace o aktivitě v domě a následně je využívají pro ovládání technologií podle předvídaných potřeb obyvatel.
- Pozorné domy: Systém snímá aktivitu a okamžitou polohu obyvatel a využívá informace pro řízení technologií podle předvídaných potřeb obyvatel.

Inteligentní propojení systémů vytápění a větrání (případně klimatizace) je zajímavé z ekonomického hlediska (minimalizace energetických ztrát). Dům může být řízen za pomoci čidel teploty, vlhkosti nebo koncentrací CO_2 ve více místnostech tak, aby nebylo nutné topit a větrat tam, kde to není opravdu potřeba. Samozřejmostí je ekvitermní řízení vnitřního mikroklimatu (tzn. v závislosti na venkovní teplotě) Další velkou výhodou je hospodárné nakládání s akumulovaným teplem. Systém vytápění a větrání je však nutno vybavit těmito čidly a prvky pro požadovanou regulaci (klapky, ventily apod.), což pochopitelně navyšuje pořizovací náklady. Řízení těchto systémů je vhodné automaticky pro režimy nastavené pro určitý čas (moderněji lze zajistit automatické řízení podle snímačů počtu a aktivity osob), naprosto nezbytná je však možnost manuálního přenastavení.

Jednotlivé systémy jsou v inteligentně řízeném domě propojeny v komunikační sběrnici, která je ovládána termostatem nebo přes počítač. Systém lze přes počítač také snadno monitorovat, podrobněji programovat nebo dálkově ovládat. Výjimkou nejsou ani systémy vybavené GSM bránou (ovladatelné textovou zprávou SMS), což je vhodné např. při delší nepřítomnosti obyvatel a celkovém útlumovém režimu, systém je schopen zajistit požadované mikroklima již při návratu obyvatel.

6 Výpočet tepelného výkonu objektu

6.1 Popis objektu

Systém teplovzdušného vytápění a větrání je navrhován do dvoupodlažního rodinného domu v Brně (podklady laskavě poskytl Ing. Vyhňák). V příloze 7 jsou stavební výkresy objektu. Charakteristika budovy a základní klimatické údaje jsou vypsány v tab. 6-1:

Tab. 6-1: Charakteristika budovy a základní klimatické údaje.

Lokalita	Brno
Venkovní výpočtová teplota θ_e [$^{\circ}\text{C}$]	-12
Roční průměrná venkovní teplota $\theta_{m,e}$ [$^{\circ}\text{C}$]	3,6
Počet dnů otopného období d [-]	222
Nadmořská výška h [m]	227
Krajinná oblast	krajina s intenzivními větry
Obvod budovy P [m]	62,48
Povrch zastavěné části budovy A_G [m^2]	185,54
Charakteristické číslo budovy B [$\text{Pa}^{0,67}$]	5,9

6.2 Výpočet součinitel prostupu tepla konstrukcí U_k [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Pro výpočet tepelného výkonu budovy, který je nutný pro návrh vytápěcího systému je nutné vypočítat součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. V této kapitole je v tab. 6-2 uveden vzorový výpočet vnější obvodové stěny SO1, kompletní výpočet všech konstrukcí je uveden v příloze 4. Výpočet byl proveden dle ČSN 73 0540 [37].

Součinitel prostupu tepla konstrukcí se vypočte:

$$U_k = \frac{1}{R} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (6-1)$$

Přičemž tepelný odpor konstrukce je roven:

$$R = R_{SI} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{SE} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right] \quad (6-2)$$

U_k obvodové stěny SO1 je tedy (výpočty byly prováděny s přesnými hodnotami, pro tento vzorový výpočet jsou hodnoty zaokrouhleny):

$$U_k = \frac{1}{0,13 + \frac{0,005}{0,0057} + \frac{0,24}{2,18} + \frac{0,3}{7,69} + \frac{0,002}{0,0029} + \frac{0,003}{0,0034} + 0,04} \cong 0,099 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

V tab. 6-3 jsou uvedeny všechny použité konstrukce v budově s jejich celkovou tloušťkou s [m], popisem a součinitelem $U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$:

Tab. 6-2: Vzorový výpočet součinitele prostupu tepla $U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ vnější obvodové stěny SO1.

Stěna obvodová - SO1			
Vrstvy konstrukce	Součinitel tep. vodivosti λ	Tep. odpor R	Tloušťka vrstvy s
	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	$[K \cdot m^2 \cdot W^{-1}]$	[m]
Tep. odpor - vnitřní strana, svislý	-	0,13	-
Omítka tenkovrstvá	0,88	0,0057	0,005
Zdivo z vápenopískových cihel	0,11	2,1818	0,24
Pěnový polystyrén fasádní	0,039	7,6923	0,3
Armovaná stěrka	0,7	0,0029	0,002
Omítka tenkovrstvá	0,88	0,0034	0,003
Tep. odpor - vnější strana	-	0,04	-
Tloušťka konstrukce s_c [m]			0,55

Součinitel prostupu tepla U_k	0,099 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
---	---

Tab. 6-3: Součinitele prostupu tepla $U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ všech konstrukcí.

Označení konstrukce	Popis konstrukce	Celková tloušťka konstrukce s	Součinitel prostupu tepla U_k
		[m]	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
SO1	vnější obvodová stěna	0,55	0,099
SO2	vnější obvodová stěna okolo garáže	0,35	0,203
SN1	vnitřní stěna se sádkokartonem	0,385	0,175
SN2	vnitřní stěna ke garáži	0,305	0,265
SN3	vnitřní příčka k pomocným místnostem	0,129	0,714
SN4	vnitřní příčka do pracovny	0,254	0,394
PDL1	podlaha pobytové oblasti s dřevěnou nášlapnou vrstvou	0,433	0,137
PDL2	podlaha pobytové oblasti s dlážděnou nášlapnou vrstvou	0,433	0,135
PDL3	podlaha přilehlých oblastí s dlážděnou nášlapnou vrstvou	0,4	0,188
PDL4	podlaha pobytové oblasti bez nášlapné vrstvy	0,385	0,188
PDL5	podlaha garáže	0,4	0,358
STR1	strop 1.NP/2.NP s dřevěnou nášlapnou vrstvou	0,415	0,339
STR2	strop 1.NP/2.NP s dlážděnou nášlapnou vrstvou	0,415	0,33
SCH1	střecha hlavního objektu	0,815	0,079
SCH2	střecha garáže	0,565	0,164

Součinitele prostupu tepla oken a vnějších dveří jsou rovny $0,7 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$, součinitel prostupu tepla vnitřních dveří je roven $1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}$.

Jednotlivé vrstvy konstrukcí použité při výpočtu jsou uvedeny v tab. 6-4, tepelné odpory při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební konstrukcí R_{Si} , R_{SE} [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$] jsou uvedeny v tab. 6-5. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] jsou převzaty z normy ČSN 730540-3 [37]. V případě, že byly hodnoty λ převzaty z jiného zdroje, je uveden přímo za příslušnou hodnotou.

Tab. 6-4: Vrstvy konstrukcí použité při výpočtu [37].

Vrstva konstrukce [-]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Betonová mazanina	1,23
Kačírek	0,15
Podkladní deska se sítí	1,23
Sádkarton	0,15
Štěrkopískové lože	0,55
Zdivo z vápenopískových cihel	0,11 [43]
ŽB strop z vložek MIAKO	0,8
EPS 100 S Stabil	0,038
EPS 200 S Stabil	0,035
EPS T 3500	0,044 [44]
Extrudovaný polystyren XPS	0,034
Pěnový polystyrén fasádní	0,039
BITUSAN SR	0,33
Hydroizolace	0,16
SeparáčnÍ PE folie	0,33
Dlažba	1,01
Dřevěná plovoucí podlaha	0,16
Armovaná stěrka	0,7
Omítka štuková	0,88
Omítka tenkovrstvá	0,88
Stavební lepidlo	0,7

Tab. 6-5: Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební konstrukcí [37].

Druh odporu [-]	Tepelný odpor R_{Si} , R_{SE} [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$]
Tep. odpor - vnější strana	0,04
Tep. odpor - vnitřní strana, vodorovný (tok směrem nahoru)	0,1
Tep. odpor - vnitřní strana, vodorovný (tok směrem dolů)	0,17
Tep. odpor - vnitřní strana, svislý	0,13

6.3 Výpočet tepelného výkonu objektu $\phi_{HL,i}$ [W]

Tepelný výkon objektu se skládá z tepelné ztráty prostupem, větráním, infiltrací a zátopového tepelného výkonu. Jako příklad je uveden výpočet tepelného výkonu m.č. 103 Obývací pokoj (se zaokrouhlenými hodnotami). Kompletní výpočet s přesnými hodnotami je uveden v příloze 5.

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{V,inf,i} + \phi_{RH,i} \quad [W] \quad (6-3)$$

6.3.1 Výpočet tepelné ztráty prostupem $\phi_{T,i}$ [W]

Tepelná ztráta prostupem konstrukcí vychází z norem ČSN EN 12831 [39], TNI 73 0329 [38]. Výpočet prostupu tepla konstrukcí se liší podle vlastností za uvažovanou konstrukcí na prostup tepla přímo do venkovního prostředí, nevytápěným prostředím, do přilehlé zeminy a do místností o různé teplotě. Tepelná ztráta prostupem se vypočítá jako součet součinitelů tepelné ztráty prostupem do jednotlivých prostředí vynásobená výpočtovým rozdílem teplot:

$$\phi_{T,i} = \sum H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (6-4)$$

- Součinitel tepelné ztráty prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ [$W \cdot K^{-1}$]:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (6-5)$$

Kde U_{kc} je korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části, který v sobě zahrnuje lineární tepelné mosty.

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (6-6)$$

Vzhledem k tomu, že u energeticky úsporných budov by měly být veškeré tepelné mosty zcela zaizolované, hodnota ΔU_{tb} by se měla blížit nule. Ve výpočtu je korekční součinitel roven $0,01 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ pro případ nedokonalého provedení stavby.

Součinitel prostupu tepla přímo do venkovního prostředí je pak:

$$H_{T,ie} = (8,24 \cdot 0,109 \cdot 1 + 1,56 \cdot 0,71 \cdot 1 + 22,05 \cdot 0,109 \cdot 1 + 10,24 \cdot 0,71 \cdot 1 + 2,27 \cdot 0,71 \cdot 1) \frac{W}{K} \cong 13,31 \frac{W}{K}$$

- Součinitel tepelné ztráty prostupem nevytápěným prostorem $H_{T,iue}$ [$W \cdot K^{-1}$]:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (6-7)$$

Kde U_{kc} je vypočteno z rov. (6-6) a b_u [-] je teplotní redukční činitel zahrnující vliv rozdílu teplot nevytápěného a venkovního prostředí.

Pro počítanou místnost je:

$$H_{T,iue} = (9,83 \cdot 0,185 \cdot 0,4 + 8,77 \cdot 0,185 \cdot 0,2) \frac{W}{K} \cong 1,05 \frac{W}{K}$$

- Součinitel tepelné ztráty prostupem zeminou $H_{T,ig}$ [$W \cdot K^{-1}$]:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (6-8)$$

Kde f_{g1} , f_{g2} a G_w jsou korekční činitele a U_{equiv} [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] je ekvivalentní součinitel prostupu tepla odečtený z grafů a tabulek v závislosti na charakteristickém parametru B' [m] a skutečném U_k [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] podlahové konstrukce.

Pro počítanou místnost je:

$$H_{T,ig} = (1,45 \cdot 0,513 \cdot 60,85 \cdot 0,1 \cdot 1) \frac{W}{K} \cong 4,5 \frac{W}{K}$$

- Součinitel tepelné ztráty prostupem do místnosti s odlišnou teplotou $H_{T,ij}$ [W/K]:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{i,j} \cdot A_k \cdot U_{kc} \quad \left[\frac{W}{K} \right] \quad (6-9)$$

Kde U_{kc} je vypočteno z rov. (6-6) a $f_{i,j}$ [-] je redukční teplotní činitel:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vsp}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (6-10)$$

Pro počítanou místnost je:

$$H_{T,ij} = (0,312 \cdot 7 \cdot 0,185 + 0,156 \cdot 2,02 \cdot 0,404 + 0,156 \cdot 1,38 \cdot 1,61) \frac{W}{K} \cong 0,88 \frac{W}{K}$$

Dosažením vypočítaných součinitelů tepelné ztráty do rov. (6-4) dostaneme celkovou tepelnou ztrátu prostupem pro m.č. 103 Obývací pokoj (vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i} = 20$ °C).

$$\phi_{T,i} = [(13,31 + 1,05 + 4,5 + 0,88) \cdot 32] \text{ W} = 631,76 \text{ W}$$

6.3.2 Výpočet tepelné ztráty větráním $\phi_{V,i}$ [W]

Výpočet vychází z [45], kde je množství přiváděného vzduchu určeno násobností výměny n [h^{-1}], protože je hygienicky dostačující a tepelné ztráty objektu navyšuje minimálně. Tepelná ztráta větráním je:

$$\phi_{V,i} = V_{vh} \cdot c_N \cdot (\theta_i - \theta_r) \quad [W] \quad (6-11)$$

kde objemový průtok čerstvého vzduchu je:

$$V_{vh} = V_i \cdot n \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (6-12)$$

a teplota za rekuperátorem větrací jednotky je:

$$\theta_r = \eta_r \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \quad [^\circ C] \quad (6-13)$$

Účinnost rekuperátoru η_r [-] se uvažuje o desetinu menší než jak uvádí projekční podklady.

Dosazením do rov. (6-13), (6-12) a (6-11) pro počítanou m.č. 103 Obývací pokoj získáme jeho tepelnou ztrátu větráním:

$$\theta_r = [0,8 \cdot (20 - (-12)) + (-12)] \text{ } ^\circ\text{C} = 13,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{vh} = 143 \cdot 0,5 \frac{m^3}{h} = 71,5 \frac{m^3}{h}$$

$$\phi_{V,i} = 71,5 \cdot 0,337 \cdot (20 - 13,6) \text{ W} \cong 153,83 \text{ W}$$

Při výpočtu tepelné ztráty větráním neuvažujeme přehřev vzduchu v ZVT, aby byl otopný systém schopný pokrýt tepelnou ztrátu i při odstávce zařízení (např. při údržbě).

6.3.3 Výpočet tepelné ztráty infilrací $\phi_{V,inf,i}$ [W]:

Infiltrace se u NED a PD prakticky neuvažuje kvůli vysoké těsnosti obálky budovy. V našem výpočtu je infiltrace počítána pro n_{50} rovno $0,6 \text{ h}^{-1}$ (situace při velmi silném působení větru). Zahnutí infiltrace do tepelné ztráty udržuje výpočet na bezpečné straně a slouží k poukázání na minimální tepelnou ztrátu infilrací u dobře utěsněného domu. Výpočet je proveden v souladu s ČSN EN 12831 [39]:

$$\phi_{V,inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \cdot c_N \cdot (\theta_i - \theta_e) \text{ [W]} \quad (6-14)$$

Infiltrace v m.č. 103 Obývací pokoj je rovna:

$$\phi_{V,inf,i} = 2 \cdot 143 \cdot 0,6 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot 0,337 \cdot (20 - (-12)) \text{ W} \cong 36,92 \text{ W}$$

6.3.4 Výpočet zátopového tepelného výkonu $\phi_{RH,i}$ [W]:

Zátopový tepelný výkon se počítá k tepelné ztrátě objektu započítává pro vyrovnání účinku přerušovaného vytápění:

$$\phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]} \quad (6-15)$$

Zátopový tepelný výkon m.č. 103 Obývací pokoj je pak:

$$\phi_{RH,i} = 60,58 \cdot 2 \text{ W} \cong 121,16 \text{ W}$$

Dosazením výše vypočtených hodnot do rov. (6-3) dostaneme celkový návrhový tepelný výkon pro m.č. 103 Obývací pokoj:

$$\phi_{HL,i} = (631,76 + 153,83 + 36,92 + 121,16) \text{ W} = 943,66 \text{ W}$$

V tab. 6-6 jsou uvedeny návrhové tepelné výkony všech vytápěných místností v objektu:

Tab. 6-6: Návrhové tepelné výkony místností objektu.

Č.m.	Popis místnosti	$\theta_{int,i}$	$\phi_{V,i}$	$\phi_{V,i,inf,i}$	$\phi_{RH,i}$	$\phi_{T,i}$	$\phi_{HL,i}$
		[°C]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
101	Zádveří	15	16,06	1,93	16,01	428,86	462,86
103	Obývací pokoj	20	153,83	36,92	121,16	631,76	943,66
104	Pracovna	20	47,31	2,84	29,31	205,40	284,86
105	Kuchyně	20	94,62	2,84	22,37	182,84	302,67
106	Chodba	15	4,62	0,55	5,28	62,43	72,89
107	Koupelna	24	25,31	0,00	6,03	249,43	280,77
202	Chodba	20	49,63	5,96	38,72	217,62	311,93
203	Šatna	20	15,98	0,00	15,03	81,74	112,75
204	Koupelna	24	56,78	2,27	20,19	264,26	343,49
205	Dětský pokoj	20	49,07	5,89	47,02	238,11	340,08
206	Dětský pokoj	20	51,59	6,19	43,76	232,22	333,76
207	Ložnice	20	50,19	12,05	47,02	287,96	397,21
Celkový návrhový tepelný výkon ϕ_{HL} [W]							4186,93

Návrhový tepelný výkon je tedy cca 4,2 kW.

6.4 Posouzení energetického standardu budovy

Posuzování bude probíhat dle Metodiky (viz kap. 2.3, příloha 1).

1a) Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Porovnání součinitelů je uvedeno v tab. 6-7:

Tab. 6-7: Porovnání hodnot vypočtených součinitelů prostupu tepla konstrukcí s doporučenými hodnotami.

Popis konstrukce	Požadované	Doporučené	Vypočítané	Vyhodnocení
	U_{kP} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_{kD} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_k [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45 ° včetně	0,24	0,16	0,079	Splňuje
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,135-0,188	Splňuje
Stěna vnější	0,30	0,20	0,099	Splňuje
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,20	1,45	0,330-0,339	Splňuje
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	0,330-0,339	Splňuje
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,70	1,80	0,394-0,714	Splňuje
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	0,394-0,714	Splňuje
Stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,175-0,265	Splňuje
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,7	Splňuje

Požadavek 1a) je splněn bez výjimek.

1b) Střední hodnota součinitele prostupu tepla $U_{em} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (6-16)$$

$$U_{em} = \frac{97,39}{528} \frac{W}{m^2 \cdot K} = 0,184 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Požadavek 1b) je splněn pro pasivní rodinný dům ($\leq 0,22 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$).

- 2) Přívod čerstvého vzduchu: Přívod bude zajištěn do všech pobytových místností, požadavek 2) je tedy splněn.
- 3) Účinnost rekuperace: Rekuperační zařízení pro ZZT ve větrací jednotce má výrobcem udanou účinnost $\eta_r = 77\%$ pro průtok vzduchu $350 m^3 \cdot h^{-1}$ [46], požadavek 3) je splněn ($\geq 75\%$).
- 4) Neprůvzdušnost obálky: Hodnota n_{50} je uvažována $0,6 h^{-1}$, požadavek je splněn pro standard pasivního domu ($= 0,6 h^{-1}$).
- 5) Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti v letním období $\theta_i [^\circ C]$: Tato práce se nezabývá tepelnou pohodou v letním období, vzhledem ke kvalitě konstrukcí a vzduchotechnickému větracímu systému (viz dále) lze očekávat, že mezní hodnota $27^\circ C$ nebude překročena.
- 6) Měrná potřeba tepla na vytápění $E_A [kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}]$: E_A lze vypočítat pomocí tzv. „denostupňové metody“ [28].

Počet denostupňů:

$$D = d \cdot (\theta_{i,m} - \theta_{e,m}) \quad [K \cdot den] \quad (6-17)$$

Roční potřeba tepla na vytápění je pak:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon_{piv}}{\eta_o \cdot \eta_{rz}} \cdot \frac{24 \cdot \phi_{HL} \cdot D}{\theta_{i,m} - \theta_e} \cdot 10^{-3} \quad \left[\frac{kWh}{a} \right] \quad (6-18)$$

Měrná potřeba tepla na vytápění je dána podílem roční potřeby tepla na vytápění a celkové plochy konstrukcí ohraničující vytápěné prostory:

$$E_A = \frac{Q_{VYT,r}}{A} \quad \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot a} \right] \quad (6-19)$$

Aplikací rov. (6-17), (6-18) a (6-19) na zadaný objekt získáme:

$$D = 222 \cdot (19 - 3,6) \quad K \cdot den = 3418,8 \quad K \cdot den$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{0,7}{1 \cdot 0,98} \cdot \frac{24 \cdot 4187 \cdot 3418,8}{19 - (-12)} \cdot 10^{-3} \quad \frac{kWh}{a} = 7915,9 \quad \frac{kWh}{a}$$

$$E_A = \frac{7915,9}{528} \frac{kWh}{m^2 \cdot a} = 14,99 \quad \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

Měrná potřeba tepla na vytápění je tedy na úrovni pasivního domu ($\leq 15 kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$).

7) Potřeba primární energie PE_A [$kWh \cdot m^2 \cdot a^{-1}$]: Pokud budeme uvažovat 5 stálých obyvatel domu bude potřeba primární energie:

$$PE_A = \frac{Q_{VYT,r} + n_{os} \cdot Q_{ITV,r} + n_{os} \cdot Q_{ISP,r} + Q_{PD,r}}{A} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot a} \right] \quad (6-20)$$

$$PE_A = \frac{7915,9 + 5 \cdot 550 + 5 \cdot 800 + 800}{528} \frac{kWh}{m^2 \cdot a} = 29,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

Požadavek 7) je také splněn. Rodinný dům tedy odpovídá standardům pasivního domu a jeho označení dle Metodiky je PARD 16.

7 Návrh teplovzdušné části systému

Návrh teplovzdušné části systému vytápění a větrání vychází z projekčních podkladů firmy ATREA [45]. Jako teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka byla navržena jednotka DUPLEX RA3-EC od téže firmy [46].

7.1 Stanovení množství větracího a vytápěcího vzduchu

Výpočet pro stanovení množství větracího a vytápěcího vzduchu (vzduch přiváděný do místnosti je označován jako cirkulační) je vzorově proveden pro m.č. 103 Obývací pokoj a skládá se z několika dílčích kroků:

- Stanovení maximálního množství cirkulačního vzduchu ${}^{max}V_m [m^3 \cdot h^{-1}]$: Stanovuje se s ohledem na průvan pro nejvyšší přípustnou intenzitu výměny vzduchu $n = 2 h^{-1}$:

$${}^{max}V_m = V \cdot n \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-1)$$

$${}^{max}V_m = 143 \cdot 2 \frac{m^3}{h} = 286 \frac{m^3}{h}$$

- Stanovení doporučeného množství cirkulačního vzduchu ${}^{min}V_m [m^3 \cdot h^{-1}]$: Stanovuje se s ohledem na dostatečné provětrání místnosti v závislosti na jejím obsazení. Hodnoty vycházejí ze zkušeností z provozu realizovaných objektů. Pro obývací pokoj neoddělený od kuchyně je to $25 m^3 \cdot h^{-1}$ na osobu. Při obsazení obývacího pokoje čtyřmi lidmi je tedy hodnota ${}^{min}V_m = 100 m^3 \cdot h^{-1}$.
- Stanovení množství topného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát objektu $V_{c2} [m^3 \cdot h^{-1}]$:

$$V_{c2} = \frac{\phi_{HL,tvzduch}}{c_N \cdot (\theta_{c2} - \theta_i)} \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-2)$$

Teplotu $\theta_{c2} [^{\circ}C]$ stanovíme z technických podkladů vytápěcí a větrací jednotky v závislosti na teplotě otopné vody a na ${}^{max}V_m$ všech teplovzdušně vytápěných místností objektu (tab. 7-1). Zároveň je třeba stanovit výkon jednotky tak, aby byla schopná pokrýt tepelné výkon teplovzdušně vytápěné části objektu $\phi_{HL,tvzduch} [W]$ (tab. 7-1). Teplota otopné vody pro jednotku byla stanovena na $50^{\circ}C$ a odečet hodnot maximálního výkonu jednotky $Q_c [kW]$ a teploty $\theta_{c2} [^{\circ}C]$ je znázorněn na obr. 7.1. Teplota θ_{c2} tedy byla stanovena $47^{\circ}C$ a maximální výkon jednotky $3,9 kW$ při teplotě otopné vody $50^{\circ}C$. Hodnota V_{c2} je pak:

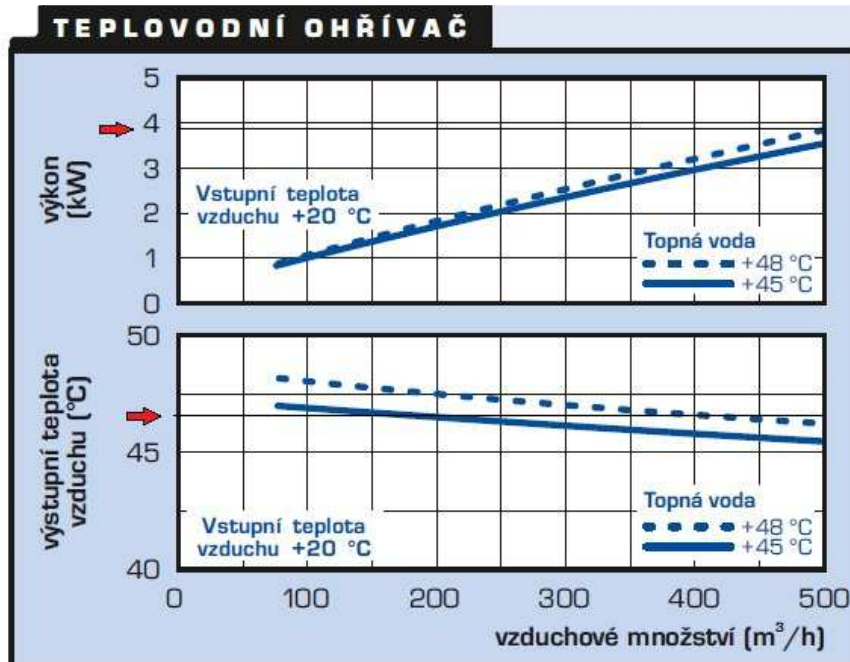
$$V_{c2} = \frac{3100}{0,337 \cdot (47 - 20)} \frac{m^3}{h} = 340,7 \frac{m^3}{h}$$

Celkové množství přiváděného vzduchu je tedy menší než zvolená hodnota maximálního přípustného množství přiváděného vzduchu ($500 m^3 \cdot h^{-1}$), lze tedy ve výpočtu pokračovat s uvedenými hodnotami veličin.

Tab. 7-1: Přehled hodnot pro dimenzování množství cirkulačního vzduchu teplovzdušně vytápěné části objektu [45].

M.č.	Popis místnosti	Tepelný výkon $\phi_{HL,i}$	Maximální množství cirkulačního vzduchu $_{max}V_m$	Doporučené množství cirkulačního vzduchu $_{min}V_m$	Množství topného vzduchu V_m	Množství topného vzduchu V_{NORM}	Počet podlahových výústek PMR
		[W]	[$m^3 \cdot h^{-1}$]	[$m^3 \cdot h^{-1}$]	[$m^3 \cdot h^{-1}$]	[$m^3 \cdot h^{-1}$]	[ks]
103	Obývací pokoj	943,66	286	100	103,7	100	4
104	Pracovna	284,86	44	30	31,3	30	1
105	Kuchyně	302,67	44	60	33,3	33,3	1
106	Chodba	72,89	10	10	6,8	6,8	-
202	Chodba	311,93	92	10	34,3	18,9	-
203	Šatna	112,75	30	10	12,4	10	-
205	Dětský pokoj	340,08	91	30	37,4	30	1
206	Dětský pokoj	333,76	96	30	36,7	30	1
207	Ložnice	397,21	93	40	43,7	40	2
		3100	786*	320	≈ 341	299	10

*Pozn.: Vzhledem k tomu, že nelze předpokládat průtok vzduchu pro pokrytí tepelného výkonu objektu $786 m^3 \cdot h^{-1}$, je celková hodnota maximálního přiváděného vzduchu snížena na $500 m^3 \cdot h^{-1}$, tedy hodnotu, kterou je jednotka schopna dodávat.



Obr. 7.1: Závislost výstupní teploty vzduchu a výkonu teplovzdušné jednotky DUPLEX RA3-EC na teplotě topné vody a množství proudícího vzduchu [46].

- Stanovení množství topného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát místnosti $V_m [m^3 \cdot h^{-1}]$:

$$V_m = \frac{\phi_{HL,i}}{c_N \cdot (\theta_{c2} - \theta_i)} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-3)$$

Pro místnost 103 Obývací pokoj je pak množství topného vzduchu:

$$V_m = \frac{943,66}{0,337 \cdot (47 - 20)} \frac{m^3}{h} = 103,7 \frac{m^3}{h}$$

- Určení minimálního počtu podlahových vyústek PMR v místnosti: Jako limitní vzduchové množství jednou vyústkou se uvažuje hodnota $80 m^3 \cdot h^{-1}$.

$$PMR \geq \frac{V_m}{80} \quad [ks] \quad (7-4)$$

Pro místnost 103 Obývací pokoj je PMR tedy:

$$PMR \geq \frac{103,7}{80} \quad ks \geq 1,3 \quad ks \geq 2 \quad ks$$

Pro lepší rozložení teploty v místnosti, lepší proudění vzduchu a snížení hluku jsou v místnosti 103 Obývací pokoj navrženy 4 podlahové vyústky. Pro kontrolu výpočtu provedeme porovnání:

$$\max V_m \geq V_m \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-5)$$

$$286 \geq 103,7 \frac{m^3}{h}$$

- Stanovení množství topného vzduchu pro průměrnou venkovní teplotu v otopném období $V_{NORM} [m^3 \cdot h^{-1}]$: Hodnota průtoku vzduchu odpovídá průměrné venkovní teplotě v otopném období 1-3 °C, běžně je to 55-60 % maximálního průtočného množství:

$$V_{NORM} = V_m \cdot 0,55 \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-6)$$

Pro m.č. 103 Obývací pokoj je to:

$$V_{NORM} = 103,7 \cdot 0,55 \frac{m^3}{h} \cong 57,1 \frac{m^3}{h}$$

Je nutné provést kontrolu pro minimální množství přiváděného vzduchu:

$$V_{NORM} \geq^{\min} V_m \quad (7-7)$$

$57,1 \geq 100$, vzhledem k tomu, že podmínka minimálního množství přiváděného vzduchu nebyla splněna, hodnotu V_{NORM} lze dále uvažovat rovnu hodnotě $^{\min} V_m$.

Hodnoty, výše počítané pro m.č. 103 Obývací pokoj, jsou pro všechny teplovzdušně vytápěné místnosti souhrnně uvedeny v tab. 7-1. Rovnice (7-7) nebyla splněna v m.č. 105 Kuchyně, jejíž systém větrání bude blíže řešen v kap. 7.3 a v m.č. 106 Chodba, kde je množství přiváděného vzduchu vzhledem k charakteru a velikosti dostačující.

7.1.1 Dimenzování množství přiváděného vzduchu

Z hodnot stanovených v předchozí kapitole (viz v tab. 7-1) se dále dimenzuje množství přiváděného vzduchu pro různé provozní režimy jednotky.

- Dimenzování množství vzduchu pro ryze cirkulační režim: Režim jednotky číslo 3 je základním doporučovaným režimem pro otopné období. Systém pracuje pouze se vzduchem cirkulujícím v objektu, bez přístupu čerstvého vzduchu s nárazovým provětráním. Odtahový ventilátor se tedy spíná nárazově s doběhem nebo se po dobu sepnutí ventilátoru mění charakter větrání na rovnotlaké bez doběhu. Množství cirkulačního vzduchu (v tomto případě bez čerstvého vzduchu) $V_{c1} [m^3 \cdot h^{-1}]$ se stanoví jako:

$$V_{c1} = V_{c2} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-8)$$

- Dimenzování množství vzduchu pro ryze větrací režim: Větrací režim jednotky číslo 5 pracuje pouze s čerstvým venkovním vzduchem. Jedná se o intenzivní přetlakový režim vhodný pro letní chlazení. Odvod vzduchu probíhá většinou pootevřenými okny, ventilátor odpadního vzduchu je spínán nárazově. Je využit tzv. „by-pass“ jednotky, při kterém odpadní vzduch neprochází přes rekuperační výměník. Množství přiváděného čerstvého vzduchu $V_{e1} [m^3 \cdot h^{-1}]$ je:

$$V_{e1} = V_{c2} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (7-9)$$

7.2 Dimenzování množství odváděného vzduchu

Podle [45] se doporučuje dimenzovat množství odváděného vzduchu dle normy DIN 1946. Množství odváděného vzduchu při nárazovém větrání je podle této normy uvedeno v tab. 7-2:

Tab. 7-2: Množství odsávaného vzduchu při nárazovém větrání podle DIN 1946 [45].

Místnost	Druh větrání	Množství odsávaného vzduchu V_{it}
		$[m^3 \cdot h^{-1}]$
Kuchyně	základní, libovolná provozní doba	60
	základní, provozní doba delší než 12 h/den*	40
Koupelna	základní, libovolná provozní doba	60
	základní, provozní doba delší než 12 h/den*	40
WC	základní, libovolná provozní doba	30
	základní, provozní doba delší než 12 h/den*	20
Šatna	základní, libovolná provozní doba	10
	základní, provozní doba delší než 12 h/den*	5
Zádveří	základní, libovolná provozní doba	15
	základní, provozní doba delší než 12 h/den*	10

*Pozn.: Provozní doba delší než 12 h/den uvažujeme u objektů s více než dvěma koupelnami.

Pro náš případ neuvažujeme větrání zádveří a vzhledem k tomu, že WC je spojeno s koupelnami, je třeba množství odváděného vzduchu korigovat. Odsávání v šatně je navrženo z důvodu uvažovaného zvýšení prašnosti v místnosti. Množství odváděného vzduchu pro daný rodinný dům je uvedeno v tab. 7-3.

Celkově bude odsáváno čtyřmi vyústkami maximálně $220 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ vzduchu. Odváděcí vyústky budou umístěny v horní části místnosti, tzn. pod stropem nebo přímo ve stropě.

Tab. 7-3: Množství odsávaného vzduchu pro daný RD.

Č.m.	Popis místnosti	Množství odsávaného vzduchu V_{i1}
		$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
105	Kuchyně	60
107	Koupelna	75
203	Šatna	10
204	Koupelna	75
		220

7.3 Návrh větracího systému kuchyně

Vzhledem k tomu, že v m.č. 105 Kuchyně nebylo splněno doporučené množství přiváděného vzduchu a je uvažováno jen s přívodem vzduchu pro krytí tepelného výkonu místnosti, je navržena do této místnosti recirkulační kuchyňská digestoř s tukovým a uhlíkovým filtrem (obr. 7.2), aby bylo zajištěno odlučování mastnoty i pachů. Vzduch je po průchodu digestoří navrácen zpět do kuchyně [29]. Odtah vzduchu je zajištěn vyústkou umístěnou ve stropě kuchyně, která bude dimenzována pro průtok V_{i1} podle tab. 7-3.



Obr. 7.2: Filtry užívané v kuchyňských digestořích: 1, 2-uhlíkové, 3-kovový [29].

Přívodní vyústka bude umístěna pod oknem, vzhledem k tomu, že všechny stěny kuchyně jsou obestavěny kuchyňskými spotřebiči a kuchyňskou linkou, je nutné, aby byla kuchyňská linka v provedení na nožičkách. Toto provedení umožňuje proudění vzduchu z přívodní vyústky do místnosti.

7.4 Výpočet zemního výměníku tepla

Pro předeřev, předchlazení větracího vzduchu a především jako účinná protimrazová ochrana je navržen vzduchový zemní výměník tepla v klasickém provedení. Potrubí ZVT bude tvořeno trubkami z kanalizačního PVC o průměru 200 mm. Vzduch bude nasáván z šachty umístěné podél venkovní stěny na západní straně objektu. Potrubí bude spádované směrem k šachtě (spád minimálně 1 ‰) a bude uloženo 2 m pod povrchem. Do technické místnosti bude potrubí vyvedeno podlahou v rohu a dále kolmo do T-kusu. Napojení potrubí z kanalizačního PVC bude provedeno ohebnou hadicí s tepelnou a zvukovou izolací Sonovac. Pro správnou funkci je nutné zajistit nadnulovou teplotu na výstupu ze ZVT. Postup výpočtu je proveden dle [32].

- Stanovení vnitřního průměru trubky D_{pipe} [m]:

$$D_{pipe} = D_n - 2 \cdot \delta \quad [m] \quad (7-10)$$

Kde D_n [m] je vnější průměr trubky a δ [m] je tloušťka stěny trubky.

$$D_{pipe} = 0,2 - 2 \cdot 0,002 \quad m = 0,196 \quad m$$

- Stanovení hmotnostního toku vzduchu ZVT m_{IN} [kg·s⁻¹]:

$$m_{IN} = \frac{V_m \cdot \rho}{3600} \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (7-11)$$

Kde V_m [m³·h⁻¹] je množství přiváděného vzduchu ZVT a ρ [kg·m⁻³] je hustota vzduchu.

$$m_{IN} = \frac{341 \cdot 1,29}{3600} \quad \frac{kg}{s} = 0,1222 \quad \frac{kg}{s}$$

- Stanovení hmotnostního toku vzduchu jednou trubkou ZVT m_{pipe} [m³·h⁻¹]:

$$m_{pipe} = \frac{m_{IN}}{n} \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (7-12)$$

Ve výpočtu uvažujeme jen s jednou trubkou zemního výměníku, $n=1$.

$$m_{pipe} = \frac{0,1222}{1} \quad \frac{kg}{s} = 0,1222 \quad \frac{kg}{s}$$

- Stanovení vnitřního obvodu potrubí trubky P_{pipe} [m]:

$$P_{pipe} = \pi \cdot D_{pipe} \quad (7-13)$$

$$P_{pipe} = \pi \cdot 0,196 \quad m = 0,6158 \quad m$$

- Stanovení výstupní teploty ze ZVT θ_{bOUT} [°C]:

$$\theta_{bOUT} = \theta_w - (\theta_w - \theta_{bIN}) \cdot \exp\left(-\frac{P_{pipe} \cdot L_{pipe}}{m_{pipe} \cdot c} \cdot h\right) \quad [^\circ C] \quad (7-14)$$

Kde θ_w [°C] je teplota zeminy, θ_{bIN} [°C] je vstupní teplota do ZVT ($=\theta_e$), c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] je měrná tepelná kapacita vzduchu a h [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$], jejíž hodnota byla stanovena na $11,57 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. L_{pipe} [m] je délka potrubí ZVT, jejíž hodnota byla zvolena 5 m.

$$\theta_{bOUT} = 5 - (5 - (-12)) \cdot \exp\left(-\frac{0,6158 \cdot 5}{0,1222 \cdot 1000} \cdot 11,57\right) \text{ } ^\circ\text{C} = 1,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Stanovení tepelného výkonu jedné trubky ZVT Q_{1ZVT} [W]:

$$Q_{1ZVT} = m_{pipe} \cdot c_p \cdot (\theta_{bOUT} - \theta_{bIN}) \text{ [W]} \quad (7-15)$$

$$Q_{1ZVT} = 0,1222 \cdot 1000 \cdot (1,04 - (-12)) \text{ W} = 1593,8 \text{ W}$$

- Stanovení celkového tepelného výkonu ZVT Q_{ZVT} [W]:

$$Q_{ZVT} = n \cdot Q_{1ZVT} \quad (7-16)$$

$$Q_{ZVT} = 1 \cdot 1593,8 \text{ W} = 1593,8 \text{ W}$$

Délka potrubí ZVT byla stanovena na 25 m, výstupní teplota vzduchu je pak 1,04 °C a maximální výkon je 1,59 kW.

7.5 Návrh potrubní sítě vzduchotechnického potrubí

Potrubní rozvod VZT (včetně všech distribučních a regulačních prvků) byl navržen dle [48] s ohledem na doporučení vycházející z [45]. Kompletní výkresy potrubních rozvodů vzduchotechniky jsou uvedeny v příloze 8.

7.5.1 Přívodní potrubí

Přívodní potrubí je navrženo z ocelového pozinkovaného plechu čtyřhraného průřezu o rozměrech 200 x 50 mm. Potrubí je typu B, tzn. podlahový kanál vhodný pro mokré podlahy. Topný vzduch proudí z jednotky ve dvou směrech - do rozdělovací komory pod jednotku RKJ pro přívod vzduchu do místností 1 NP a do cirkulační přechodové komory CPK BN s napojením na rozdělovací komoru RKD pro přívod vzduchu do místností 2 NP. Propojení výstupního hrdla topného vzduchu a cirkulační přechodové komory je realizováno ohebnou hadicí Sonovac.

Spojování potrubních kanálů je provedeno pomocí kanálové spojky přímé KSP a úhlové KSU (s úhlem 45°). Při použití těchto spojek nehrozí deformace profilu potrubí v betonové podlaze a není nutné užití podložního plechu pod podlahové kanály.

Přívod potrubí k distribučním elementům je zajištěn koncovými krabicemi v čelním (KKC) nebo bočním (KKB) provedení. Jako distribuční prvek je ve všech případech navržena kovová podlahová mřížka PMK (obr. 7.3).



Obr. 7.3: Podlahová mřížka 250 x 97 mm, provedení mosaz/chrom [48].

7.5.2 Potrubní rozvod odpadního, čerstvého a cirkulačního vzduchu

Odtah odpadního vzduchu je prováděn z místností uvedených v tab. 7-3 talířovými ventily (KO). Odvodní potrubí je vytvořeno z ohebné hadice s tepelnou izolací Thermoflex MI. Větvení potrubí zajišťují jednostranné odbočky z pozinkovaného plechu OBJ 90°. Výfuk odpadního vzduchu je realizován fasádním přechodem (S-VPF) zakončeným protidešťovou žaluzií (PZ) přes fasádu do venkovního prostředí.

Čerstvý vzduch je přiváděn přes protidešťovou žaluzii a fasádní přechod do T-kusu zemního výměníku (TKR LM24). Podle teploty venkovního vzduchu je čerstvý vzduch nasáván z venkovního prostředí přes žaluzii nebo přes zemní výměník tepla, jehož potrubí je vyvedeno v technické místnosti z podlahy. Jako potrubí je pro čerstvý vzduch navržena ohebná hadice Sonovac.

Pro cirkulační vzduch (ke smíšení s čerstvým vzduchem a vytápění) je navrženo opět potrubí Sonovac. Vzduch je nasáván v Obývacím pokoji a v chodbě 2 NP přes dřevěnou stěnovou mřížku (SMD) do interiérové přechodové mřížky (PMI) a odtud do potrubí. Větvení potrubí je zajištěno jednostrannými odbočkami z pozinkovaného plechu.

7.5.3 Tlakové ztráty VZT potrubí

Tlakové ztráty rozdělujeme na ztráty třením $\Delta p_t [Pa]$ a místními odpory $\Delta p_m [Pa]$. Výpočty jsou prováděny pro jednotlivé úseky (označeny ve výkresech přílohy 8) metodou celkových tlaků pro předem zvolené rozměry potrubí. Pro názornost bude uveden příklad výpočtu tlakových ztrát úseku 1-c2.

- Výpočet ekvivalentního průměru potrubí $d_{ekv} [m]$:

$$d_{ekv} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \quad [m] \quad (7-17)$$

$$d_{ekv} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 0,05}{0,2 + 0,05} \quad m = 0,08 \quad m$$

- Stanovení rychlosti proudění vzduchu $w [m \cdot s^{-1}]$:

$$w = \frac{V_m}{a \cdot b \cdot 3600} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (7-18)$$

Pro objemový průtok $V_m=21,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ úsekem 1-c2 je rychlost:

$$w = \frac{21,9}{0,2 \cdot 0,05 \cdot 3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cong 0,61 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Výpočet měrné tlakové ztráty třením $R_t [\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}]$ dle [31]:

$$R_t = 0,01218 \cdot w^{1,875} \cdot d_{ekv}^{-1,235} \left[\frac{\text{Pa}}{\text{m}} \right] \quad (7-19)$$

$$R_t = 0,01218 \cdot 0,61^{1,875} \cdot 0,08^{-1,235} \frac{\text{Pa}}{\text{m}} = 0,11 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

- Výpočet tlakové ztráty třením $\Delta p_t [\text{Pa}]$:

$$\Delta p_t = R_t \cdot L \quad [\text{Pa}] \quad (7-20)$$

Pro délku úseku $L=15,7 \text{ m}$ je pak tlaková ztráta třením:

$$\Delta p_t = 0,11 \cdot 15,7 \text{ Pa} \cong 1,7 \text{ Pa}$$

- Výpočet tlakové ztráty místními odpory $\Delta p_m [\text{Pa}]$:

$$\Delta p_m = \Sigma \zeta \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (7-21)$$

Suma místních odporů $\Sigma \zeta$ se pro úsek 1-c2 skládá z podlahové mřížky PMK, čelní koncové krabice KKC a šesti úhlových spojek KSU. Celková hodnota $\Sigma \zeta=2,79$.

$$\Delta p_m = 2,79 \cdot 1,1 \cdot \frac{0,61^2}{2} \text{ Pa} = 0,57 \text{ Pa}$$

- Celková tlaková ztráta úseku $\Delta p_c [\text{Pa}]$:

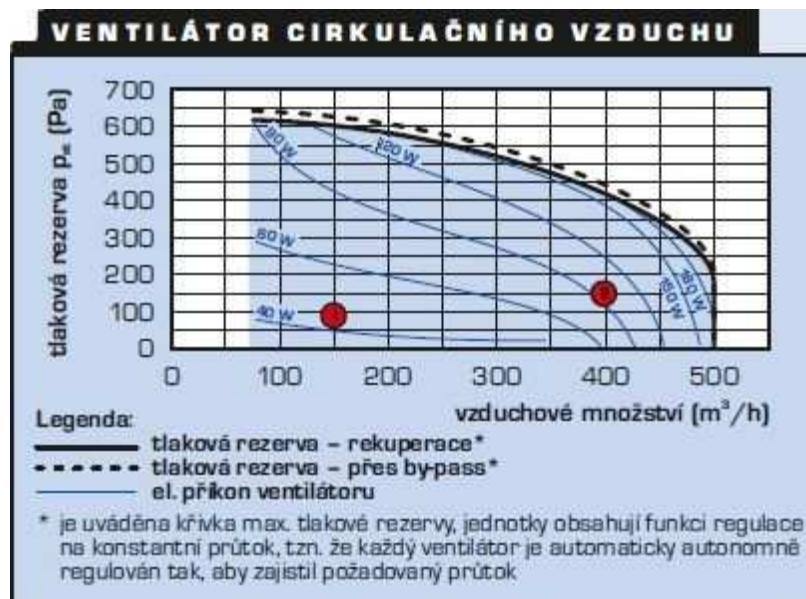
$$\Delta p_c = \Delta p_t + \Delta p_m \quad [\text{Pa}] \quad (7-22)$$

$$\Delta p_c = 1,7 + 0,57 \text{ Pa} = 2,27 \text{ Pa}$$

Rychlost výstupu vzduchu z žádné podlahové vyústky nepřekračuje $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Výpočty tlakových ztrát všech úseků vzduchotechniky jsou uvedeny v příloze 6.

7.5.4 Návrh ventilátorů

V jednotce jsou umístěny dva ventilátory, jeden pro čerstvý, přírodní a cirkulační vzduch, druhý pro vzduch odpadní. Maximální tlaková ztráta cirkulačního ventilátoru je $78,92 \text{ Pa}$, odtahového ventilátoru $66,75 \text{ Pa}$. Dle grafů (obr. 7.4, 7.5) pro ventilátory užitých v jednotce je v obou případech navržena varianta ventilátoru o nižším výkonu.



Obr. 7.4: Výkonové parametry ventilátoru cirkulačního vzduchu ($V_m=341 m^3 \cdot hod^{-1}$, $\Delta p_c=78,92 Pa$) [46].



Obr. 7.5: Výkonové parametry ventilátoru odsávaného vzduchu ($V_m=220 m^3 \cdot hod^{-1}$, $\Delta p_c=66,75 Pa$) [46].

8 Návrh teplovodní části systému

8.1 Zdroj tepla

Navrženým zdrojem tepla pro teplovzdušnou vytápěcí a větrací jednotku DUPLEX RA3-EC, pro podlahové vytápění a současně jako zdroj teplé užitkové vody je závěsný plynový kondenzační kotel Vaillant VU 126/3-5 ecoTEC plus [49]. Kotle řady ecoTEC plus se vyznačují nízkým obsahem NO_x ve spalinách a širokým rozsahem regulace výkonu (40-100 %), pro teplotní spád 50/30 °C je rozsah nastavení tepelného výkonu vybraného typu 5,2 - 11,6 kW. Palivem je zemní plyn. Kotel je vybaven expanzní nádobou, pojistným ventilem a oběhovým čerpadlem. Vybrané technické parametry kotle jsou uvedeny v tab. 8-1.

Tab. 8-1: Vybrané technické parametry závěsného plynového kondenzačního kotle Vaillant VU 126/3-5 ecoTEC plus [49].

Technický parametr	Jednotka	Hodnota
Rozsah nastavení tep. výkonu při teplotním spádu 50/30 °C	kW	5,2 - 11,6
Připojovací tlak-zemní plyn	kPa	1,8
Spotřeba zemního plynu při maximálním výkonu	$m^3 \cdot hod^{-1}$	1,3
Hmotnostní průtok spalin (min/max)	$g \cdot s^{-1}$	3,2/10,7
Teplota spalin (min/max)	°C	40/74
Třída NO_x	-	5
Množství kondenzátu (pH = 3,5 - 4,0) při tepl. spádu 50/30 °C	$l \cdot hod^{-1}$	1,1
Nastavitelná zbytková výška čerpadla	kPa	17 - 35
Objem expanzní nádoby	l	10
Maximální pracovní přetlak v topném systému	MPa	0,3
Elektrické připojení	V/Hz	230/50
Maximální příkon	W	110
Stupeň krytí	-	IP 4 D

Odtah spalin a zároveň přívod spalovacího vzduchu bude zajišťovat koaxiální systém odkouření $\varnothing 60/100$ mm firmy Vaillant. Koaxiální potrubí bude vyvedeno přes fasádu do venkovního prostředí (viz příloha 9). Kondenzát je vhodné svádět přímo do kanalizace.

Pro přechodové a letní období, kdy není třeba ani minimálního výkonu kotle jsou navržena dvě elektrická topná tělesa v akumulární nádobě (viz kap. 8.2) o celkovém výkonu 4 kW.

8.2 Akumulační nádoba

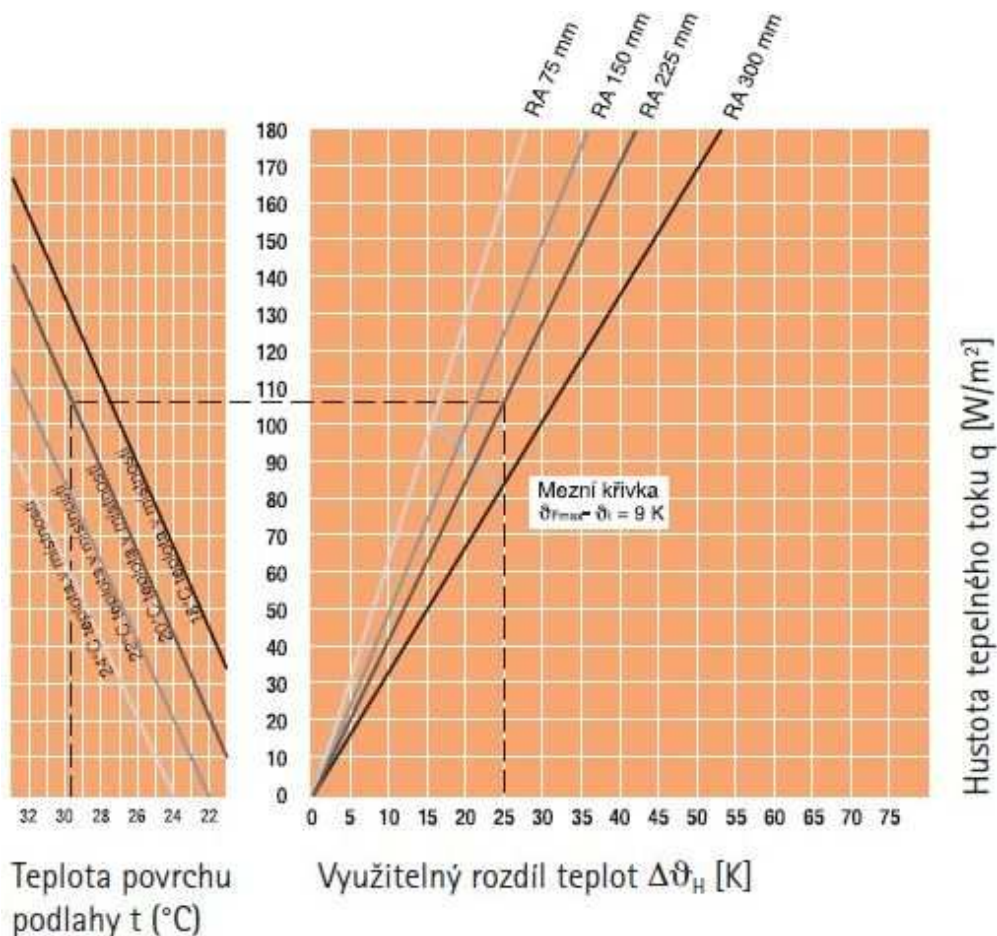
Pro akumulaci tepla do vody je navržena akumulární nádoba s vnořeným zásobníkem teplé vody (TV) Regulus DUO-E 600/150 o celkovém objemu zásobníku 600 l (objem zásobníku TV je 150 l) se smaltovaným vnitřním povrchem a magnesiovou anodou v zásobníku TV [50]. Nádrž je dodávána se snímatelnou tepelnou izolací tloušťky 100 mm. Zásobník je navržen pro akumulaci a následnou distribuci topné a teplé vody. Ve spodní části nádrži je instalován topný had o ploše 2,4 m². Nádrž je dále vybavena

dvěma návarky pro elektrická topná tělesa (celkový výkon 4 kW). Elektrická topná tělesa fungují jako záložní zdroj tepla pro případy nedostatečného výkonu kotle, samotný ohřev teplé vody v létě nebo pro ohřev topné vody v přechodném období. Akumulační nádoba je dále vybavena návarky pro připojení dalších zdrojů tepla (např. solárního systému, krbové vložky, apod.), což je výhodné především z hlediska variability při rozšiřování topného systému (např. při přístavbě, ohřevu bazénové vody, apod.). Kromě návarků pro zdroj tepla je akumulace vybavena dostatečným počtem návarků pro instalaci čidel. Voda v zásobníku musí být nárazově ohřívána na min. 60 °C, aby se zamezilo tvorbě bakterie Legionelly.

8.3 Podlahové vytápění

V m.č. 101 Zádveří, 107 Koupelna a 204 Koupelna není vhodné aplikovat tepl vzdušný topný systém, v m.č. 107 a 204 jsou pouze odtahové ventily pro odvod odpadního vzduchu a vznikajících škodlivin (pachy, přebytečná vlhkost, prach). Je v nich proto navrženo doplňkové teplovodní vytápění: systém sálavého podlahového topení Gabotherm 1.2.3 [51]. Tento systém se skládá z následujících prvků:

- polybutenové trubky s ochranou kyslíkovou bariérou gabomax[®] 15x1,5 mm,
- systémová deska z tvarovaného polystyrenu 30-2 s kročejovou izolací,
- rozdělovací stanice s integrovanými násuvnými spoji.



Obr. 8.1: Graf pro výpočet podlahového topení Gabotherm 1.2.3, podlahová krytina-dlažba [51].

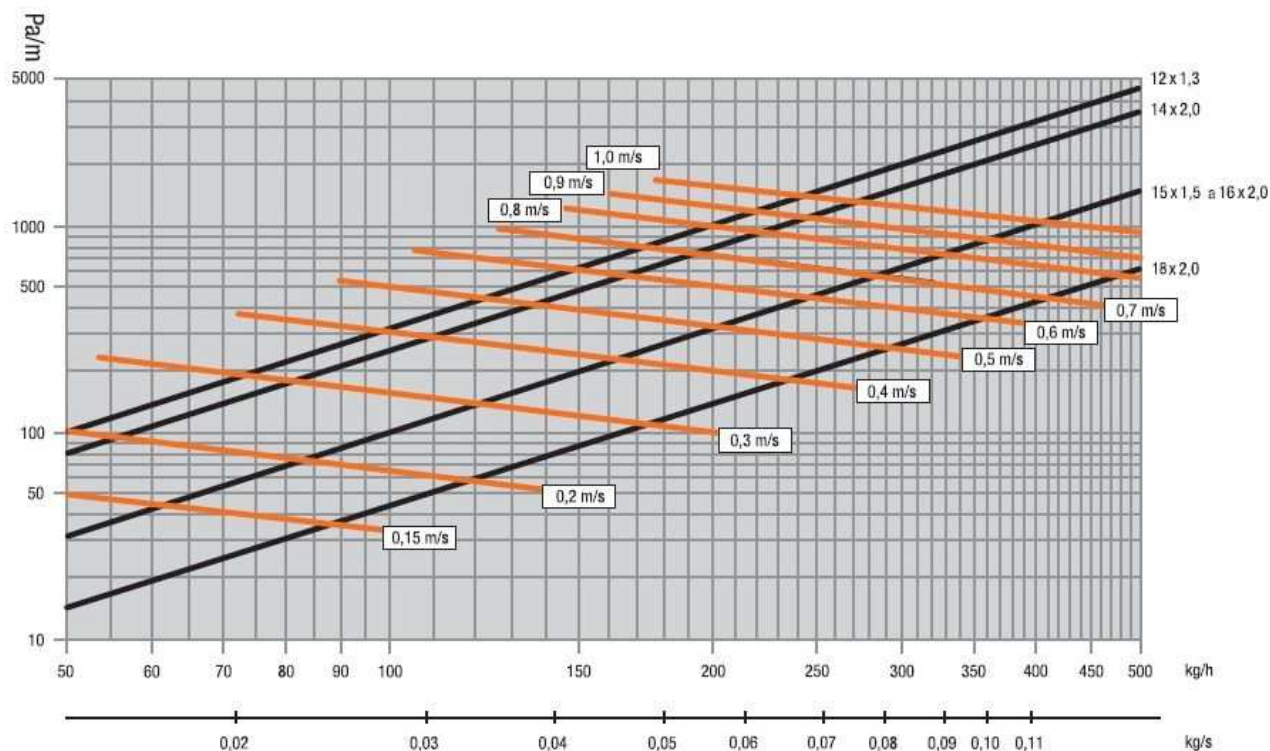
Trubky ve smyčkách jsou kladeny do tvaru meandru. Teplota na přívodu do rozdělovací stanice a následně do podlahových smyček je stanovena na 42 °C. Teplota na výstupu z akumulací nádrže (příp. z kotle) je 50 °C, požadovanou teplotu pro větve podlahového topení zajišťuje jednak trvalý propoj s vratným potrubím větve (osazený vyvažovacím ventilem), pak také trojcestná směšovací armatura (viz kap. 8.4). Teplota vratné vody je stanovena na 35 °C. Stanovení hustoty tepelného toku $q_s [W \cdot m^{-2}]$, rozteče $RA [mm]$ podlahového topení (viz obr. 8.1) a tlakových ztrát (viz obr. 8.2) pro smyčky podlahového topení je provedeno dle projekčních podkladů [51], ostatní parametry jsou stanoveny dle [33]. Kompletní technické parametry smyček jsou uvedeny v tab. 8-2.

- Využitelný rozdíl teplot $\Delta\vartheta_H [K]$:

$$\Delta\vartheta_H = \frac{\theta_{IN} + \theta_{OUT}}{2} - \theta_i \quad [K] \quad (8-1)$$

Např. pro m.č. 204 Koupelna (smyčka 204) je $\Delta\vartheta_H [K]$ tedy:

$$\Delta\vartheta_H = \frac{42 + 35}{2} - 24 \quad K = 14,5 \quad K$$



Obr. 8.2: Graf pro odečet měrné tlakové ztráty v závislosti na druhu trubky a hmotnostního průtoku [51].

- Tepelný výkon smyčky $Q_s [W]$:

$$Q_s = q_s \cdot S_p \quad [W] \quad (8-2)$$

Pro smyčku 204 je pak tepelný výkon:

$$Q_s = 75 \cdot 4,8 \quad W = 360 \quad W$$

- Délka trubky v pobytové zóně L_p [m]:

$$L_p = \frac{1000 \cdot S_p}{RA} \quad [m] \quad (8-3)$$

$$L_p = \frac{1000 \cdot 4,8}{150} \quad m = 32 \quad m$$

Celková délka trubek ve smyčce L_c [m] je délka v pobytové oblasti L_p [m] rozšířená o délku přívodní a zpětné trubky od rozdělovací stanice ke smyčce.

- Hmotnostní průtok topné vody smyčkou M [kg·h⁻¹]:

$$M = \frac{Q_s \cdot 3600}{c \cdot (\theta_{IN} - \theta_{OUT})} \quad \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (8-4)$$

Kde c [J·kg⁻¹·K⁻¹] je měrná tepelná kapacita vody.

$$M = \frac{360 \cdot 3600}{4176 \cdot (42 - 35)} \quad \frac{kg}{h} = 44,4 \quad \frac{kg}{h}$$

- Objemový průtok topné vody smyčkou Q_v [l·min⁻¹]:

$$Q_v = \frac{M}{\rho} \cdot \frac{1}{60} \quad \left[\frac{l}{min} \right] \quad (8-5)$$

Kde ρ [kg·m⁻³] je hustota vody.

$$Q_v = \frac{44,4}{1,1} \cdot \frac{1}{60} \quad \frac{l}{min} = 0,67 \quad \frac{l}{min}$$

Tab. 8-2: Technické parametry jednotlivých smyček podlahového topení.

Smyčka		101 (Zádvěří)	107 (Koupelna)	204 (Koupelna)	Celkem
Parametr	Jednotka				
Teplota v místnosti θ_i	°C	15	24	24	-
Tepelný výkon místnosti $\phi_{HL,i}$	W	462,86	280,77	343,49	1087,12
Využitelný rozdíl teplot $\Delta\theta_H$	K	22	17	14,5	-
Plocha smyčky S_p	m ²	6,3	2,6	4,8	-
Rozteč trubek RA	mm	225	75	150	-
Hustota tepelného toku q_s	W·m ⁻²	85	109	75	-
Tepelný výkon smyčky Q_s	W	535,5	283,4	360	1178,9
Délka trubky v pobytové oblasti L_p	m	28	36	32	96
Délka trubky celková L_c	m	37,8	37	41,8	116,6
Hmotnostní průtok smyčkou M	kg·h ⁻¹	38,5	122,2	44,4	205,1
Objemový průtok smyčkou Q_v	l·min ⁻¹	0,58	1,85	0,67	3,1
Měrná tlaková ztráta R_t	Pa·m ⁻¹	35	160	38	-
Tlaková ztráta smyčky Δp_c	kPa	1,34	5,76	1,59	5,76

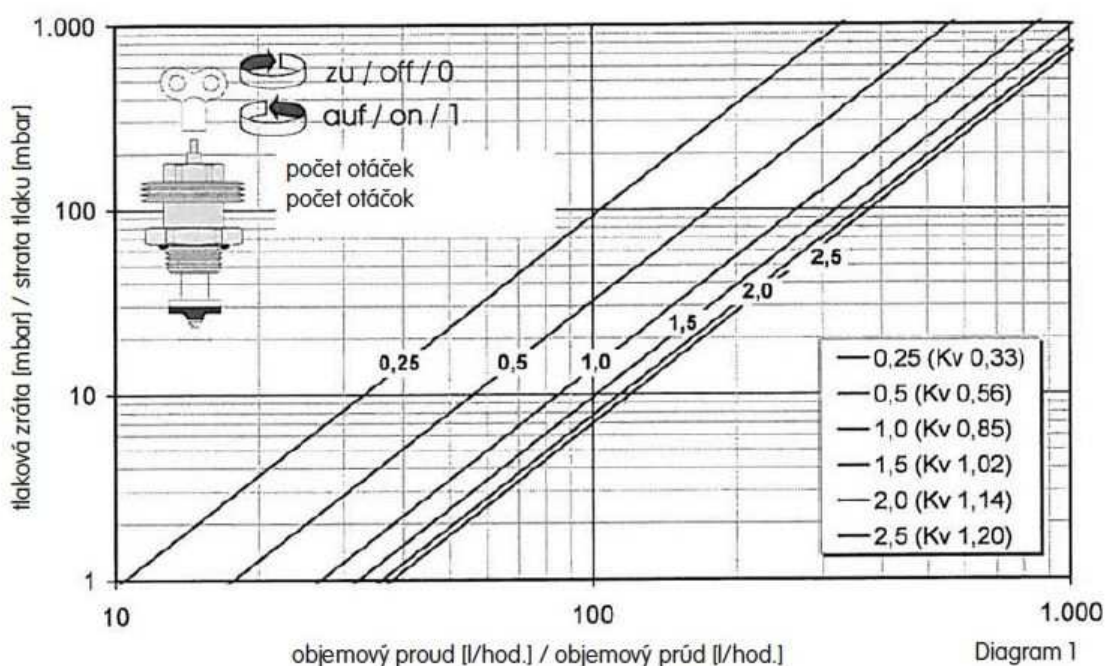
- Tlaková ztráta smyčky Δp_c [Pa]:

$$\Delta p_c = \frac{R_t \cdot L_c}{1000} \quad [kPa] \quad (8-6)$$

$$\Delta p_c = \frac{38 \cdot 41,8}{1000} \quad kPa = 1,59 \quad kPa$$

Pro rozdělování topné vody okruhu podlahového topení je navržena rozdělovací stanice GTF-VSS 3 1''. Nastavení ventilů na rozdělovací stanici dle [52] (viz obr. 8.3):

- smyčka 101: 0,25 otáčky,
- smyčka 107: 2,5 otáčky,
- smyčka 204: 0,25 otáčky.



Obr. 8.3: Nastavení regulačních ventilů jednotlivých smyček podlahového topení [52].

8.4 Rozvody teplovodního potrubí ve strojovně

Teplovodní potrubí ve strojovně je navrženo ocelové, izolované. Od kotle vede potrubí do akumulární nádoby, odtud do rozdělovače topné vody. Pro případ urychleného zátopu je veden obtok mimo akumulární nádobu přímo do rozdělovače. Potrubí je vedeno podél stěn pod vzduchotechnickým potrubím. Kompletní návrh teplovodní části systému je uveden v příloze 9.

Trubkový rozdělovač je vybaven třemi vývody pro:

- vzduchotechniku,
- podlahové topení,
- volný rezervní vývod.

Okruh podlahového topení směřuje do rozdělovací stanice podlahového topení a odtud do podlahových smyček. Přívodní a zpětné potrubí je trvale propojeno a vybaveno

vyvažovacím ventilem [54] a trojcestným směšovacím ventilem [53], které zajišťují teplotu vody do podlahového topení maximálně 42 °C. Okruh vzduchotechniky vede přímo do teplotvzdušné vytápěcí a větrací jednotky. Potrubní rozvod je vybaven běžnými armaturami (zpětné ventily, kulové a vypouštěcí kohouty, filtry, vyvažovací ventily), každá větev je vybavena samostatným čerpadlem.

Výpočet tlakové ztráty teplotvodního potrubí je stanoven z požadovaného výkonu, jako příklad je uveden výpočet tlakové ztráty úseku 1-u-p):

- Hmotnostní průtok trubkou M [$kg \cdot h^{-1}$] je počítán dle (8-4):

$$M = \frac{6000 \cdot 3600}{4187 \cdot (50 - 30)} \frac{kg}{h} = 258,6 \frac{kg}{h}$$

- Rychlost proudění trubkou w [$m \cdot s^{-1}$]:

$$w = \frac{\frac{M}{3600}}{\frac{\rho \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{1000}\right)^2}{4}} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (8-7)$$

$$w = \frac{\frac{258,6}{3600}}{\frac{1100 \cdot \pi \cdot \left(\frac{27,2}{1000}\right)^2}{4}} \frac{m}{s} = 0,11 \frac{m}{s}$$

- Měrná tlaková ztráta R_t [$Pa \cdot m^{-1}$]:

$$R_t = \frac{\lambda_t}{\frac{d}{1000}} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \left[\frac{Pa}{m} \right] \quad (8-8)$$

Kde λ_t [-] je součinitel tření.

$$R_t = \frac{0,035}{\frac{27,2}{1000}} \cdot \frac{0,11^2}{2} \cdot 1100 \frac{Pa}{m} = 9,7 \frac{Pa}{m}$$

- Tlaková ztráta třením Δp_t [Pa]:

$$\Delta p_t = R_t \cdot l \quad [Pa] \quad (8-9)$$

$$\Delta p_t = 9,7 \cdot 1,2 \quad Pa = 11,7 \quad Pa$$

- Tlaková ztráta místními odpory Δp_m [Pa] je počítána ze vztahu (7-22):

$$\Delta p_m = 4,5 \cdot 1100 \cdot \frac{0,11^2}{2} \quad Pa = 31,3 \quad Pa$$

Kde jsou místní odpory tvořeny třemi koleny.

- Celková tlaková ztráta úseku Δp_c [Pa] je počítána ze vztahu (7-23):

$$\Delta p_c = 11,7 + 31,3 Pa = 43 Pa$$

Tlakové ztráty úseků teplovodního topení jsou uvedeny v tab. 8-3:

Tab. 8-3: Výpočet tlakových ztrát teplovodního potrubí strojní části.

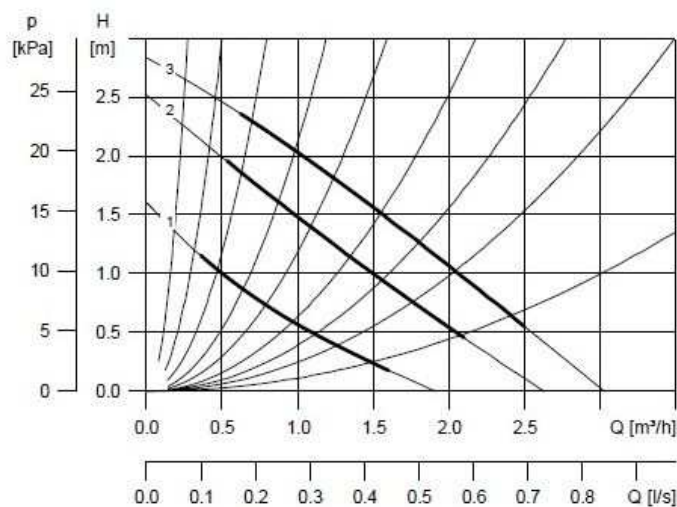
Číslo úseku	Požadovaný výkon	Hmotnostní průtok	Délka	DN	Průměr potrubí	Rychlost	Měrná tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta třením	Místní odpory	Tlaková ztráta místními odpory	Celková tlaková ztráta
	Q	M	l	DN	d	w	R_t	Δp_t	$\Sigma \xi$	Δp_m	Δp_c
	W	kg·h ⁻¹	m	-	mm	m·s ⁻¹	Pa·m ⁻¹	Pa	-	Pa	Pa
1-u-p	6000	258,6	1,2	25	27,2	0,11	9,7	11,7	4,5	31,3	43
1-u-z	6000	258,6	1,2	25	27,2	0,11	9,7	11,7	4,5	31,3	43
2-u-p	4280	184,4	1,5	25	27,2	0,08	5,4	8,0	4,5	15,9	23,9
2-u-z	4280	184,4	1,5	25	27,2	0,08	5,4	8,0	4,5	15,9	23,9
3-u-p	4280	184,4	1,1	25	27,2	0,08	5,4	5,9	3	10,6	16,3
3-u-z	4280	184,4	1,1	25	27,2	0,08	5,4	5,9	3	10,6	16,3
4-u-p	4280	184,4	3,9	25	27,2	0,08	5,4	20,9	7	24,7	45,6
4-u-z	4280	184,4	3,9	25	27,2	0,08	5,4	20,9	7	24,7	45,6
5-u-p	3100	133,6	3,4	25	27,2	0,06	3,1	10	8,5	15,8	25,8
5-u-z	3100	133,6	3,4	25	27,2	0,06	3,1	10	2808	5209	5219
6-u-p	1180	50,9	3,5	15	16,1	0,06	7,3	26	8,5	19	45
6-u-z	1180	50,9	3,5	15	16,1	0,06	7,3	26	2408	5273	5299

Pozn.: Výkon 6 kW na výstupu z kotle v sobě zahrnuje požadovaný výkon pro vytápění a odhadovaný výkon pro ohřev teplé vody.

8.5 Návrh oběhových čerpadel teplovodního systému

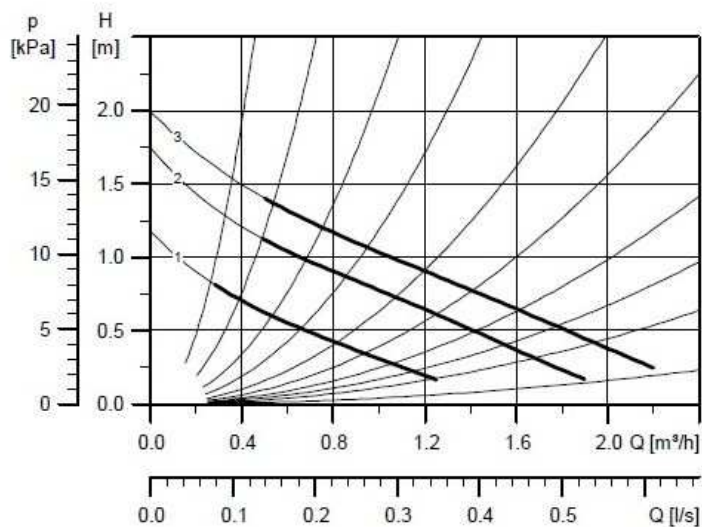
Maximální tlaková ztráta pro kotlový okruh je tvořena pouze úseky 1-u-p a 1-u-z a vtokem do akumulární nádoby. Čerpadlo vestavěné v kotli je tedy dostačující. Tlaková ztráta okruhu vzduchotechniky je tvořena úseky 2-u, 4-u, 5-u (přívodní i zpětné) a tlakovou ztrátou výměníku teplovzdušné jednotky na straně vody, jež byla stanovena odhadem na 20 kPa. Celková tlaková ztráta je tedy přibližně 26 kPa. Navrženo bylo čerpadlo UPS 25-30 od firmy Grundfos [55], jehož charakteristika je patrná z obr. 8.4. Tlaková ztráta okruhu podlahového vytápění je tvořena úseky 2-u, 4-u, 6-u (přívodní i zpětné) a tlakovou ztrátou podlahového topení (viz tab. 8-2). Celková tlaková ztráta okruhu je tedy přibližně 12 kPa. Navrženo bylo čerpadlo UPS 25-20 od firmy Grundfos [55], jehož charakteristika je na obr. 8.5.

UPS 25-30 / UPS 32-30



Obr. 8.4: Charakteristika čerpadla UPS 25-30 [55].

UPS 25-20 / UPS 32-20



Obr. 8.5: Charakteristika čerpadla UPS 25-20 [55].

8.6 Návrh pojistného ventilu

Teplovodní část systému vytápění musí být zajištěna pojistným ventilem. Výpočet vychází z [34].

- Průřez sedla pojistného ventilu S_0 [mm²]:

$$S_0 = \frac{2 \cdot Q_p}{\alpha_w \cdot \sqrt{p_{ot}}} \quad [\text{mm}^2] \quad (8-10)$$

Kde Q_p [kW] je pojistný výkon (odpovídá maximálnímu výkonu kotle), α_w [-] je výtokový součinitel a p_{ot} [kPa] je otevírací přetlak pojistného ventilu.

$$S_0 = \frac{2 \cdot 11,6}{0,444 \cdot \sqrt{300}} \text{ mm}^2 = 3 \text{ mm}^2$$

- Vnitřní průměr pojistného potrubí d_p [mm]:

$$d_p = 15 + 14 \cdot \sqrt{Q_p} \quad [\text{mm}] \quad (8-11)$$

$$d_p = 15 + 14 \cdot \sqrt{11,6} \text{ mm} = 19,8 \text{ mm}$$

Pojistný ventil, jímž je vybaven kotel je pro jištění teplovodní části systému dostačující a není třeba navrhovat další.

8.7 Návrh expanzní nádoby

Pro vyrovnání objemové roztažnosti vody je nutné navrhnout do teplovodního systému expanzní nádobu. Výpočet vychází z [35].

- Absolutní hydrostatický tlak $p_{d,A}$ [kPa]:

$$p_{d,A} = \rho \cdot g \cdot h_{EN} \cdot 10^{-3} + p_B \quad [\text{kPa}] \quad (8-12)$$

Kde h_{EN} [m] je výška vodního sloupce v soustavě.

$$p_{d,A} = 1100 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 100 \text{ kPa} = 132,37 \text{ kPa}$$

- Nejvyšší dovolený absolutní hydrostatický tlak $p_{h,dov,A}$ [kPa]:

$$p_{h,dov,A} = p_{ot} \quad [\text{kPa}] \quad (8-13)$$

$$p_{h,dov,A} = 300 \text{ kPa}$$

- Stupeň využití expanzní nádoby η_{EN} [-]:

$$\eta_{EN} = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,A}}{p_{h,dov,A}} \quad [-] \quad (8-14)$$

$$\eta_{EN} = \frac{300 - 132,37}{300} = 0,559$$

- Velikost expanzní nádoby V_{EN} [l]:

$$V_{EN} = 1,3 \cdot V_o \cdot n_{EN} \cdot \frac{1}{\eta_{EN}} \quad [\text{l}] \quad (8-15)$$

Kde V_o [l] je objem vody v teplovodní soustavě a n_{EN} [-] je součinitel zvětšení objemu.

$$V_{EN} = 1,3 \cdot 60 \cdot 0,0117 \cdot \frac{1}{0,559} \text{ l} = 1,65 \text{ l}$$

Změnu objemu vody v soustavě pokrývá expanzní nádoba v kotli.

9 Regulace

Teplovzdušné vytápění a větrání i doplňkové teplovodní vytápění jsou elektricky ovládané, regulovatelné systémy. V této kapitole bude nastíněno celkové řešení pro regulaci.

9.1 Provozní režimy vytápěcí a větrací jednotky

Jednotka má vlastní vestavěnou digitální regulaci s množstvím funkcí mezi něž patří především volba provozního režimu [46]:

1. rovnotlaké větrání s rekuperací tepla,
2. cirkulační vytápění a větrání s rekuperací tepla,
3. cirkulační vytápění, větrání nárazové nebo periodické,
4. cirkulační vytápění závislé na vnitřní teplotě,
5. přetlakové větrání,
6. cirkulační chlazení (strojně nebo pomocí ZVT).

Jednotka bude propojena s centrální regulačním modulem, jež bude zajišťovat její ovládání (viz kap. 9.). Regulace průtoku jednotlivými větvemi vzduchotechnickým potrubím je zajištěna regulačními vložkami v každé větvi.

9.2 Regulace kotlů Vaillant

Kotle Vaillant jsou běžně řízeny ekvitermně, tzn. v závislosti na venkovní teplotě. Samotný kotel je připraven pro instalaci regulátorů calorMATIC, které zajišťují konstantní teplotu v místnosti a správnou funkci čerpadel a ventilů v jednotlivých okruzích teplovodního vytápění. Regulace průtoku jednotlivými smyčkami podlahového topení je provedena nastavením ventilů na rozdělovací stanici podlahového vytápění. Podobně jako v případě vestavěné regulace bude i kotel a jednotlivé prvky okruhu teplovodního vytápění řízeny centrálně.

9.3 Společná regulace systému

Společnou regulaci celého systému bude zajišťovat regulační modul Adoreg [56] propojený s hlavním prostorovým termostatem se snímačem teploty umístěným v m.č. 103 Obývací pokoj a doplňkovým termostatem se snímačem teploty v m.č. 107 Koupelna. Samotný regulátor bude umístěn v m.č. 108 Technická místnost.

Vstupy do regulátoru budou:

- čidlo venkovní teploty (umístěné na severní straně domu),
- prostorový termostat v referenční místnosti (m.č. 103),
- doplňkový prostorový termostat (m.č. 107),

- čidlo teploty topné vody ve větvi podlahového vytápění,
- čidlo topné vody v akumulární nádrži,
- čidlo teplé vody v akumulární nádrži.

Výstupy z regulátoru řídí tyto prvky systému:

- ovládací klapka T-kusu zemního výměníku tepla,
- vestavěná regulace teplovzdušné větrací a vytápěcí jednotky,
- vestavěná regulace kondenzačního plynového kotle,
- čerpadlo okruhu vzduchotechniky,
- čerpadlo okruhu podlahového vytápění,
- trojcestná směšovací armatura ve větvi podlahového vytápění,
- spínač elektrické topné spirály v akumulární nádrži (2x).

Systém regulace je možné doplnit o prostorové termostaty v každé jednotlivé místnosti (IRC), v tomto případě by bylo nutné doplnit vzduchotechnický systém o regulační klapky v každé větvi. V této práci se uvažuje pouze se základním návrhem regulace. Regulátor je možné propojit s domácí internetovou sítí nebo vybavit GSM bránou, která umožní ovládání systému dálkově přes mobilní telefon. Schéma regulace je zobrazeno v příloze 10.

10 Ekonomické zhodnocení provozu

Při porovnání výše navrženého systému teplovzdušného vytápění a větrání (s doplňkovým teplovodním vytápěním) a klasického systému topení otopnými tělesy zjistíme, že zdrojem tepla pro vytápění i pro ohřev teplé vody je v obou případech plynový kondenzační kotel napojený na akumulární nádrž. Je patrné, že systém vytápění otopnými tělesy je nutno doplnit nuceným větráním, protože je nutné zajistit dostatečnou výměnu vzduchu (obzvláště při vysoké těsnosti budovy; viz kap. 3). V této kapitole nebudou porovnávány investiční náklady obou systémů, nebude tedy dále počítána ani celková návratnost zvoleného systému a nebudou porovnávány pořizovací náklady obou systémů. Jak už bylo dříve zmíněno, nejlepší úspory za vytápění je dosaženo při eliminaci ztrát a tím snížení celkové potřeby tepla na vytápění.

Systém teplovzdušného vytápění a větrání má oproti systému vytápění otopnými tělesy největší výhodu v rekuperaci tepla, návrhový tepelný výkon větráním pro výše navržený systém byl počítán s teplotou čerstvého vzduchu po rekuperaci, tepelná ztráta větráním tak byla minimalizována na cca 615 W. Pokud bychom uvažovali samostatný systém větrání bez rekuperace, tepelná ztráta větráním by se zvýšila až na 3376 kW. Celkový tepelný výkon objektu tak vzroste na 6948 W a celková potřeba energie na vytápění vzroste na 15 056 kWh. Celkové porovnání obou systémů je uvedeno v tab. 10-1:

Tab. 10-1: Ekonomické porovnání systémů teplovzdušného vytápění s rekuperací a teplovodního vytápění bez rekuperace (např. otopnými tělesy).

Použitý systém	Teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka, plynový kondenzační kotel, akumulární nádrž	Vytápění pomocí otopných těles, plynový kondenzační kotel, akumulární nádrž
Potřeba energie na vytápění	7916 kWh·a ⁻¹	15 056 kWh·a ⁻¹
Potřeba energie na ohřev teplé vody	2750 kWh·a ⁻¹	2750 kWh·a ⁻¹
Celková potřeba energie dodávaná plynovým kotlem	10 666 kWh·a ⁻¹	17 806 kWh·a ⁻¹
Potřeba energie na provoz elektrospotřebičů	4000 kWh·a ⁻¹	4000 kWh·a ⁻¹
Potřeba energie na provoz technických zařízení	800 kWh·a ⁻¹	800 kWh·a ⁻¹
Celková potřeba elektrické energie	4800 kWh·a ⁻¹	4800 kWh·a ⁻¹
Cena elektřiny za 1 kWh	2,61 Kč	2,61 Kč
Cena zemního plynu za 1 m ³	1,54 Kč	1,54 Kč
Celkové náklady	28 953,6 Kč·a⁻¹	39 949,2 Kč·a⁻¹
Rozdíl v nákladech	0 Kč·a⁻¹	10 995,6 Kč·a⁻¹

Z tabulky vyplývá, že využitím rekuperace se náklady snižují téměř o 11 tisíc Kč. S narůstajícími cenami elektřiny a zemního plynu se tento rozdíl bude dále navyšovat. Cena elektřiny a zemního plynu byly převzaty z [36].

Je však nutné připomenout, že hlavní výhoda teplovzdušného vytápění s nuceným větráním s rekuperací je výhodná především plně automatickým chodem větrání a zajištěním dostatečné kvality přiváděného vzduchu, která lze ekonomicky jen těžko vyjádřit.

11 Závěr

Zvyšující se nároky na kvalitu vnitřního prostředí a zároveň snaha snižovat energetickou náročnost provozu budov dala v posledních letech podnět ke zvýšení atraktivnosti energeticky úsporných domů pro investory i samotné uživatele. Nízká potřeba energie na vytápění (případně na chlazení a provoz dalších technických systémů) činí z nízkoenergetických a pasivních domů významnou investici do budoucna. Atraktivitu těchto budov dále umocňují speciální systémy pro větrání i vytápění, jejichž vývoj dospěl až k tzv. inteligentním domům, jejichž systémy jsou řízeny takřka automaticky a centrálně. V práci je podán ucelený přehled obecných parametrů energeticky úsporných budov, systémů vytápění a větrání.

Jako velmi výhodnou variantou rodinného domu z kategorie energeticky úsporných budov se jeví nízkoenergetický a pasivní dům. Pro nízkoenergetické domy je klíčová měrná potřeba tepla na vytápění (menší než $50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za rok). Požadavky na pasivní dům jsou přísnější (potřeba tepla na vytápění menší než $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za rok) a jsou rozšířené o další parametry, které se v případě nízkoenergetických budov nehodnotí. Zařazení rodinných domů do kategorií a tříd je možné provést např. dle Metodiky, která vychází z platných legislativních předpisů.

Význam větrání roste s těsností obálky budovy a u energeticky úsporných budov patří k nejdůležitějším prvkům. Jako nejvýhodnější systém samostatného větrání se jeví rovnotlaké komfortní větrání s rekuperací tepla. Vytápění budov s nízkou spotřebou tepla je možno provádět různými způsoby, problémem je navrzení takového zdroje, který by respektoval nízký potřebný výkon budovy (např. solární kolektory). Pro minimalizaci investičních nákladů na zařízení pro vytápění a větrání byla vyvinuta teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka, která oba hlavní systémy výhodně propojuje v jeden celek. K tomuto systému neodmyslitelně patří rekuperační výměník, jímž je jednotka vybavena, který minimalizuje ztráty větráním. Velmi výhodné je využití zemního výměníku tepla, který sice snižuje účinnost rekuperačního výměníku, ale funguje jako spolehlivá protimrazová ochrana a navíc v létě účinně předchlazuje větrací vzduch.

Návrh teplovzdušného systému do zadaného rodinného domu spočíval v první řadě ve výpočtu potřebného tepelného výkonu (menší než $4,2 \text{ kW}$), který se skládá z tepelné ztráty prostupem, větráním, infiltrací a zátopového tepelného výkonu. Při posouzení výsledného tepelného výkonu a parametrů objektu dle Metodiky byl zadaný rodinný dům zařazen do kategorie PARD 16.

Vytápění objektu bude převážně teplovzdušné (teplovzdušnou vytápěcí a větrací jednotkou se systémem firmy Atrea), doplněné teplovodním podlahovým topením (systém firmy Gabotherm) v koupelnách a v zádveřích. Jako zdroj tepla byl navržen kondenzační plynový kotel firmy Vaillant, s rezervou v podobě elektrický topných spirál v akumulaci nádrži firmy Regulus (především pro vytápění a ohřev teplé vody v letním a přechodovém období). Topná voda je vedena do okruhů teplovzdušné jednotky a podlahového topení, přičemž teplota topné vody je řízena v každé větvi samostatně. Čerstvý venkovní vzduch bude přiváděn přes zemní výměník tepla nebo přes protidešťovou žaluzii ve fasádě.

Regulace je navržena ekvitermní, případně dle vlastního nastavení na prostorovém termostatu. Jako regulátor vytápění a větrání je navržen systém Adoreg. Ekonomické porovnání s klasickým systémem vytápění otopnými tělesy je proveden pouze s ohledem na zvýšení tepelné ztráty větráním v systému bez rekuperace tepla. Z výsledků vyplývá roční úspora necelých 11 tisíc Kč.

Provoz energeticky úsporných domů je silně závislý na správném chování jejich uživatelů. Uživatelé se liší svými konkrétními návyky, zdravotním stavem a celkovým

vnímáním tepelné pohody prostředí. Velmi důležité je nastavení požadovaných parametrů v centrální regulaci tak, aby nedocházelo k nepřiměřeným reakcím od uživatelů, jakou je např. nárazové otevírání oken pro větrání. To může způsobit neúměrné zvyšování tepelné ztráty větráním a narušení proudění v místnosti (přičemž požadovaného provětrání se nedosáhne). Naprostou nezbytností je také správná a pravidelná kontrola a údržba systému a jeho součástí, především filtrů. Pro správný provoz nízkoenergetických a pasivních domů je tedy nezbytně nutná určitá míra uživatelské vzdělanosti.

12 Seznam použité literatury

Tištěné a internetové zdroje

- [1] HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. 1. české vydání. Praha: Grada, 1999, 360 s. ISBN 80-7169-657-9.
- [2] Základní principy. In: Centrum pasivního domu [online]. 2006 - 2010 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/principy/zakladni-principy.html>
- [3] TYWONIAK, Jan. Navrhování energeticky úsporných budov v širších souvislostech. In: TZB-info [online]. 2007 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3809-navrhovani-energeticky-uspornych-budov-v-sirsich-souvislostech>
- [4] URBAN, Miroslav, Karel KABELE, Daniel ADAMOVSÝ, Michal KABRHEL a Roman MUSIL. Popis metodiky výpočtu hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky 148/2007 Sb. In: TZB-info [online]. 2007 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4274-popis-metodiky-vypoctu-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-podle-vyhlasky-148-2007-sb>
- [5] HOLLAN, Jan. Hlavní principy nízkoenergetické výstavby. In: Ekologický institut Veronica [online]. 2001 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: http://www.veronica.cz/energie/jh/MU_PASSI.PDF
- [6] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady. 1. vydání. Praha: Grada, 2008, 193 s. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [7] HUDEC, Mojmír. Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět. 1. vydání. Praha: Grada, 2008, 108 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [8] TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy: principy a příklady. 1. vydání. Praha: Grada, 2005, 193 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [9] HÁJEK, Petr a Jan TYWONIAK. Udržitelná výstavba budov. In: Stavební listy [online]. 2002 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://www.stavlisty.cz/2002/12-13/udrz.html>
- [10] HÁJEK, Petr. Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě. In: Časopis stavebnictví [online]. 2007 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=465>
- [11] JANOTKOVÁ, Eva. Technika prostředí. In: OTTP, FSI, VUT v Brně [online]. 2010 [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/SylabyTP6.pdf>
- [12] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. Větrání a klimatizace. 1. vydání. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-807-6037-3.
- [13] Větrání a teplovzdušné vytápění. In: Centrum pasivního domu [online]. 2006-2010 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitni-prostredi-domu/vetrani-a-teplovzduzne-vytapeni.html>
- [14] EBERHARD, Paul. Využití zemních výměníků tepla ve spojení se zařízením pro bytové větrání a rekuperaci tepla. In: TZB-info [online]. 2005 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2772-vyuziti-zemnich-vymeniku-tepla-ve-spojzeni-se-zarizenim-pro-bytove-vedrani-a-rekuperaci-tepla>
- [15] Nízkoenergetické bydlení. In: Svět bydlení [online]. 2009 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.svet-bydleni.cz/tagy/uspory-energie/aktivni-dum-ekologicke-bydleni-na-urovni.aspx>

- [16] Úspora energie – Nízkoenergetické domy. In: Nízkoenergetické stavby [online]. 2009 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.ekonomicke-nizkoenergeticke-stavby.cz/uspora-energie>
- [17] URBAN, Miroslav, Karel KABELE, Daniel ADAMOVSKEJ, Michal KABRHEL a Roman MUSIL. Praktická aplikace metodiky hodnocení energetické náročnosti budov (I). In: TZB-info [online]. 2007 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3968-prakticka-aplikace-metodiky-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-i>
- [18] ZMRHAL, Vladimír a Jiří PETLACH. Systémy větrání obytných budov. In: TZB-info [online]. 2011 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
- [19] Hestia 5.0 VIVID - Encyklopedie 2008. EKOWATT. EkoWatt [online]. 2008 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/>
- [20] KABELE, Karel. Teplovzdušné vytápění obytných budov. In: TZB-info [online]. 2001 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/620-teplovzdušne-vytapeni-obytnych-budov>
- [21] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. Teplovzdušné větrání a vytápění - teorie a schémata (I). In: TZB-info [online]. 2006 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3235-teplovzdušne-vetrani-a-vytapeni-teorie-a-schemata-i>
- [22] CIHELKA, Jaromír. Solární tepelná technika. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. ISBN 80-900-7595-9.
- [23] MORÁVEK, Petr. Mikroklima pasivních domů. Pasivní domy 2006. 2007.
- [24] MUSIL, Zdeněk. Mikrobiologická rizika v technice prostředí. Brno, 2010. 57 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Antonín Kolbábek.
- [25] CIHLÁŘ, Jiří a Günter GEBAUER. Technická zařízení budov C - Vzduchotechnika. Brno: CERM, 1995, 206 s. ISBN 80-858567-67-2.
- [26] KOPECKÝ, Pavel. K přínosu zemního výměníku tepla. Pasivní domy 2006. 2007.
- [27] LAIN, Miloš. Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II). In: TZB-info [online]. 2006 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [28] REINBERK, Zdeněk. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. In: TZB-info [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>. Výpočtová pomůcka.
- [29] DUFKA, Jaroslav. Kuchyňské odsavače par. In: TZB-info [online]. 2002 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1144-kuchynske-odsavace-par>
- [30] VALEŠ, Miroslav. Inteligentní dům. 1. vydání. Brno: ERA, 2006, 123 s. ISBN 80-736-6062-8.
- [31] CHYSKÝ, Jaroslav. Větrání a klimatizace. Vydání 3., zcela přepracované. Praha: Česká Matice technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [32] KOLBÁBEK, Antonín. Energetická simulace vlivu zemního výměníku tepla na provoz rekuperační jednotky teplovzdušného vytápění. Brno, 2009. 95 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Michal Jaroš.
- [33] BAŠTA, Jiří. Podlahové vytápění (III): Projektování - Výpočet. In: TZB-info [online]. 2006 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3449-podlahove-vytapeni-iii>
- [34] HOŘEJŠÍ, Miroslav a Jan NOVÁK. Výpočet pojistného ventilu pro kotle a výměníky tepla. In: TZB-info [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/43-vypocet-pojistneho-ventilu-pro-kotle-a-vymeniky-tepla>

- [35] BAŠTA, Jiří. Návrh expanzní nádoby. In: TZB-info [online]. 2002 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1156-navrh-expanzni-nadoby>
- [36] Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva. In: TZB-info [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva>

Normy

- [37] ČSN 73 0540:1-4. Tepelná ochrana budov. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [38] TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a kvalifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [39] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách-Výpočet tepelného výkonu. Praha: Český normalizační institut, 2005.

Firemní podklady

- [40] Zemní výměník tepla: zásady provedení. In: ATREA [online]. 2009 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/?download=cz/obytno/09_05_03_zemni_vymenik_tepla.pdf
- [41] Teplovzdušné vytápěcí a větrací jednotky. In: ATREA [online]. 1998-2012 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/teplvzduzne-vytapeci-a-ventraci-jednotky-pro-rodinne-domy-byty>
- [42] Systém teplovzdušného vytápění a větrání. In: ATREA [online]. 1998-2012 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/system-teplvzduzneho-vytapani-a-ventrani>
- [43] Odborné informace: Fyzika. In: Original KS: Vápenopískové cihly [online]. 2006 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://kalksandstein.cz/pages/oinfo/oinfo.html>
- [44] Polystyren. In: Tepelná izolace [online]. 2006-2012 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/polystyren.html>
- [45] Systém teplovzdušného vytápění a větrání rodinných domů s rekuperací tepla: Projekční podklad. In: ATREA [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27569
- [46] DUPLEX RA3 – EC: teplovzdušné vytápěcí a větrací jednotky s EC technologií pro nízkoenergetické a pasivní rodinné domy. In: ATREA [online]. 2011 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/?download=cz/obytno/duplex_ra3_ec_cz_2011_04.pdf
- [47] Zemní plošný kolektor: zásady provedení. In: ATREA [online]. 2008 [cit. 2012-02-26]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/?download=cz/obytno/08_03_11_zemni_plosny_kolektor.pdf
- [48] ATREA-Vzduchovody: Systém teplovzdušného vytápění a větrání rodinných domů s rekuperací tepla. In: ATREA [online]. 2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/?download=cz/obytno/katalog_prvku_cz_2012_02.pdf
- [49] Závěsné kotle: Kondenzační kotle. In: Vaillant [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.vaillant.cz/stazeni-souboru/projekcni-podklady-1006.html>
- [50] Akumulační nádrže s vnořeným zásobníkem TV: Návod na instalaci a použití. In: Regulus [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/?download=CZ/navody/akumulacni-nadrze-duo-e-s-vnor.zas.tv-cz.pdf>

- [51] Systém podlahového vytápění: Projekční a montážní podklady. In: KKH [online]. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://www.kkh.cz/create_file.php?id=866
- [52] Montážní návod: určeno pro gabotherm. In: KKH [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.kkh.cz/create_file.php?id=607
- [53] Otočné ventily a pohony ESBE: spolehlivost a robustnost úspora energie rychlá a jednoduchá manipulace. In: ESBE [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.esbe.cz/download/catalogue_2012_2013/ESBE_Katalog_2012_13_CZ_2.pdf
- [54] Vyvažovací ventily D9500, D9505: Armatury pro hydronické vyvažování potrubních sítí. In: Hydronic Systems [online]. 2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.hydronic.cz/download.php?id=298>
- [55] Technický katalog Grundfos: Série 100. In: Grundfos [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://net.grundfos.com/App/WebCAPS/litctrl?>
- [56] ADOREG-regulátor vytápění: Regulace vytápění rodinných domů s více zdroji tepla, individuální řízení teploty v místnostech. In: AMIT [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/cz/adoreg/index.htm>

13 Seznam použitých symbolů a jednotek

Označení	Jednotka	Název veličiny
A	m^2	Plocha
a	m	Délkový rozměr
A_g	m^2	Plocha zastavěné části budovy
A_k	m^2	Plocha konstrukce bez výplní
A_w	m^2	Plocha výplně otvoru
B	$Pa^{0,67}$	Charakteristické číslo budovy
b	m	Délkový rozměr
b_u	-	Teplotní redukční činitel
c	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
C_N	$Wh \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$	Vzduchová kapacitní konstanta
d	-	Počet dnů otopného období
D	$K \cdot den$	Denostupeň
d_{ekv}	m	Ekvivalentní průměr potrubí
D_n	m	Vnější průměr potrubí ZVT
d_p	mm	Minimální průměr pojistného potrubí
D_{pipe}	m	Vnitřní průměr potrubí ZVT
E_A	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	Měrná potřeba tepla na vytápění
e_i	-	Stínící součinitel
e_k	-	Korekční součinitel zohledňující povětrnostní vlivy
f_{g1}	-	Korekční činitel zohledňující vliv ročních změn teploty
f_{g2}	-	Teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou
f_{ij}	-	Teplotní redukční činitel
f_{RH}	$W \cdot m^{-2}$	Korekční součinitel
f_w	$m^2 \cdot m^{-2}$	Poměrná plocha průsvitné výplně otvoru
g	$m \cdot s^{-2}$	Tíhové zrychlení
G_w	-	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody
h	m	Nadmožská výška
H	kWh, MJ	Výhřevnost paliva
h	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla ze zeminy do vzduchu přes stěnu trubky ZVT
h_{EN}	m	Výška vodního sloupce
h_k	m	Konstrukční výška
h_s	m	Světlá výška
$H_{T,ie}$	$W \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí
$H_{T,ig}$	$W \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné ztráty do přilehlé zeminy
$H_{T,ij}$	$W \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné ztráty do místností o různých teplotách

Označení	Jednotka	Název veličiny
$H_{T,iue}$	$W \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné ztráty nevytápěným prostorem
L	m	Délka
L_c	m	Délka trubky podlahového vytápění celková
l_k	m	Konstrukční délka
L_p	m	Délka trubky podlahového vytápění v pobytové oblasti
L_{pipe}	m	Délka potrubí ZVT
M	$kg \cdot h^{-1}$	Hmotností průtok smyčkou podlahového vytápění
$max V_m$	$m^3 \cdot h^{-1}$	Maximální množství přiváděného vzduchu
m_{IN}	$kg \cdot s^{-1}$	Hmotnostní tok vzduchu přiváděného ZVT
$min V_m$	$m^3 \cdot h^{-1}$	Doporučené množství přiváděného vzduchu
m_{pipe}	$kg \cdot s^{-1}$	Hmotnostní tok vzduchu přiváděného ZVT
n_{50}	h^{-1}	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa
n_{EN}	-	Součinitel zvětšení objemu
n_{os}	-	Počet osob
O_c	%, -	Celková odlučivost
O_f	%, -	Frakční odlučivost
P	m	Obvod
p_B	kPa	Barometrický tlak
P_c	%, -	Celkový průřez
$p_{d,A}$	kPa	Absolutní hydrostatický tlak
PE_A	$kWh \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$	Měrná potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a technické systémy budovy
$p_{h,dov,A}$	kPa	Nejvyšší dovolený absolutní tlak
PMR	ks	Počet podlahových vyústek
p_{ot}	kPa	Otevírací přetlak pojistného ventilu
P_{pipe}	m	Obvod potrubí ZVT
$Q_{1SP,r}$	$MWh \cdot a^{-1};$ $GJ \cdot a^{-1}$	Roční potřeba energie na spotřebiče a umělé osvětlení na osobu
$Q_{1TV,r}$	$MWh \cdot a^{-1};$ $GJ \cdot a^{-1}$	Roční potřeba energie na ohřev TV na osobu
Q_{1ZVT}	W	Tepelný výkon jedné trubky ZVT
Q_c	W	Výkon jednotky
Q_p	kW	Pojistný výkon
$Q_{PD,r}$	$MWh \cdot a^{-1};$ $GJ \cdot a^{-1}$	Roční potřeba energie na provoz domu
q_s	$W \cdot m^{-2}$	Hustota tepelného toku
Q_s	W	Výkon smyčky
Q_v	$l \cdot min^{-1}$	Objemový průtok smyčkou podlahového vytápění
$Q_{VYT,r}$	$MWh \cdot a^{-1};$ $GJ \cdot a^{-1}$	Roční potřeba energie na vytápění
Q_{ZVT}	W	Celkový tepelný výkon ZVT
R	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor
RA	mm	Rozteč trubek v podlaze

Označení	Jednotka	Název veličiny
R_{SE}	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební konstrukcí
R_{SI}	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební konstrukcí
R_t	$Pa \cdot m^{-1}$	Měrná tlaková ztráta třením
s	m	Tloušťka vrstvy
S_0	mm^2	Průřez sedla pojistného ventilu
S_k	m	Konstrukční šířka
S_p	m^2	Plocha
U_{em}	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Střední hodnota součinitele prostupu tepla
$U_{equiv,k}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^2$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla
U_k	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla
U_{kc}	$W \cdot m^{-2} \cdot K^2$	Korigovaný součinitel prostupu tepla
U_{N20}	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla při převažující vnitřní výpočtové teplotě 20 °C
V	m^3	Objem
V_{c1}	$m^3 \cdot h^{-1}$	Množství topného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát objektu při ryze cirkulačním větrání
V_{c2}	$m^3 \cdot h^{-1}$	Množství topného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát objektu
V_{e1}	$m^3 \cdot h^{-1}$	Množství čerstvého vzduchu při režimu větrání
V_{EN}	l	Objem expanzní nádoby
V_{i1}	$m^3 \cdot h^{-1}$	Množství odváděného vzduchu
V_m	$m^3 \cdot h^{-1}$	Množství topného vzduchu pro pokrytí tepelných ztrát místnosti
V_o	$m^3 \cdot h^{-1}$	Objemový tok odváděného vzduchu
V_o	l	Objem vody v celé soustavě
V_p	$m^3 \cdot h^{-1}$	Objemový tok přiváděného vzduchu
V_{vh}	$m^3 \cdot h^{-1}$	Objemový průtok čerstvého vzduchu
w	$m \cdot s^{-1}$	Rychlost
α_w	-	Výtokový součinitel
δ	m	Tloušťka stěny potrubí ZVT
Δp_c	Pa	Celková tlaková ztráta
Δp_m	Pa	Tlaková ztráta místními odpory
Δp_t	Pa	Tlaková ztráta třením
ΔU_{tb}	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	Korekční součinitel
$\Delta \vartheta_H$	K	Využitelný rozdíl teplot pro podlahové vytápění
ε	-	Součinitel větrací rovnováhy
ε_i	-	Výškový korekční činitel
ε_{ptv}	-	Opravný součinitel na výpočet potřeby tepla
η	%, -	Účinnost
η_{EN}	-	Stupeň využití expanzní nádoby
η_o	%, -	Účinnost obsluhy

Označení	Jednotka	Název veličiny
η_r	%, -	Účinnost rekuperace
η_{rz}	%, -	Účinnost rozvodů
θ_{bIN}	°C	Vstupní teplota vzduchu přiváděného ZVT
θ_{bOUT}	°C	Výstupní teplota vzduchu přiváděného ZVT
θ_{c2}	°C	Teplota vzduchu přiváděného do místnosti
θ_e	°C	Venkovní výpočtová teplota
θ_i	°C	Vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{i,m}$	°C	Střední vnitřní výpočtová teplota
θ_{IN}	°C	Teplota vody na přívodu podlahového topení
$\theta_{int,i}$	°C	Vnitřní výpočtová teplota
$\theta_{m,e}$	°C	Roční průměrná venkovní teplota
θ_{OUT}	°C	Teplota vratné vody podlahového topení
θ_{vsp}	°C	Teplota vedlejšího prostoru
θ_w	°C	Teplota zeminy
λ	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
λ_t	-	Součinitel tření
ξ	-	Součinitel místního odporu
ρ	$kg \cdot m^{-3}$	Hustota
$\phi_{HL,i}$	W	Celkový tepelný výkon prostoru
$\phi_{HL,tvzduch}$	W	Celkový tepelný výkon teplovzdušně vytápěné části
$\phi_{RH,i}$	W	Zátopový tepelný výkon
$\phi_{T,i}$	W	Tepelná ztráta prostupem
$\phi_{V,i}$	W	Tepelná ztráta větráním
$\phi_{V,i,inf}$	W	Tepelná ztráta infiltrací

14 Seznam obrázků

Obr. 2.1: Schéma energeticky úsporné stavby [2].....	12
Obr. 2.2: Skutečná realizace pasivního domu [15].....	13
Obr. 2.3: Měrná potřeba tepla na vytápění v závislosti na faktoru A/V [8].	15
Obr. 2.4: Zjednodušené porovnání potřeby tepla na vytápění a vymezení oblastí energeticky úsporných budov [8].	16
Obr. 2.5: Průkaz energetické náročnosti budovy [16].....	18
Obr. 2.6: Zjednodušený princip výpočtu energie dodané do budovy [17].	20
Obr. 3.1: Rozložení tlaků na stěnu budovy a) vlivem gravitace, b) vlivem gravitace a větru [11].....	23
Obr. 3.2: Centrální umístění větrací jednotky a návrh trasování vzduchovodů [13].....	26
Obr. 3.3: Schéma bytového větrání s nuceným přívodem i odtahem vzduchu [1].	26
Obr. 3.4: Funkce samoregulační vyústky [18].	27
Obr. 3.5: Schéma hybridního větrání se samoodtahovou hlavicí [18].....	27
Obr. 3.6: Schéma deskového výměníku s křížovým proudem [27].....	29
Obr. 3.7: Schéma tepelné trubice [27].	30
Obr. 3.8: Schéma a fotografie rotačního výměníku [27].	30
Obr. 3.9: Schéma klasického provedení vzduchového ZVT [40].....	32
Obr. 3.10: Schéma cirkulačního provedení vzduchového ZVT-c [40].....	32
Obr. 3.11: Schéma solankového ZVT-s s možností cirkulačního chlazení [47].....	33
Obr. 4.1: Schéma tepelného čerpadla [19].	36
Obr. 4.2: Schéma teplovzdušného kotle [20].	38
Obr. 4.3: Teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka DUPLEX RC od firmy ATREA [41].....	39
Obr. 4.4: Půdorys vzorového potrubního rozvodu firmy ATREA [42].	40
Obr. 4.5: Bokorys vzorového potrubního rozvodu firmy ATREA v zapojení se solárním kolektorem, ZVT a integrovaným zásobníkem tepla [42].....	40
Obr. 7.1: Závislost výstupní teploty vzduchu a výkonu teplovzdušné jednotky DUPLEX RA3-EC na teplotě otopné vody a množství proudícího vzduchu [46].	53
Obr. 7.2: Filtry užívané v kuchyňských digestořích: 1, 2-uhlíkové, 3-kovový [29].	56
Obr. 7.3: Podlahová mřížka 250 x 97 mm, provedení mosaz/chrom [48].	59
Obr. 7.4: Výkonové parametry ventilátoru cirkulačního vzduchu ($V_m=341 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, $\Delta p_c=78,92 \text{ Pa}$) [46].	61
Obr. 7.5: Výkonové parametry ventilátoru odsávaného vzduchu ($V_m=220 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, $\Delta p_c=66,75 \text{ Pa}$) [46].	61
Obr. 8.1: Graf pro výpočet podlahového topení Gabotherm 1.2.3, podlahová krytina-dlažba [51].	63
Obr. 8.2: Graf pro odečet měrné tlakové ztráty v závislosti na druhu trubky a hmotnostního průtoku [51].	64
Obr. 8.3: Nastavení regulačních ventilů jednotlivých smyček podlahového topení [52].	66
Obr. 8.4: Charakteristika čerpadla UPS 25-30 [55].	69
Obr. 8.5: Charakteristika čerpadla UPS 25-20 [55].	69

15 Seznam tabulek

Tab. 2-1: Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění [6].	15
Tab. 2-2: Základní parametry pasivního domu a schéma certifikace [6].	16
Tab. 2-3: Klasifikační třídy energetické náročnosti některých budov podle vyhlášky 148/2007Sb. [4].	17
Tab. 2-4: Výpočtové hodnoty faktoru energetické přeměny pro přepočet spotřeby energie na hodnoty primární energie [6].	19
Tab. 2-5: Výpočtová účinnost přeměny energie podle typu zdroje [6].	19
Tab. 2-6: Třídy PD a NED v závislosti na měrné potřebě tepla na vytápění [6].	20
Tab. 3-1: Předehřívání vzduchu v zimě [14].	31
Tab. 4-1: Výhřevnost nejčastěji užívaných paliv [19].	37
Tab. 4-2: Fyzikální vlastnosti vody a vzduchu [20].	37
Tab. 6-1: Charakteristika budovy a základní klimatické údaje.	43
Tab. 6-2: Vzorový výpočet součinitele prostupu tepla U_k vnější obvodové stěny SO1. ...	44
Tab. 6-3: Součinitele prostupu tepla U_k [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] všech konstrukcí.	44
Tab. 6-4: Vrstvy konstrukcí použité při výpočtu [37].	45
Tab. 6-5: Tepelný odpor při přestupu tepla mezi vzduchem a stavební konstrukcí [37].	45
Tab. 6-6: Návrhové tepelné výkony místností objektu.	49
Tab. 6-7: Porovnání hodnot vypočtených součinitelů prostupu tepla konstrukcí s doporučenými hodnotami.	49
Tab. 7-1: Přehled hodnot pro dimenzování množství cirkulačního vzduchu teplovzdušně vytápěné části objektu [45].	53
Tab. 7-2: Množství odsávaného vzduchu při nárazovém větrání podle DIN 1946 [45].	55
Tab. 7-3: Množství odsávaného vzduchu pro daný RD.	56
Tab. 8-1: Vybrané technické parametry závěsného plynového kondenzačního kotle Vaillant VU 126/3-5 ecoTEC plus [49].	62
Tab. 8-2: Technické parametry jednotlivých smyček podlahového topení.	65
Tab. 8-3: Výpočet tlakových ztrát teplovodního potrubí strojní části.	68
Tab. 10-1: Ekonomické porovnání systémů teplovzdušného vytápění s rekuperací a teplovodního vytápění bez rekuperace (např. otopnými tělesy).	73

16 Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka pro hodnocení domů s velmi nízkou energetickou náročností

Příloha 2: Doporučené hodnoty U

Příloha 3: Možné uložení ZVT, konstrukční možnosti odvodu kondenzátu

Příloha 4: Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce

Příloha 5: Tepelný výkon objektu

Příloha 6: Tlakové ztráty vzduchovodů

Příloha 7: Stavební výkresy

Část 1: výkres číslo 4O19-1: Půdorys 1NP stavební

Část 2: výkres číslo 4O19-2: Půdorys 2NP stavební

Část 3: výkres číslo 4O19-3: Řez A-A stavební

Příloha 8: Vzduchotechnické výkresy

Část 1: výkres číslo 4O19-4: Rozvody čerstvého vzduchu

Část 2: výkres číslo 4O19-5: Rozvody topného vzduchu 1NP

Část 3: výkres číslo 4O19-6: Rozvody topného vzduchu 2NP

Část 4: výkres číslo 4O19-7: Rozvody cirkulačního vzduchu

Část 5: výkres číslo 4O19-8: Rozvody odpadního vzduchu

Část 6: výkres číslo 4O19-9: Řezopohled A-A vzduchotechnika

Příloha 9: Výkresy teplovodní části systému

Část 1: výkres číslo 4O19-10: Půdorysy 1NP, 2NP teplovodní

Část 2: výkres číslo 4O19-11: Schéma strojní části

Část 3: výkres číslo 4O19-12: Rozdělovač-sběrač

Příloha 10: Výkres regulace: číslo výkresu 4O19-13: Schéma regulace

Příloha 11: CD s elektronickou verzí diplomové práce

