

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

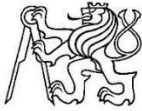
Vytápění bytového domu

Heating of a residential building

Zpracovatel: Iva Sedlmajerová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

2020



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sedlmajerová Jméno: Iva Osobní číslo: 468482
Zadávající katedra: K125 Katedra technických zařízení budov
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3608R008) Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění bytového domu
Název bakalářské práce anglicky: Heating of a residential building

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte projektovou dokumentaci vytápění na úrovni rozšířené dokumentace pro stavební povolení dle vyhlášky 499/2006 Sb. Projekt dokumentujte půdorysy, řezy, výpočty a technickou zprávou.

V prohlubující části zpracujte variantní řešení zdroje tepla pro zadanou budovu, včetně jejich vyhodnocení a volby vhodné varianty. Zpracujte koncepční návrh větrání zadaného objektu.

Seznam doporučené literatury:

prof. Ing. K.Kabele, CSc. a kol.: Energetické a ekologické systémy 1 - skripta ČVUT
Papež, Vyoralová, Marková, Garlík, Jokl: Energetické a ekologické systémy budov 2. - skripta ČVUT
Bašta, J., Kabele, K. - Otopné soustavy teplovodní (sešit projektanta) STP
ČSN EN 15665 Větrání budov
ČSN EN 12828+A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav, ČNI, 2014

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 18.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

25.2.20

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci na téma „Vytápění bytového domu“ vypracovala samostatně a s použitím uvedené literatury a podkladů.

Ve Chvalovicích, dne

.....

Iva Sedlmajerová

Poděkování

Chtěla bych vyjádřit poděkování Ing. Zuzaně Veverkové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost při konzultacích a cenné rady při zpracování této Bakalářské práce.

Anotace:

Obsahem Bakalářské práce je návrh vytápění bytového domu. Projekt vytápění zahrnuje výpočet tepelných ztrát, návrh otopných těles a dimenzí potrubí a také výpočet tlakových ztrát potrubí. Výpočty byly zpracovány v programu Raucad Techcon. V prohlubující části se práce zabývá návrhem zdroje tepla s vyhodnocením nejvhodnější varianty. Poslední částí práce je koncepční návrh větrání bytového domu.

Klíčová slova:

bytový dům, otopná tělesa, tepelné ztráty, větrání, vytápění, zdroj tepla

Annotation:

The content of the Bachelor thesis is the design of heating for the residential building. This heating project contains calculation of heat losses, design of heating elements and dimensions of pipes and also calculation of pressure losses. These calculations were proceeded in the program Raucad Techcon. The deepening part of this thesis deals with the design of heat resource with evaluation of the best option. Conceptual design of ventilation of the residential building is the last part of this thesis.

Key words:

residential building, heating elements, heat losses, ventilation, heating, heat resource

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



VYTÁPĚNÍ BYTOVÉHO DOMU

ČÁST A

TEORETICKÁ ČÁST

Zpracovatel: Iva Sedlmajerová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

2020

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Popis objektu	9
3. Vytápění.....	12
3.1. Tepelné ztráty	12
3.1.1. Tepelná ztráta větráním.....	13
3.1.2. Tepelná ztráta prostupem	13
3.1.3. Okrajové podmínky.....	14
3.2. Otopná tělesa	14
3.2.1. Čláková otopná tělesa.....	15
3.2.2. Desková otopná tělesa.....	15
3.2.3. Trubková otopná tělesa	16
3.2.4. Konvektory.....	17
3.3. Otopné plochy.....	17
3.3.1. Podlahové otopné plochy	18
3.3.2. Stěnové otopné plochy	18
3.3.3. Stropní otopné plochy	19
3.4. Materiál potrubí.....	19
3.4.1. Ocelové potrubí	19
3.4.2. Měděné potrubí.....	19
3.4.3. Plastové potrubí.....	20
3.5. Tlakové ztráty	20
3.5.1. Tlaková ztráta třením.....	20
3.5.2. Tlaková ztráta vřazenými odpory	21
3.6. Zdroj tepla	22
3.6.1. Kotle na plynná paliva.....	22

3.6.2.	Kotle na pevná paliva.....	24
3.6.3.	Elektrokotle.....	25
3.6.4.	Tepelná čerpadla.....	26
4.	Výběr zdroje tepla.....	31
4.1.	Vyhodnocení	32
5.	Větrání objektu	34
5.1.	Návrh větrání objektu	35
6.	Závěr	36
7.	Seznam obrázků.....	37
8.	Seznam tabulek.....	37
9.	Seznam použité literatury.....	38
10.	Použité programy.....	41

1. Úvod

V dnešní době většinu svého času trávíme uvnitř objektů. Proto je důležité klást důraz na kvalitu vnitřního prostředí, která je zajištěna nejen architektonickým řešením interiéru, ale i kvalitou vnitřního ovzduší, jako je jeho teplota, vlhkost nebo množství škodlivin.

Jedním z technických zařízení budov, které se podílí na zlepšování kvality vnitřního prostředí, je vytápění. Hlavním cílem vytápění je zajistit tepelnou pohodu v objektu, aby se v něm lidé cítili příjemně. Je důležité, aby systém vytápění byl schopen pokrýt tepelné ztráty objektu. Systém by zároveň měl být navržen tak, aby tepelný výkon otopných těles výrazně nepřevyšoval tepelné ztráty jednotlivých místností.

V současnosti se snažíme snižovat energetickou náročnost budov a využívat obnovitelné zdroje energie jako je solární energie, geotermální energie nebo biomasa. Obvodové konstrukce objektů jsou navrhovány z materiálů s nižším součinitelem tepelné vodivosti, v jehož důsledku dochází k snižování tepelných ztrát obálkou budovy. Díky tomu lze navrhovat zdroje pro vytápění o nižších výkonech, než tomu bylo v dřívějších letech.

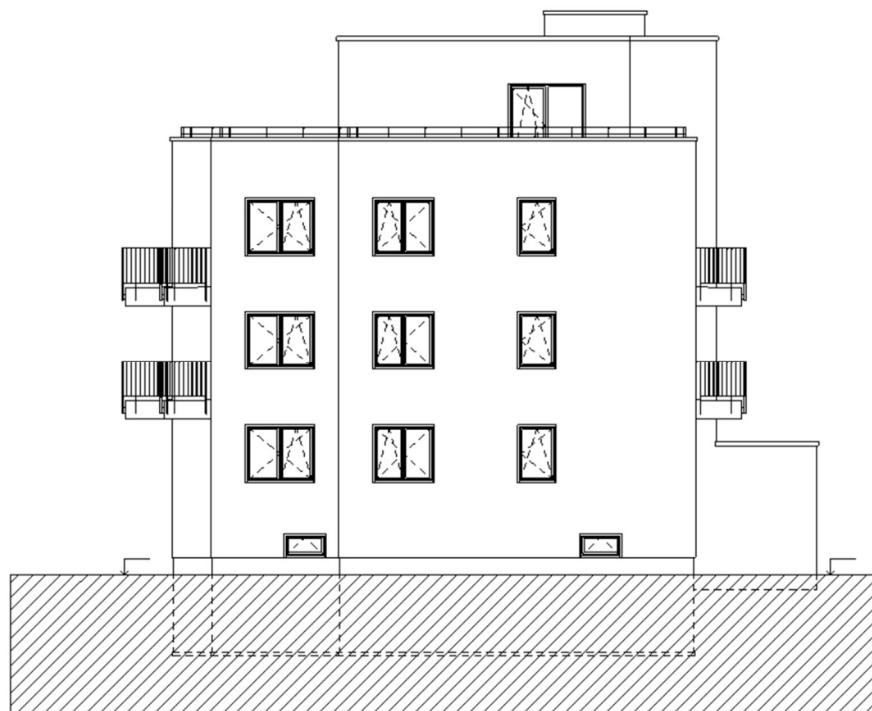
2. Popis objektu

Jedná se o novostavbu bytového domu situovanou v Praze. Objekt má čtyři nadzemní podlaží a jedno podzemní podlaží. Střecha objektu je plochá. Půdorysná plocha bytového domu je 298 m², nejvyšší bod konstrukce se nachází 13,1 m nad úrovní terénu. Konstrukční výška nadzemních podlaží je 2 950 mm, konstrukční výška suterénu je 3 050 mm.

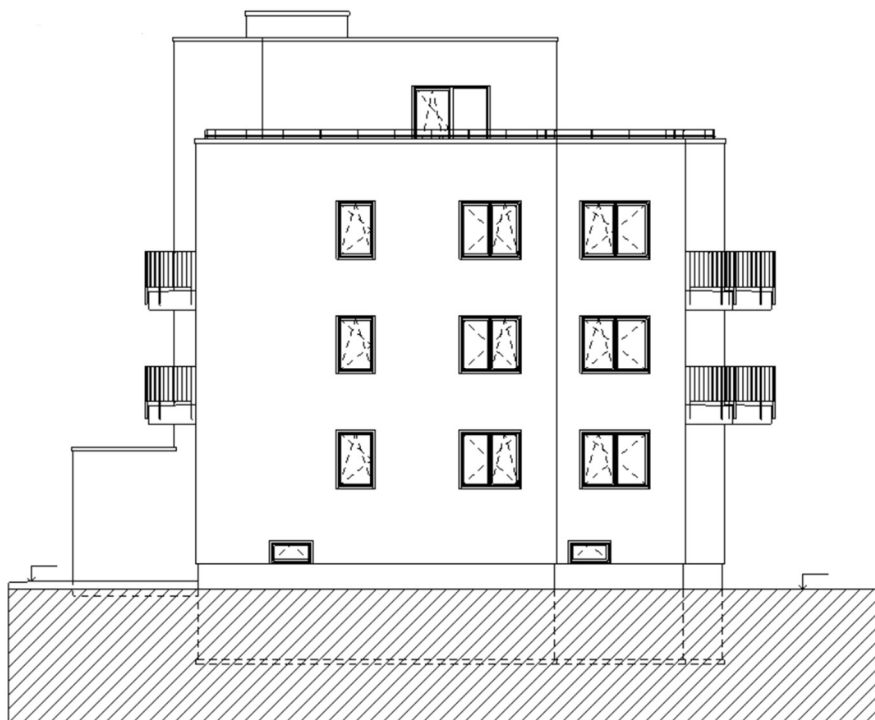
V podzemním podlaží se nachází sklepní kóje sloužící jako úložný prostor pro obyvatele objektu. Dále se zde nachází technická místnost a místnost pro domovní odpad.

V nadzemních podlažích jsou umístěné obytné prostory. V prvním až třetím podlaží se nachází pět bytových jednotek na poschodí. V posledním podlaží se nachází samostatná bytová jednotka s vlastní terasou. Uvažovaný počet osob žijících v bytovém domě je 34 při plném obsazení bytových jednotek.

Nosné konstrukce podzemní částí objektu a posledního nadzemního podlaží jsou tvořeny železobetonovými stěnami. Zbylá patra jsou vyžděna z vápenopískových bloků. Stropní konstrukce je tvořena železobetonovou deskou. Bytový dům je založen na železobetonové základové desce s pilotami.



Obrázek 1: Pohled na objekt – severní



Obrázek 2: Pohled na objekt – jižní



Obrázek 3: Pohled na objekt – východní



Obrázek 4: Pohled na objekt – západní

3. Vytápění

3.1. Tepelné ztráty

Výpočet tepelné ztráty místností, popř. objektu, je důležitým krokem pro návrh tepelného výkonu otopných těles. Tepelná ztráta znázorňuje tepelný tok mezi interiérem a exteriérem za daných podmínek (např. teplota vnitřního a vnějšího prostředí). Výpočet tepelné ztráty se dá rozdělit do dvou částí – tepelná ztráta prostupem a větráním.

Obecný vztah pro stanovení tepelné ztráty je

$$\Phi = \Phi_V + \Phi_T$$

kde:

Φ celková tepelná ztráta [W]

Φ_V tepelná ztráta větráním [W]

Φ_T tepelná ztráta prostupem [W]

3.1.1. Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním nám říká, kolik tepla je potřeba na ohřátí větracího vzduchu na požadovanou teplotu (teplotu v dané místnosti). Ztráta větráním se vypočítá podle následujících vztahů.

$$\Phi_V = H_V \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$H_V = V_i \cdot c_p \cdot \rho \cdot (\theta_i - \theta_{sup}) / (\theta_i - \theta_e)$$

kde:

ρ hustota vzduchu [kg/m³]

c_p měrná tepelná kapacita vzduchu [W.h/kg.K]

V_i objemový průtok větracího vzduchu [m³/h]

H_V součinitel tepelné ztráty větráním [W/K]

θ_i, θ_e teplota vzduchu interiéru a exteriéru [°C]

θ_{sup} teplota přiváděného vzduchu [°C]

3.1.2. Tepelná ztráta prostupem

Druhou důležitou složkou výpočtu celkové tepelné ztráty je tepelná ztráta prostupem. Tepelná ztráta vzniká u konstrukcí mezi prostory s rozdílnými teplotami. Jestliže je v místnosti vyšší teplota než v jejím okolí, vznikne tepelná ztráta a naopak. Celková tepelná ztráta prostupem je dána součtem dílčích tepelných ztrát či zisků vzniklých prostupem tepla ohraničujícími konstrukcemi dané místnosti. Tepelnou ztrátu prostupem lze vypočítat pomocí těchto vzorců.

$$\Phi_T = H_T \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$H_T = \sum H_{T,k}$$

$$H_{T,k} = A \cdot U_k \cdot b_u$$

$$b_u = \frac{\theta_i - \theta_{u,k}}{\theta_i - \theta_e}$$

kde:

H_T	součinitel tepelné ztráty prostupem [W/K]	
$H_{T,k}$	součinitel tepelné ztráty konstrukce prostupem [W/K]	
A	plocha konstrukce [m ²]	
U_k	součinitel prostupu tepla konstrukce [W/m ² .K]	
b_u	činitel teplotní redukce [-]	
θ_i, θ_e	teplota vzduchu interiéru a exteriéru [°C]	
$\theta_{u,k}$	teplota za konstrukcí [°C]	[1]

3.1.3. Okrajové podmínky

Bytový dům je lokalizován v Praze, dle ČSN EN 12831-1 byla stanovena teplota vnějšího prostředí $\theta_e = -12$ °C. Teplota přiváděného vzduchu z exteriéru do interiéru byla stanovena se zohledněním způsobu větrání $\theta_{sup} = 10,4$ °C, více o větrání v kapitole „5. Návrh větrání objektu“. Byly uvažovány následující výpočtové teploty jednotlivých místností: obytné místnosti 20 °C, koupelny 24 °C, chodby bytů 18 °C, hlavní chodba 15 °C, schodišťový prostor a suterén 5 °C. Teploty vzduchu v interiéru byly navrženy v souladu s ČSN EN 12831-1.

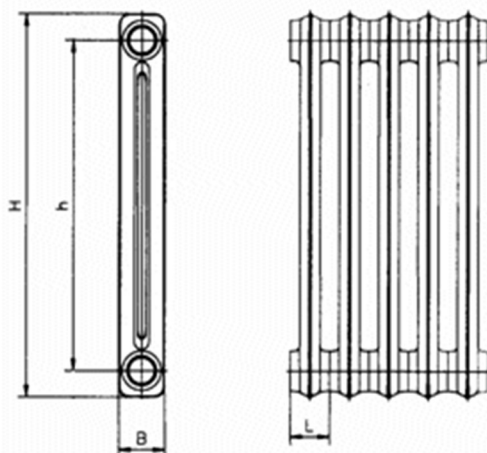
3.2. Otopná tělesa

Otopné těleso je koncovým prvkem soustavy vytápění objektu, které zajišťuje tepelnou pohodu v místnosti. Jeho tepelný výkon se stanoví na základně vypočítaných tepelných ztrát jednotlivých místností tak, aby pokrytí tepelné ztráty bylo maximálně 110 %. Teplo je otopnými tělesy předáváno do okolí sáláním, vedením i prouděním. Tělesa se rozdělují na tři hlavní typy: článková, desková, trubková otopná tělesa a konvektory.

[2]

3.2.1. Článeková otopná tělesa

Jak název vypovídá, článeková otopná tělesa jsou složena z článků, které jsou nejčastěji vyráběny z ocelového plechu, litiny nebo slitiny hliníku. Jsou využívána především v teplovodních soustavách. V dnešní době se s článekovými tělesy setkáváme spíše ve stávajících budovách, do novostaveb jsou častěji navrhována desková otopná tělesa.



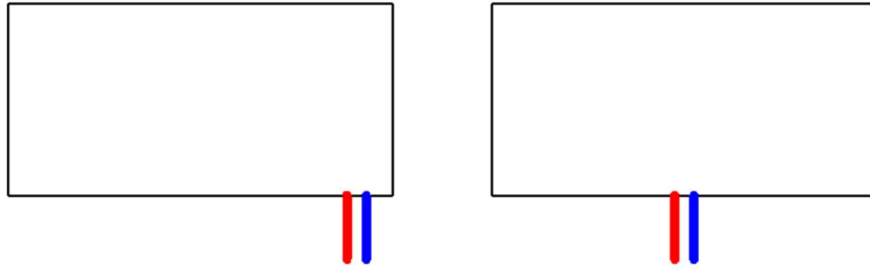
Obrázek 5: Článekové otopné těleso [3]

3.2.2. Desková otopná tělesa

Desková otopná tělesa patří mezi nejvíce používaná tělesa dnešní doby. Vyskytují se v mnoha různých povrchových úpravách, rozměrech i tvarech. Těleso je tvořeno dvěma komorami ve směru délky tělesa (sběrná a rozvodná), které jsou vzájemně propojeny pomocí kanálků. Nejčastěji se tato tělesa využívají při teplovodním vytápění. Napojení tělesa na otopnou soustavu lze provést ve dvou variantách: napojení z boku tělesa (klasik) nebo napojení spodem (kompaktní), které lze provést jednak na straně, jednak uprostřed tělesa.

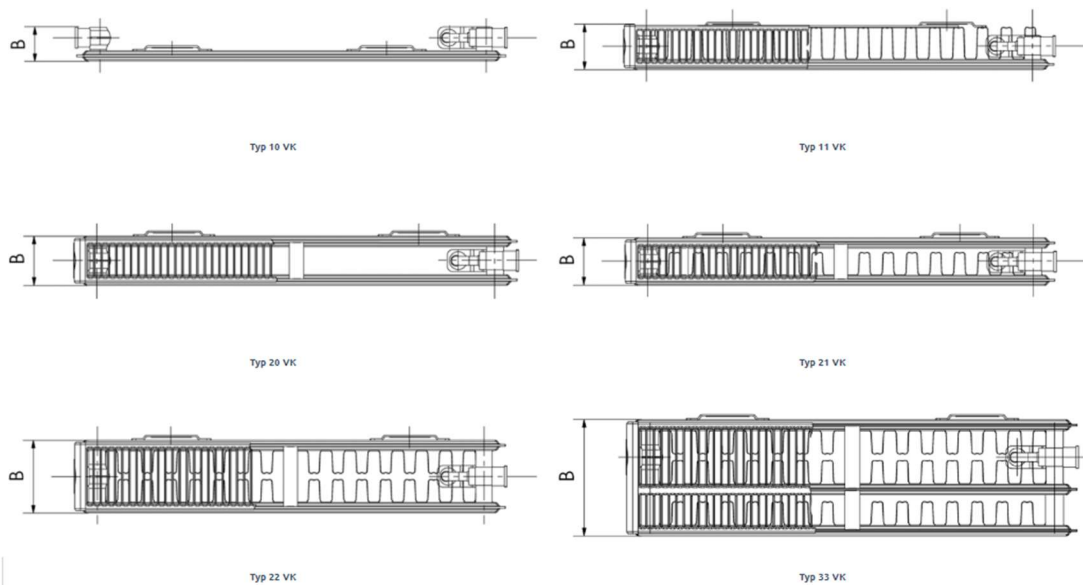


Obrázek 6: Deskové těleso – napojení klasik



Obrázek 7: Deskové těleso – napojení kompaktní

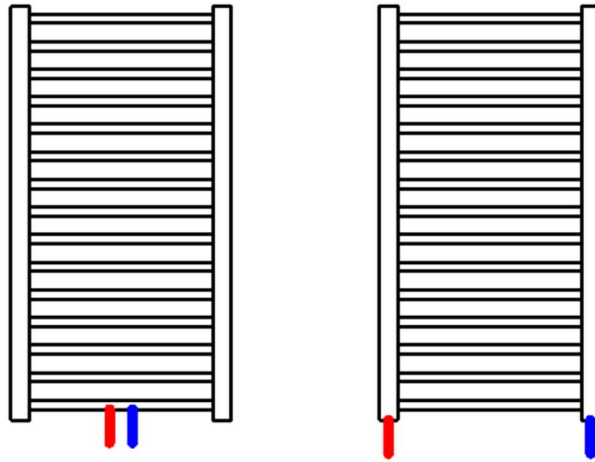
Tepelný výkon deskového otopného tělesa je dán počtem jednotlivých desek a konvekčních plechů.



Obrázek 8: Typy deskových těles [4]

3.2.3. Trubková otopná tělesa

Trubková otopná tělesa jsou tvořena rozvodnou a sběrnou komorou, které jsou spojeny pomocí menších trubek kruhového, čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Pro tato otopná tělesa je typické využití v koupelnách v podobě topného žebříku. Dnes se nepoužívají pouze rovinné žebříky, ale mohou být i různě tvarované, díky čemuž lze těleso využít nejen pro vytápění, ale i jako designový prvek. Napojení otopné soustavy na trubkové těleso lze provést ze spodu – jak ze stran, tak ze středu tělesa.



Obrázek 9: Trubkové těleso – napojení

3.2.4. Konvektory

Konvektor jsou otopná tělesa, které pro sdílení tepla se svým okolím využívají konvekci. V konvektorech jsou umístěny výměníky, které ohřívají proudící vzduch v místnosti. Tato tělesa se nejčastěji používají v objektech s francouzskými okny. Konvektory lze umístit samostatně u nízkých parapetů, ale také je lze zabudovat do konstrukce, např. do podlahy nebo do zdi. [3]



Obrázek 10: Podlahový konvektor [5]

3.3. Otopné plochy

Otopné plochy se na rozdíl od otopných těles řadí to velkoplošného vytápění. Jsou součástí konstrukcí objektu a umísťují se na nejvíce ochlazované konstrukce jako jsou obvodové stěny nebo podlaha v kontaktu se zemí. Otopné plochy nejčastěji sdílí teplo s okolím sáláním.

3.3.1. Podlahové otopné plochy

Podlahová otopná plocha je jedna z nejpoužívanějších otopných ploch současnosti. Teplo je do okolí předáváno buď sáláním na povrchy ostatních konstrukcí, nebo konvekcí vzduchu. Nejčastěji se podlahové vytápění využívá nejen v konstrukcích ochlazovaných podlah (v kontaktu se zeminou nebo nad nevytápěným suterénem), ale i v podlahách koupelen, kde je žádoucí teplejší povrch podlahy.



Obrázek 11: Podlahové vytápění [6]

3.3.2. Stěnové otopné plochy

Stěnové otopné plochy mohou být umístovány jak v celé ploše obvodové stěny, tak do parapetů oken. Ke stěnám opatřeným otopnou plochou se nedoporučuje umísťovat nábytek, který snižuje účinnost vytápění.



Obrázek 12: Stěnové vytápění [7]

3.3.3. Stropní otopné plochy

Proudící vzduch v místnosti se ohřívá o stropní otopný panel a zajišťuje tepelnou pohodu v místnosti. Mohou být umístěny jak v podhledu, tak zavěšené pod stropem. Stropní otopné plochy jsou spíše účinnější při velkoplošném chlazení. [1]



Obrázek 13: Stropní vytápění [8]

3.4. Materiál potrubí

3.4.1. Ocelové potrubí

Ocelové potrubí má velmi dobré mechanické vlastnosti. Jelikož se jedná o kovové potrubí, jednou z jeho výhod je nízká teplotní délková roztažnost. Navzdory několika dobrým vlastnostem je ocel jako taková náchylná působení koroze.

3.4.2. Měděné potrubí

Měděné potrubí má vysokou pevnost, oproti ocelovému potrubí nabízí možnost menších tloušťek stěn, je hladší (vykazuje menší tlakové ztráty) a odolává korozi. Jeho nevýhodou je vyšší teplotní roztažnost než u oceli.

3.4.3. Plastové potrubí

Plastové potrubí je lehké, má nízké tepelné ztráty a je odolné vůči korozi. Návrh tohoto potrubí je omezen teplotou a tlakem. Z těchto tří materiálů vykazuje největší teplotní roztažnost. Potrubí se vyrábí např. z chlorovaného PVC, PVDF nebo polybutenu. Plastové potrubí je využíváno u otopných ploch. [9]

3.5. Tlakové ztráty

Tlakové ztráty v potrubí se stanovují pro jednotlivé úseky potrubních rozvodů, ve kterých se nemění rychlost proudění ani množství proudící topné vody. Celková tlaková ztráta se skládá z tlakové ztráty třením a ztráty vřazenými (místními) odpory. Pro její výpočet platí následující vztah

$$\Delta p_C = \Delta p_T + \Delta p_O$$

kde:

Δp_C celková tlaková ztráta [Pa]

Δp_T tlaková ztráta třením [Pa]

Δp_O tlaková ztráta vřazenými odpory [Pa]

3.5.1. Tlaková ztráta třením

K tlakové ztrátě třením dochází v důsledku nerovnoměrnosti povrchu potrubí. Neexistuje tak dokonalý povrch, aby na něm žádné tření vlivem proudění kapaliny nevznikalo. Velikost tlakové ztráty třením závisí na délce posuzovaného úseku a materiálu, ze kterého je potrubí vyrobeno. Pro její výpočet lze použít vzorce

$$\Delta p_T = R \cdot l$$

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

kde:

Δp_T tlaková ztráta třením [Pa]

R měrná tlaková ztráta [Pa/m]

l	délka daného úseku potrubí [m]
λ	součinitel tření [-]
d	průměr potrubí [m]
w	rychlost proudění vody v potrubí [m/s]
ρ	hustota vody [kg/m ³]

3.5.2. Tlaková ztráta vřazenými odpory

Tlaková ztráta vřazenými (místními) odpory vzniká v místech napojení tvarovek nebo armatur. Pro každou z tvarovek nebo armatur je stanovený součinitel místního odporu ξ , který charakterizuje úbytek tlaku v místě napojení armatury nebo tvarovky. Celková tlaková ztráty vřazenými odpory lze vyjádřit vztahem

$$\Delta p_o = \sum \xi_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

kde:

Δp_o	tlaková ztráta vřazenými odpory [Pa]	
ξ	součinitel místního odporu [-]	
w	rychlost proudění vody v potrubí [m/s]	
ρ	hustota vody [kg/m ³]	[1]

3.6. Zdroj tepla

Zdroj tepla je zařízení, které zajišťuje přeměnu energie získané z paliva na tepelnou energii, kterou následně předává teplotonosné látce. Teplotonosná látka dále teplo rozvede trubním systémem až k otopným tělesům v celém objektu.

Zdroje tepla lze dělit podle různých kritérií:

Podle druhu spalovaného paliva:

- Kotle na plynná paliva – zemní plyn
- Kotle na tuhá paliva – dřevo, biomasa, hnědé uhlí, brikety, pelety
- Kotle na kapalná paliva – topný olej
- Elektrické kotle

Podle teploty nosné látky:

- Klasické – teplota vody do 110 °C
- Nízkoteplotní – teplota vody do 65 °C
- Kondenzační – teplota vody do 60 °C

Podle umístění:

- Nástěnné
- Stacionární [10]

Podle tlaku ve spalovací komoře:

- Atmosférické – přiváděný vzduch není ovlivňován tahem komínu
- Přetlakové – vzduch je přiváděn pomocí ventilátoru
- Podtlakové – přívod vzduchu do kotle je zajištěn pomocí podtlaku, který je vytvářen komínem [1]

3.6.1. Kotle na plynná paliva

Kotle na plynná paliva využívají hoření plynné látky pro výrobu tepla. Plynové kotle lze použít pro vytápění rodinných domů, bytových domů, samostatných bytových jednotek ale i velkých objektů. Jako spalnou látku lze využít propan, butan (a jejich směs) a zemní plyn, který se používá nejčastěji.

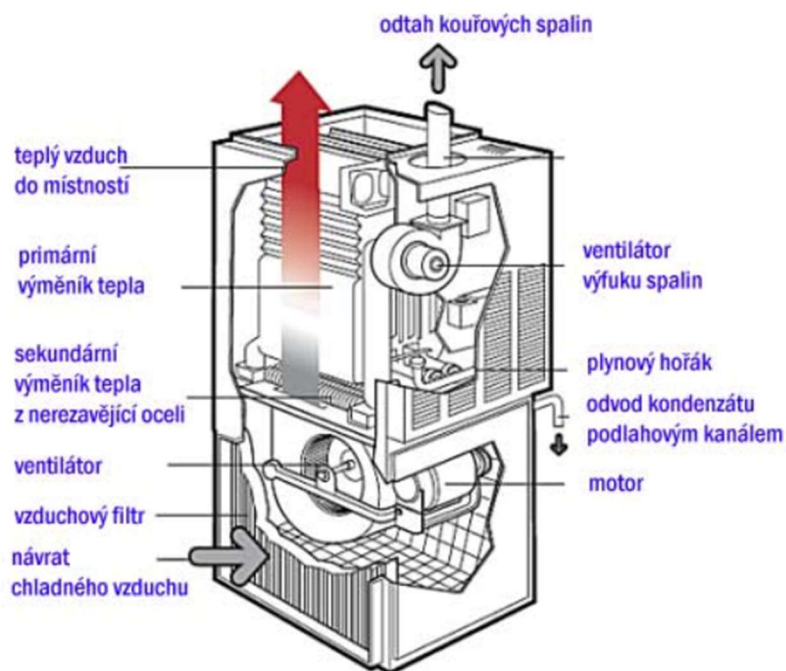
Kondenzační plynové kotle jsou v dnešní době nejpoužívanějším zdrojem tepla, který využívá zemní plyn. Tento zdroj tepla je oblíbený zejména pro svou vysokou účinnost až 108 %. Kotel využívá teplo a kondenzaci vodní páry, která je obsažená ve spalinách odcházejících komínem. Teplo ze spalin je zpětně využíváno k ohřevu kapaliny proudící od otopných těles, tím se sníží potřeba energie na ohřev vody na požadovanou teplotu. Kotel je vhodný nejen pro teplovodní systém vytápění.

[12]

Rozdělení podle způsobu přívodu vzduchu a odvodu spalin:

- Kategorie B – vzduch je do spotřebiče přiváděn z místnosti ve které se nachází, ale spaliny jsou odváděny do venkovního prostředí
- Kategorie C – vzduch je do spotřebiče přiváděn z exteriéru a spaliny jsou odváděny do venkovního prostředí

[11]



Obrázek 14: Kondenzační plynový kotel [13]

Výhody:

- Vysoká účinnost
- Při spalování plynu nevznikají nečistoty v pevné fázi
- Není nutný zděný komín, vzhledem k poměrně nízké teplotě spalin
- Nízké emise do ovzduší

Nevýhody:

- Nutný odvod spalin mimo objekt
- Připojení na plynovodní řad
- Odvod kondenzátu
- Pravidelná kontrola a čištění kotle

[14]

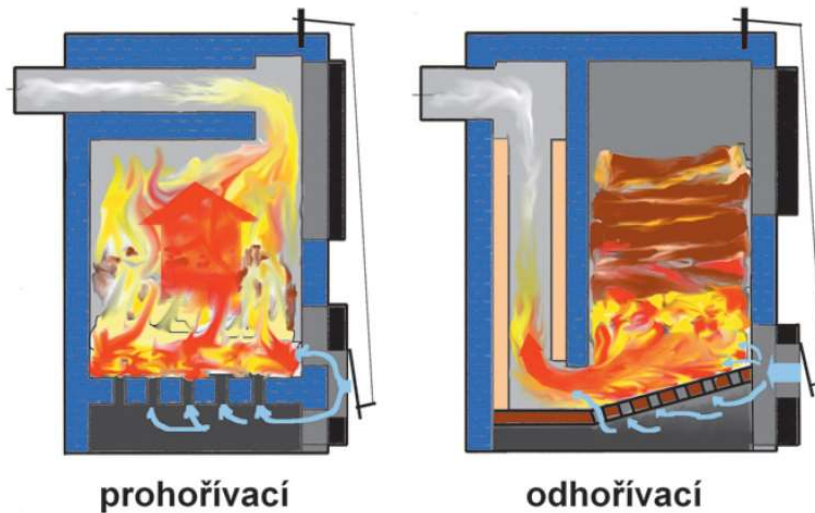
3.6.2. Kotle na pevná paliva

Zdroj tepla využívající pevná paliva je jedním z nejstarších systémů vytápění. Dnešní kotle jsou ale oproti jejich předchůdcům šetrnější k životnímu prostředí. U tohoto typu kotle je důležité zajistit dostatečné množství přiváděného vzduchu (okysličovadla), aby docházelo k dokonalému spalování a nevznikal tak nebezpečný oxid uhelnatý.

Volba technologie spalování závisí na tvaru a velikosti spalované látky. Kotle jsou tedy navrhovány pro daný druh pevného paliva. Do kategorie pevných paliv patří biomasa a uhlí. Biomasa může být buď dřevní nebo bylinná. Mezi zástupce biomasy patří např. piliny, štěpka, pelety, brikety nebo kusové dřevo. U pevných paliv platí, že čím je starší, tím má větší výhřevnost. Palivo je třeba do kotle doplňovat, avšak některé kotle jsou vybaveny zásobníkem s automatickým přikládáním v závislosti na potřebném tepelném výkonu, což je dělá téměř bezobslužné.

Podle technologie spalování se kotle na pevná paliva dělí na kotle prohořivací a odhořivací. Prohořivací kotel se od odhořivacího liší ve způsobu odvodu spalin. Spaliny jsou u prohořivacího kotle odváděny přes vrstvu paliva.

[15]



Obrázek 15: Schéma prohořivacího a odhořivacího kotle na pevná paliva [15]

Výhody:

- Využití obnovitelných zdrojů energie
- Možnost částečné automatizace
- Poměrně levný provoz
- Ekologické

Nevýhody:

- Vznikají tuhé zbytky spalování (popel, saze)
- Nutný odvod spalin do exteriéru
- Nutná obsluha na doplňování paliva
- Uskladnění paliva v suchém prostředí

3.6.3. Elektrokotle

Elektrokotel zajišťuje vytápění pomocí elektrické energie. Jelikož je elektřina na vytápění drahá, je nejvýhodnější použít elektrokotle v objektech s nízkou tepelnou ztrátou. Elektrokotel pomocí čerpadla vhání vodu otopné soustavy do topných tyčí, kde se zahřívá a následně proudí k otopným tělesům. Často se elektrokotel využívá v kombinaci s tepelnými čerpadly nebo například krbem. [16]



Obrázek 16: Elektrokotel [17]

Výhody:

- Elektrická energie je přístupná v každém objektu
- Nevznikají žádné spaliny, které je třeba odvádět do exteriéru
- Vysoká účinnost až 99 %

Nevýhody:

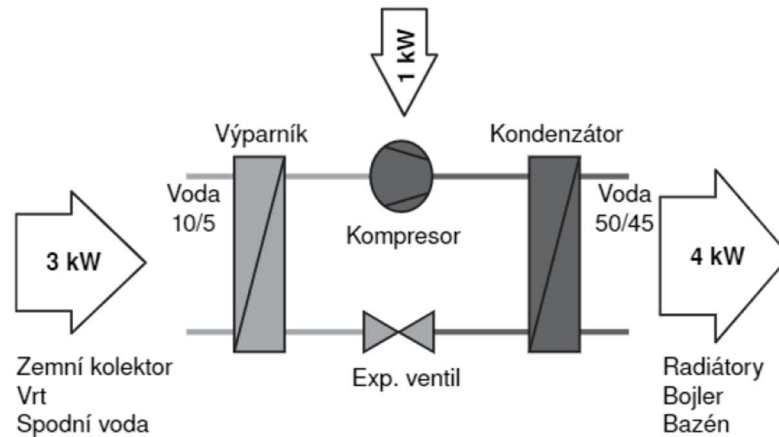
- Vytápění elektřinou je nákladné
- Výroba elektrické energie v ČR má negativní dopad na životní prostředí
- Vyšší kapacita elektrické sítě

3.6.4. Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které čerpá teplo z vnějšího prostředí a využívá ho pro vytápění nebo ohřev vody. Zdrojem tepla jsou obnovitelné energie získané buď ze země, vody či vzduchu. Tepelné čerpadlo je tvořeno venkovní a vnitřní jednotkou. Venkovní jednotka odebírá teplo z externích zdrojů (země, voda, vzduch). Vnitřní jednotka předává teplo otopné soustavě.

Kapalina (nemrznoucí směs) proudící ve venkovním potrubí získává teplo z externích zdrojů. Ohřátá kapalina nebo venkovní vzduch (v případě, že získáváme teplo ze vzduchu) putuje do výparníku, kde předává svou tepelnou energii kapalnému chladivu uvnitř zařízení. To je následně stlačeno v kompresoru, kde zvýší svou teplotu s rostoucím tlakem, stane se z něj plynná látka a proudí do kondenzátoru. V kondenzátoru předá

teplo otopné soustavě a následně zkondenzuje. Kapalné chladivo je ochlazeno v expanzivním ventilu a putuje do výparníku, kde opět získá tepelnou energii z externích zdrojů.



Obrázek 17: Tepelné čerpadlo – princip [18]

Tepelná čerpadla jsou označována podle toho, z jakého zdroje je čerpána energie a jakým způsobem jí dodává do objektu.

Tepelné čerpadlo typu vzduch/voda

Tento typ tepelného čerpadla je vhodný pro všechny objekty, zejména pro objekty s malými pozemky. Výkon tepelného čerpadla závisí na teplotě venkovního vzduchu, čím vyšší teplota, tím vyšší výkon. Venkovní jednotka je nejčastěji umístěna na jižní straně střechy nebo fasády objektu.



Obrázek 18: Tepelné čerpadlo vzduch/voda [19]

Výhody:

- Využití přírodních obnovitelných zdrojů
- Ekologické
- Není potřeba velký pozemek

Nevýhody:

- Nutnost instalace doplňkového zdroje v případě nepříznivých teplot venkovního vzduchu

Tepelné čerpadlo typu země/voda

Tento typ tepelného čerpadla je ze všech typů nejméně ovlivňován kolísáním teploty venkovního prostředí. Pořizovací náklady jsou vyšší než např. u tepelného čerpadla typu vzduch/voda, k instalaci jsou vyžadovány zemní práce. Energie se ze země získává pomocí geotermálních vrtů nebo zemního kolektoru. Způsob získávání energie se volí na základě velikosti prostoru, který daný pozemek nabízí.



Obrázek 19: Tepelné čerpadlo země/voda se zemním kolektorem [19]



Obrázek 20: Tepelné čerpadlo země/voda s geotermálními vrty [19]

Výhody:

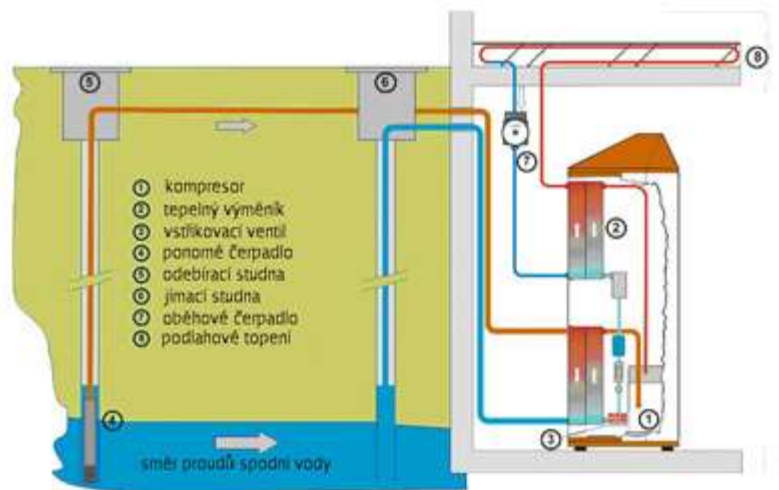
- Využití přírodních obnovitelných zdrojů
- Ekologické
- Poměrně stabilní zdroj tepelné energie

Nevýhody:

- Vysoké pořizovací náklady
- Potřeba velkého pozemku
- Zemní práce

Tepelné čerpadlo typu voda/voda

Tepelné čerpadlo typu voda/voda získává tepelnou energii z povrchové nebo podzemní vody. Tento typ není obvyklý, protože je jen málo míst, která by splňovala potřebná kritéria pro funkci tepelného čerpadla. Nejčastějším zdrojem tepelné energie jsou studny s dostatečně silným pramenem vody. Tento systém má nejvyšší topný faktor, protože teplota spodní vody téměř stabilní a je nejteplejším externím zdrojem. Další variantou pro získávání tepelné energie z vody jsou vodní plochy, jako jsou řeky nebo rybníky.



Obrázek 21: Tepelné čerpadlo voda/voda [20]

Výhody:

- Využití přírodních obnovitelných zdrojů
- Ekologické
- Nejvyšší topný faktor z tepelných čerpadel

Nevýhody:

- Vhodné jen pro málo pozemků

Tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch

Tento typ tepelného čerpadla je založen na stejném principu jako tepelné čerpadlo typu vzduch/voda. Rozdíl je pouze v tom, že teplo získané z venkovního vzduchu je předáváno do vzduchu v místnosti, ve které se jednotka tepelného čerpadla nachází.

Výhody:

- Využití přírodních obnovitelných zdrojů
- Ekologické

Nevýhody:

- Vytápí pouze danou místnost
- Výkon závisí na venkovní teplotě

[18]

4. Výběr zdroje tepla

Výběr vhodného zdroje tepla pro tento objekt proběhl na základě výhod a nevýhod jednotlivých zdrojů tepla uvedených v kapitole „3.6. Zdroj tepla“ a dle „Tabulky 1“.

	ostatní požadavky na umístění	obsluha	odvod spalin	pořizovací náklady	roční náklady na vytápění a ohřev vody	energetická náročnost budovy	vliv provozu budovy na životní prostředí
kondenzační plynový kotel	prostor pro komín	1x ročně revize, čištění kotle, kontrola spalinových cest	ano	17 000-50 000 Kč	130 420 Kč	C - Úsporná	C - Úsporná
kotel na hnědé uhlí	prostor pro skladování paliva a komín	revize 1x za 2 roky, alespoň 1x ročně kontrola spalinových cest, doplňování paliva	ano	24 000-43 000 Kč	87 604 Kč	C - Úsporná	C - Úsporná
kotel na kusové dřevo	prostor pro skladování paliva a komín	revize 1x za 2 roky, alespoň 1x ročně kontrola spalinových cest, doplňování paliva	ano	16 000-57 000 Kč	112 005 Kč	C - Úsporná	A - Mimořádně úsporná
kotel na dřevěné pelety	prostor pro skladování paliva a komín	revize 1x za 2 roky, alespoň 1x ročně kontrola spalinových cest, doplňování paliva	ano	77 000-135 000 Kč	123 676 Kč	B - Velmi úsporná	A - Mimořádně úsporná
elektrokotel	žádné	žádná	ne	15 000-22 000 Kč	227 453 Kč	B - Velmi úsporná	E - Nehospodárná
TČ země/voda	prostor pro zemní kolektory nebo vrty	revize 1x za 2 roky	ne	200 000-350 000 Kč	55 726 Kč	B - Velmi úsporná	B - Velmi úsporná
TČ vzduch/voda	žádné	revize 1x za 2 roky	ne	76 600-260 000 Kč	74 301 Kč	B - Velmi úsporná	B - Velmi úsporná

Tabulka 1: Porovnání vybraných zdrojů tepla

Při rozhodování o volbě zdroje tepla je třeba vzít v úvahu, zda je v daném objektu dostatečný prostor pro umístění samotného kotle nebo jednotek pro tepelné čerpadlo. Je ale důležité si uvědomit, že mimo umístění kotle a jednotek tepelných čerpadel jsou i ostatní požadavky na umístění. Požadavek popsany výše již není zahrnut v parametrech pro porovnání.

Pořizovací náklady jsou pouze orientační. Náklady jsou uvažovány pouze za kotel nebo jednotku bez instalace (popř. u tepelného čerpadla země/voda provedení vrtu, nebo zemních kolektorů).

Podstatným, často rozhodujícím faktorem pro volbu zdroje tepla jsou roční náklady na vytápění a ohřev vody. Teplo potřebné na vytápění bylo spočteno denostupňovou metodou. Výpočet potřebného tepla pro vytápění a ohřev vody je

uveden v příloze: „ČÁST D – Výpočty“. Pro výpočet ročních nákladů jsem využila internetovou tabulku pro kalkulaci vytápění od společnosti Gas Komplet s.r.o. [21]. Pro výpočet byly uvažovány hodnoty uvedené v „Tabulce 2“.

	palivo	výhřevnost	měrná jednotka	cena za jednotku	účinnost/COP
kondenzační plynový kotel	zemní plyn	-	kWh	1,23 Kč	102%
kotel na hnědé uhlí	hnědé uhlí	18 MJ/kg	kg	3,60 Kč	80%
kotel na kusové dřevo	kusové dřevo	14,6 MJ/kg	kg	3,50 Kč	75%
kotel na dřevěné pelety	dřevěné pelety	17 MJ/kg	kg	5,40 Kč	90%
elektrokotel	elektrina	-	kWh	2,29 Kč	95%
TČ vzduch/voda	elektrina	-	kWh	2,29 Kč	COP 3
TČ země/voda	elektrina	-	kWh	2,29 Kč	COP 4

Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet ročních nákladů

Volba zdroje tepla má vliv na energetickou náročnost budovy a životní prostředí. Pro porovnání jednotlivých zdrojů jsem objekty zařadila do energetických tříd na základě průkazů energetické náročnosti budovy. Průkazy energetické náročnosti budovy jsem vytvořila v programu Energie 2019 EDU. Jednotlivé průkazy jsou k nahlédnutí v příloze: „ČÁST D – Výpočty“.

4.1. Vyhodnocení

Kondenzační plynový kotel

Pro zajištění funkčnosti kondenzačního plynového kotle je potřeba připojení na plynovodní řad. U tohoto zdroje je potřeba zajistit odvod spalin do exteriéru, avšak v tomto objektu je obtížné najít prostor vhodný pro vedení komínu. Roční náklady na vytápění a ohřev vody jsou téměř dvojnásobné oproti ročním nákladům tepelných čerpadel. Kondenzační plynový kotel se řadí mezi kotle nižší cenové kategorie.

Kotle na pevná paliva (hnědé uhlí, kusové dřevo, dřevěné pelety)

Kotle na pevná paliva jsou dle mého názoru zdroje tepla vhodné spíše do menších objektů jako jsou rodinné domy. U těchto zdrojů je třeba zajistit trvalé doplňování paliva, v případě kotlů se zásobníkem na automatické přikládání je nutné doplňovat zásobník. Velkou nevýhodou je potřeba prostoru pro skladování paliva. Stejně jako u kondenzačního plynového kotle je nutný odvod spalin komínem. Roční náklady na vytápění a přípravu vody jsou nižší než u plynového kondenzačního kotle a elektrokotle. Kotle na kusové dřevo a dřevěné pelety jsou nejvíce šetrné k životnímu

prostředí. Ceny kotlů na pevná paliva se liší v závislosti na to, zda je kotel s automatickým příkládáním či nikoliv.

Elektrokotel

Elektrokotel nemá žádné další požadavky na umístění ani nevyžaduje pravidelné kontroly. I přes to, že pořizovací náklady jsou poměrně nízké, je velkou nevýhodou je vysoká cena elektřiny. Vytápění elektřinou jako takovou je zcela ekologické, protože nevznikají žádné zplodiny unikající do ovzduší. Problémem je neekologická výroba elektrické energie v České republice.

Tepelné čerpadlo země/voda

U tepelných čerpadel je velkou nevýhodou pořizovací cena, je několika násobně vyšší než u výše zmíněných kotlů, avšak roční náklady na vytápění objektu a ohřev vody jsou velmi nízké. Tento typ tepelného čerpadla není vhodný pro tento objekt, protože vyžaduje prostor pro umístění zemních kolektorů nebo vrtů. Vzhledem k lokalitě objektu není dostupný volný pozemek pro jejich umístění.

Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelné čerpadlo vzduch/voda je nejvhodnějším zdrojem tepla pro tento bytový dům. Roční náklady jsou sice vyšší než u tepelného čerpadla typu země/voda, ale pořizovací cena je nižší. Zároveň jsou velkou výhodou, oproti tepelnému čerpadlu země/voda, menší nároky na umístění.

5. Větrání objektu

V dřívějších letech byly objekty větrány pouze přirozeně s využitím infiltrace (netěsnostmi v obálce budovy). Dnes se dbá na těsnost konstrukcí a infiltrace již nepřichází v úvahu. V průběhu let se zvýšily také nároky na kvalitu vnitřního vzduchu, proto se navrhují větrací systémy, které mají větší účinnost větrání než přirozené větrání okny.

Přirozené větrání okny

Přirozené větrání je nejjednodušší a nejlevnější systém větrání. Větrání probíhá otevřeným oknem. Nevýhodou tohoto systému je, že je zcela závislý na otevření oken obyvateli objektu (bytu). Místnost je větraná nárazově a nezajistí dostatečnou výměnu vzduchu. Řešení je tedy nejméně spolehlivé a neúčinné.

Hybridní větrání

Hybridní větrání kombinuje přirozené a nucené větrání, přičemž klade důraz na větrání přirozené a nucené větrání je doplňkové. U tohoto typu je třeba dimenzovat otopná tělesa na ztrátu větráním, která je v tomto případě relativně velká (přívodní vzduch není ohříván).

Nucené podtlakové větrání

Podtlakové větrání je založeno na principu vytvoření mírného podtlaku v místnosti ventilátorem. Vzduch je do místnosti nasáván větracími štěrbinami v oknech, nebo tubusy v obvodové stěně. Stejně jako u hybridního větrání je největší nevýhodou velká tepelná ztráta větráním.

Nucené přetlakové větrání

Přetlakové větrání funguje na principu vytvoření malého přetlaku a odvádění vzduchu do exteriéru přes netěsnosti v obálce budovy. Vzduchu je přiváděn do jedné místnosti odkud je pomocí přetlaku rozváděn do ostatních místností, proto je účinnost větrání tohoto systému závislá na tom, zda jsou do jednotlivých místností otevřené dveře a nebrání šíření větracího vzduchu.

Centrální rovnotlaké větrání

U tohoto typu větrání je jedna centrální větrací jednotka, která přivádí větrací vzduch a odvádí odpadní vzduch z celého objektu nebo bytové jednotky. Vzduch je přiváděn a odváděn pomocí potrubního systému vedeného v podhledu stropní konstrukce. U rovnotlakého větrání lze využít zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu (do místnosti je přiváděn ohřátý vzduch), což výrazně snižuje tepelnou ztrátu větráním. Nevýhodou je nutnost vedení potrubí. Pro tento objekt je tedy centrální rovnotlaké větrání nevhodné, protože světlá výška objektu je 2 630 mm (minimální světlá obytných místností výška dle ČSN 73 4301 je 2 600 mm) a není zde možné rozvést potrubí.

Decentrální rovnotlaké větrání

Decentrální rovnotlaké větrání je založené na stejném principu jako větrání centrální. Výhodou je, že pro rozvod větracího vzduchu a odvod odpadního vzduchu není potřeba potrubních rozvodů. V každé obytné místnosti je umístěna větrací jednotka, která zajišťuje přívod a odvod vzduchu z dané místnosti. Jednotky využívají zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu pomocí tepelného výměníku umístěného v jednotce.

5.1. Návrh větrání objektu

Pro větrání bytového domu je navrženo decentrální rovnotlaké větrání s využitím rekuperace. Větrací jednotky jsou umístěny v obytných místnostech, kde zajišťují přívod ohřátého vzduchu a odvod odpadního vzduchu. Uvažovaná intenzita výměny vzduchu v obytných místnostech je $0,5 \text{ h}^{-1}$. V koupelnách a kuchyních je zajištěno nárazové větrání pomocí ventilátorů (digestoří). Ventilátory a digestoře jsou navrženy na doporučené hodnoty průtoku vzduchu dle ČSN EN 15665/21: koupelna $90 \text{ m}^3/\text{h}$, WC $50 \text{ m}^3/\text{h}$, kuchyň $150 \text{ m}^3/\text{h}$.

6. Závěr

Cílem této Bakalářské práce byl návrh vytápění zvoleného bytového domu. Součástí práce bylo zpracovat projektovou dokumentaci vytápění. Byly provedeny výpočty tepelné ztráty místností jednotlivých bytů, potřeby teplé vody a roční spotřeby tepla na vytápění a ohřev vody. Návrh trasy a dimenzí potrubí, návrh otopných těles a výpočet tlakových ztrát potrubí byl proveden v programu Raucad Techcon. Hlavním úkolem teoretické části bylo analyzovat možné zdroje tepla a vyhodnotit, který ze zdrojů tepla je nejvhodnější variantou pro tento bytový dům. Dále byl zpracován koncept větrání objektu.

Pro vytápění bytového domu bylo zvoleno tepelné čerpadlo typu vzduch/voda DYNAMIC A7/W35 16. Otopná soustava je dvoutrubková, tvořená měděným potrubím. Obytné místnosti jsou vytápěny deskovými otopnými tělesy RADIK 10 VK a RADIK 11 VK. Pro vytápění koupelen jsou zvoleny topné žebříky KORALUX LINEAR COMFORT – M. Ohřev teplé vody je řešen dvěma nepřímotopnými zásobníky Dražice NTR HP 400 o celkovém objemu 800 l.

Pro větrání objektu bylo zvoleno decentrální rovnotlaké větrání s využitím zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu. Větrací jednotky KORASMART 1400 jsou umístěné v každé obytné místnosti. Účinnost rekuperace větrací jednotky je 73 %. Větrání koupelen je řešeno nárazově pomocí ventilátorů, spouštěných společně s osvětlením. Odpadní vzduch z kuchyní je odváděn digestořemi.

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: Pohled na objekt – severní	10
Obrázek 2: Pohled na objekt – jižní	11
Obrázek 3: Pohled na objekt – východní	11
Obrázek 4: Pohled na objekt – západní	12
Obrázek 5: Článekové otopné těleso [3]	15
Obrázek 6: Deskové těleso – napojení klasik.....	15
Obrázek 7: Deskové těleso – napojení kompaktní	16
Obrázek 8: Typy deskových těles [4]	16
Obrázek 9: Trubkové těleso – napojení	17
Obrázek 10: Podlahový konvektor [5]	17
Obrázek 11: Podlahové vytápění [6].....	18
Obrázek 12: Stěnové vytápění [7].....	18
Obrázek 13: Stropní vytápění [8]	19
Obrázek 14: Kondenzační plynový kotel [13]	23
Obrázek 15: Schéma prohořívacího a odhořívacího kotle na pevná paliva [15]	25
Obrázek 16: Elektrokotel [17]	26
Obrázek 17: Tepelné čerpadlo – princip [18]	27
Obrázek 18: Tepelné čerpadlo vzduch/voda [19].....	27
Obrázek 19: Tepelné čerpadlo země/voda se zemním kolektorem [19]	28
Obrázek 20: Tepelné čerpadlo země/voda s geotermálními vrty [19].....	29
Obrázek 21: Tepelné čerpadlo voda/voda [20]	30

8. Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání vybraných zdrojů tepla	31
Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet ročních nákladů.....	32

9. Seznam použité literatury

- [1] KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy 1: zdravotní technika, vytápění*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3327-9.
- [2] *Jaké jsou druhy otopných těles?* [online]. 2013 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/druhy-otopnych-teles/>
- [3] prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. *Otopné plochy (II) - Druhy otopných těles* [online]. 2006 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3064-otopne-plochy-ii-druhy-otopnych-teles>
- [4] KORADO. *KORADO* [online]. Česká Třebová, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vk.html>
- [5] *Nový podlahový konvektor TERMO FRC od ISANu umí vytápět i chladit* [online]. ISAN Radiátory, 2019, **2019**(5) [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/clanky/novy-podlahovy-konvektor-termo-frc-od-isanu-umi-vytapet-i-chladit-detail-7184>
- [6] *Montážní instrukce pro systém podlahového vytápění FV THERM* [online]. FV-Plast, 2017 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/16258-montazni-instrukce-pro-system-podlahoveho-vytapani-fv-therm>
- [7] *Teplo ze všech stran* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.peknebydleni.cz/teplo-ze-vsech-stran/>
- [8] *TIP: místo podlahového zkuste stropní vytápění (chlazení)* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://365dnidoma.com/stavba-materialy/zkuste-stropni-vytapani-a-chlazení/>
- [9] *Rozvody teplovodních soustav a jejich materiály* [online]. 2013 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.snizujeme.cz/clanky/rozvody-teplovodnich-soustav-a-materialy/>

- [10] PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění rodinných a bytových domů*. Bratislava: Jaga, 2005. ISBN 80-807-6020-9.
- [11] *Plynové spotřebiče a jejich rozdělení 2* [online]. 2013 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.pevi.cz/cz/zajimavosti-z-oboru/plynove-spotrebice-a-jejich-rozdeleni-2>
- [12] *Jak funguje kondenzační kotel* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>
- [13] *Jak vybrat kondenzační kotel a které značky patří k nejlepším?* [online]. 2017 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.realizace-bydleni.cz/dum/jak-vybrat-kondenzacni-kotel-a-ktere-znacky-patri-k-nejlepsim/>
- [14] Plynový kotel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plynový_kotel
- [15] LYČKA, Zdeněk. *Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013*. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- [16] *Co je to elektrokotel, jak funguje, výhody a nevýhody* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/clanky/co-je-to-elektrokotel-jak-funguje-vyhody-a-nevyhody>
- [17] *Zaostřeno na elektrokotle: Opravdu jsou tak efektivní a topení v nich se vyplatí?* [online]. 2018 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6730.zaostreno-na-elektrokotle-opravdu-jsou-tak-efektivni-a-topeni-v-nich-se-vyplati>
- [18] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům* [online]. Praha: Grada, 2009 [cit. 2020-04-28]. ISBN 978-80-247-6803-8.

- [19] *Tepelná čerpadla: Jak vybrat nejlepší pro dřevostavbu?* [online]. 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/stavba-drevostavby/vytapeni-a-vzduchotechnika/5530-tepelna-cerpadla-jak-vybrat-to-nejlepsi-pro-drevostavby>
- [20] *Tepelné čerpadlo voda – voda* [online]. 2008 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <http://www.kodek.cz/kategorie/voda-voda.aspx>
- [21] *Kalkulace vytápění* [online]. Havířov – Šumbark: Gas Komplet, 2012 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://www.mujkotel.cz/kalkulace-vytapeni/>

10. Použité programy

Microsoft Word 2016

Microsoft Excel 2016

Raucad Techcon

ArchiCad 21

Teplo 2017 EDU

Energie 2019 EDU

SketchUp 2015