



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ RD S KOMBINOVANÝM SYSTÉMEM DODÁVKY TEPELNÉ A EL. ENERGIE

HEATING AND COOLING FOR RESIDENCES WITH COMPLEX ENERGY SUPPLY SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL PAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Pavlíček

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

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

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:

Vytápění a chlazení RD s kombinovaným systémem dodávky tepelné a el. energie

v anglickém jazyce:

Heating and cooling for residences with complex energy supply system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na zhodnocení a návrh úprav topného systému stávajícího objektu po přechodu na nízkoteplotní vytápění. Při hodnocení topného systému bude uvažováno také využití TČ. Dále budou posouzeny možnosti chlazení a rekuperace včetně rekuperace v kombinaci s chlazením. Chlazení s rekuperací bude zhodnoceno i ekonomicky s možností využití stávajících fotovoltaických panelů instalovaných na RD v kombinaci s reverzním TČ/AC.

Cíle diplomové práce:

1. Popsat zvolený objekt po tepelně-technické stránce.
2. Posoudit možnost realizace rozdělení vytápění objektu z centrálního na etážové.
3. Navrhnout nutné úpravy topného systému a zpracovat tepelně-hydraulický výpočet po přechodu na nízkoteplotní vytápění
4. Posoudit možnosti chlazení RD s rekuperací a zpracovat projekční návrh konkrétního řešení
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení s možností využití stávajících fotovoltaických panelů a reverzního TČ/AC.

Seznam odborné literatury:

Lázňovský M., Vytápění rodinných domků,

Petráš D., Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku

2014/2015. V Brně, dne 26. 11. 2014

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Vytápění a chlazení společně s kvalitou vnitřního ovzduší, je nyní diskutované téma nejen u rodinných domů. Jde ruku v ruce se snižováním energetické náročnosti budov. Tuto skutečnost upravují různé zákony či nařízení, ať už se jedná o požadavky na novou zástavbu, nebo například energetické štítky na starších budovách.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kondenzace, vytápění, plyn, kotel, tepelné čerpadlo, tepelná ztráta, klimatizace

ABSTRACT

Heating and cooling along with the indoor air quality is now discussed topic not only in the family houses. Goes hand in hand with reducing the energy consumption of buildings. This fact is edited by various laws or Regulations, no matter we discuss new buildings requirements, or for example energy label on older constructions.

KEYWORDS

Condensation, heating, gas, boiler, heat pump, heat loss, air conditioning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Pavliček, M. *Vytápění a chlazení RD s kombinovaným systémem dodávky tepelné a el. energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 73 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2015

.....

Michal Pavlíček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za příkladné a odborné vedení. Dále děkuji všem, kteří mi byli svými vědomostmi a znalostmi nápomocni.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Zvolený objekt	12
1.1 Bytové dispozice.....	12
1.2 Současný zdroj vytápění, ohřev teplé vody.....	14
1.3 Instalované fotovoltaické panely	15
1.4 Teplená ztráta objektu	15
1.4.1 Shrnutí postupu výpočtu	15
2 Přejít na nízkoteplotní vytápění.....	18
2.1 konstrukce kondenzačních kotlů	18
2.2 Kontrola velikosti otopných těles	19
2.2.1 Vzorový přepočít výkonu otopného tělesa	19
2.3 Ekvitermní regulace	21
2.4 účinnost kondenzačních plynových kotlů	24
2.4.1 Roční provozní účinnost kondenzačního kotle	26
2.4.2 Cena uspořené paliva	30
3 Dimenzování vodních otopných soustav	31
3.1 Tlakové poměry v otopné soustavě	31
3.1.1 Hydrostatický přetlak.....	31
3.1.2 Dynamický tlak	31
3.2 Tlakové ztráty v potrubí	32
3.2.1 Tlakové ztráty třením.....	32
3.2.2 Ztráty místními odpory	33
3.3 Návrh profilů rozvodů.....	35
3.3.1 Metoda ekonomické měrné tlakové ztráty	36
3.4 Obecný postup výpočtu.....	36
3.5 Výpočet a vyregulování dané otopné soustavy	37
4 Rozdělení vytápění na dva okruhy.....	40
4.1 Rozdělení se zásahem do otopné soustavy.....	40
4.2 Rozdělení bez zásahu do otopné soustavy	42
5 Možnosti chlazení RD	43
5.1 Rekuperační jednotky	43
5.1.1 Aktivní rekuperace.....	43
5.2 Klimatizační zařízení	44
5.2.1 Okenní klimatizátory kompaktní.....	45
5.2.2 Mobilní klimatizační jednotky	45

5.2.3	Klimatizační jednotky (multi) SPLIT	45
6	Výpočet tepelné zátěže	46
6.1	Tepelné zisky z vnitřního prostředí	46
6.1.1	Produkce tepla od lidí	46
6.1.2	Produkce tepla od elektronických zařízení.....	46
6.2	Tepelné zisky z vnějších zdrojů.....	46
6.2.1	Tepelné zisky prostupem tepla oknem.....	46
6.2.2	Tepelné zisky sluneční radiací oknem	47
6.2.3	Tepelné zisky venkovní stěnou	49
7	Návrh technologie	50
7.1	Rekuperační jednotka.....	50
7.2	Klimatizační zařízení	51
7.2.1	Systém řízení	53
8	Fotovoltaická elektrárna	54
8.1	Výroba elektřiny z FVE	54
8.2	Využití přebytků el. energie z FVE	54
8.2.1	Chlazení.....	56
8.2.2	Vytápění	56
9	Ekonomické posouzení.....	57
9.1	Výpočet nákladů na vytápění pro rekuperační jednotku.....	57
9.1.1	Rekuperační jednotka.....	57
9.1.2	Plynový kotel.....	58
9.1.3	Dotace	58
9.1.4	Prostá návratnost pro rekuperační jednotku.....	58
9.2	Výpočet nákladů na vytápění pro klimatizační zařízení	58
9.2.1	Prostá návratnost klimatizačního zařízení.....	59
9.3	Diskontované cash flow	60
	Závěr	61
	Seznam použitých zkratk a symbolů	65
	Seznam obrázků.....	70
	Seznam tabulek	71
	Seznam grafů	72
	Seznam příloh	73

ÚVOD

V budovách strávíme značnou část našeho života, proto by měla být kvalita vnitřního prostředí co nejvyšší a mít co nejpříznivější podmínky pro život - jedná se hlavně o čistotu vzduchu a tepelnou pohodu. V současné době můžeme docílit dostupnými technologiemi a danými neměnnými parametry prakticky sterilního prostředí. Klíčovým problémem je však pořizovací cena zařízení a míra spotřebované energie. Od těchto parametrů se odvíjí energetická náročnost budov, která je nyní velmi diskutována. Cílem této diplomové práce, je tuto energetickou náročnost snížit a ušetřit tak náklady na provoz domu i při zvýšeném komfortu bydlení v podobě chlazení obytných prostor. Dům, který byl v této práci použit jako model, je fyzicky postaven, a proto doufám, že bude výsledek práce začleněn do praxe a navržená technologická opatření budou realizována.

První část diplomové práce je zaměřena na posouzení současného stavu otopného systému. Tento systém byl v minulosti navržen jako vysokoteplotní s přirozeným oběhem vody. Přejít z těchto systémů na systém nízkoteplotního vytápění s sebou přináší mnohá úskalí. Proto je nutné zohlednit mnoho faktorů, abychom dosáhli požadovaný výsledek v podobě snížení spotřeby plynu.

Další část diplomové práce je zaměřena na chlazení domu v letních měsících. Hodnoceno bude nejen použití rekuperační jednotky, ale i klimatizačního zařízení. Při technickém i ekonomickém zhodnocení bude přihlédnuto k využití instalované fotovoltaické elektrárny na střeše domu.

1 ZVOLENÝ OBJEKT

Zvolený modelový rodinný dům pro diplomovou práci se nachází na kraji obce Zbraslav u Brna. Obec se nachází asi 30 km západně od města Brna. Nadmořská výška zde přesahuje přes 500 m.n.m. i proto jsou klimatické podmínky oblasti podobné spíše kraji Vysočina. Dům prošel několika rekonstrukcemi či úpravami. Poslední rekonstrukce byla v roce 2014, kdy se dozateplovalo schodiště a sokl domu. V současnosti je tedy dům po revitalizaci a prakticky kompletně zateplen.

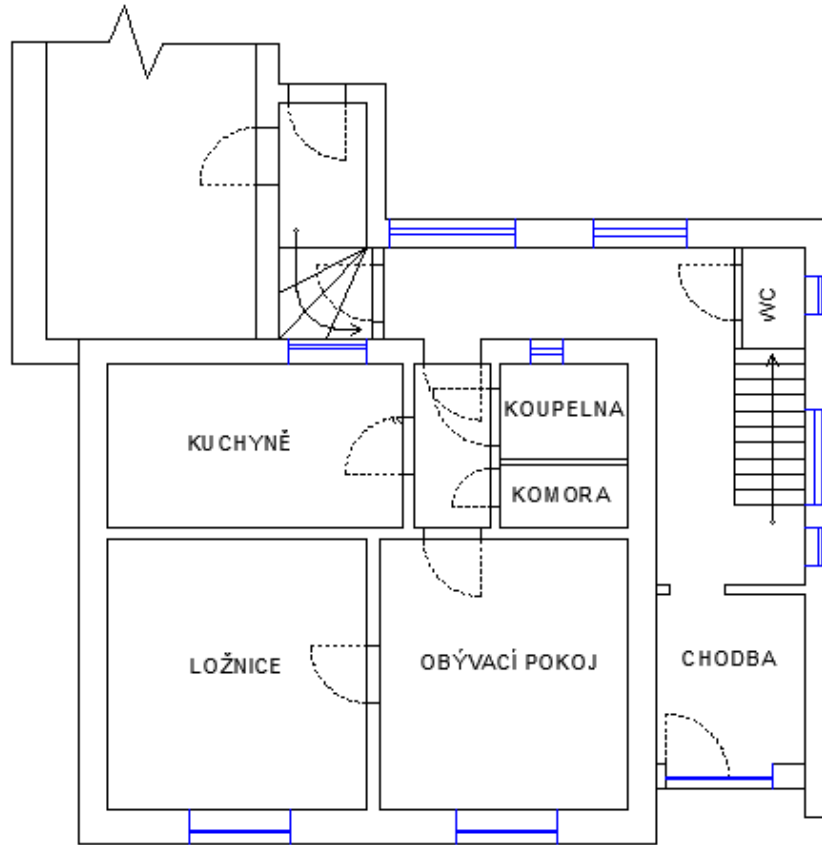


Obrázek 1 Modelový dům

1.1 BYTOVÉ DISPOZICE

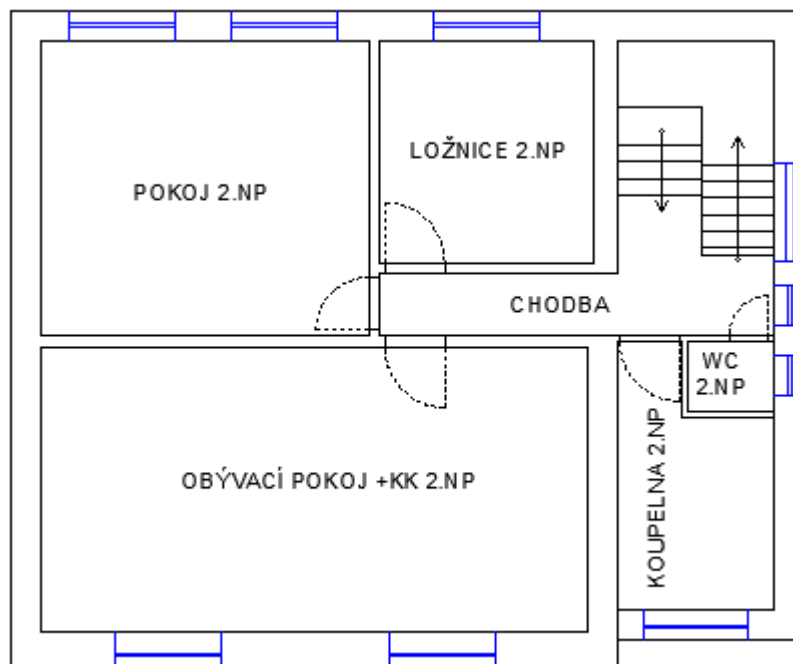
Půdorys domu je obdélník s rozměry 12×10, delší strana je situována jihozápadně směrem k místní komunikaci. Podlahová plocha jednoho patra je 110 m². Celková výška domu činí bezmála 11 m. Na dům navazují další hospodářské objekty.

Dům disponuje třemi samostatnými bytovými jednotkami. První bytová jednotka se nachází v prvním nadzemním podlaží domu (1.NP) a je částečně podsklepena. Nachází se v ní obývací pokoj, ložnice, kuchyně, koupelna a samostatné WC. Nedílnou součástí je obslužná chodba se schodištěm k dalším bytovým jednotkám a do podsklepení.



Obrázek 2 Půdorys 1.NP

Druhá bytová jednotka v druhém podlaží disponuje ložnicí, pokojem, obývacím pokojem s kuchyňským koutem a koupelnou se samostatným WC.



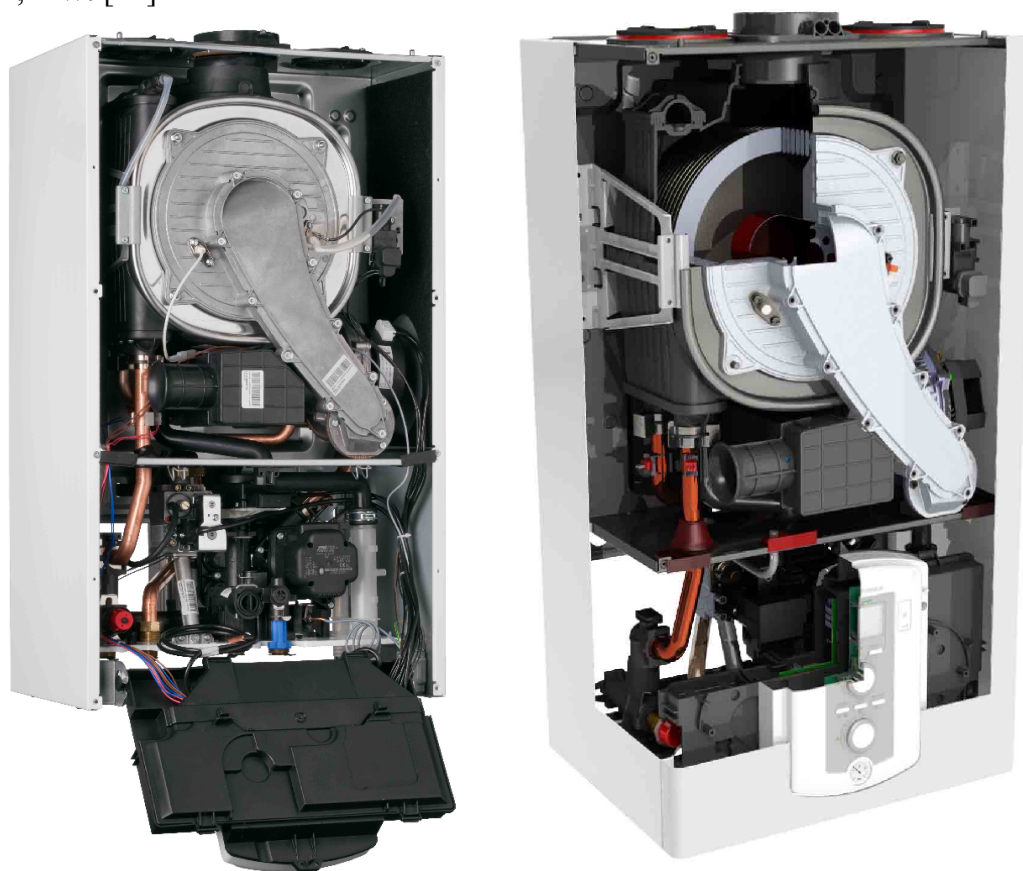
Obrázek 3 Půdorys 2.NP

Třetí bytová jednotka se nachází v podkroví domu. Její součástí je ložnice, obývací pokoj s kuchyňským koutem, dva dětské pokoje, pracovna a koupelna se samostatným WC. Bytová jednotka má samostatné vytápění v kombinaci plynového kotle a krbové vložky. Tepelná ztráta jednotky byla vypočtena projektantem na 4 kW. Tato jednotka nebude v rámci diplomové práce zpracovávána.

1.2 SOUČASNÝ ZDROJ VYTÁPĚNÍ, OHŘEV TEPLÉ VODY

Před mnoha rekonstrukcemi domu i plynofikací obce byl hlavním zdrojem vytápění kotel z ocelových plechů Slokov Variant SL33 o nominálním výkonu 33kW. Kotel byl napojen na samotížný systém vytápění s litinovými otopnými tělesy. Po plynofikaci v roce 1997 byl napojen na otopný systém plynový stacionární litinový kotel Viadrus G32 o výkonu 30kW. Otopný systém byl přestavěn na systém s nuceným oběhem vody. Následně byla také vyměněna litinové otopná tělesa za deskové od firmy Korado a.s.

V roce 2014 byl dožívající plynový kotel nahrazen moderním plynovým kondenzačním kotlem Chaffoteaux model Talia Green System Evo 25FF. Kotel má nucený odtah spalin, nerezový spalínový výměník, regulační rozsah 2,5-25 kW, modulační čerpadlo a zabudované ekvitermní řízení s externí teplotní sondou. Ohřev teplé vody je zajištěn zásobníkem Dražice OKCE 160 NTR. Jedná se ohříváč s objemem teplé vody 160 l, ohřev je možný nepřímo topným výměníkem spolupracujícím s plynovým kotlem nebo vestavěným topným tělesem o výkonu 2,2kW. [11]



Obrázek 4 řez kotlem Chaffoteaux [11]

1.3 INSTALOVANÉ FOTOVOLTAICKÉ PANELY

V roce 2012 byly instalovány na jihozápadní stranu střechy polykrystalické fotovoltaické panely typového označení 60P od firmy Lintech Solar Energy s.r.o. Panely, každý o výkonu 250 Wp, mají celkový výkon 5,5 kWp. Společně s panely byl osazen třífázový měnič napětí Kostal Piko 5,5 a čtyřkvadrantní elektroměr DB4. Tyto komponenty tvoří hlavní části instalované fotovoltaické elektrárny. [12]



Obrázek 5 Instalované FV panely a měnič napětí

1.4 TEPELNÁ ZTRÁTA OBJEKTU

Pro optimální výkon zdroje tepla a jeho regulaci je nutno znát co nejpřesněji tepelnou ztrátu celého objektu i jednotlivých místností. Tepelná ztráta objektu byla vypočtena zjednodušenou metodou pro přízemí a první nadzemní podlaží normou ČSN EN 12831 Otopné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro tepelné ztráty. Dříve vypočtené hodnoty jsou poníženy o hodnoty, kterých se dosáhlo po dodatečném zateplení v roce 2014. [8]

Nejdůležitějšími úpravami jsou bezesporu:

- zateplení výklenku schodiště,
- výměna vstupních dveří do podsklepení domu,
- částečné zateplení soklu domu,
- zateplení obvodové zdi mezi domem a hospodářskou budovou.

1.4.1 SHRNUÍ POSTUPU VÝPOČTU

1. Stanovení venkovní výpočtové teploty.
Venkovní výpočtová teplota pro klimatický údaj byla stanovena normou na -15 °C .
2. Stanovení vnitřní výpočtové teploty. Postup výpočtu
Vnitřní výpočtová teplota pro obytné místnosti včetně koupelny je 20 °C , chodba je vytápěna na 17 °C .

Tabulka 1 Teplotní údaje [7]

Výpočtová venkovní teplota	Θ_e	-15 °C
Výpočtová vnitřní teplota	Θ_{int}	20 °C
Výpočtový teplotní rozdíl	$\Theta_{int}-\Theta_e$	35 °C

3. Určení rozměrové charakteristiky.

Po stanovení rozměrové charakteristiky pro každou místnost a zeď vyjmutou ze stavebních plánů domu, byly vypočteny součinitele prostupu tepla pro jednotlivé stavební části (U-hodnoty). Stavebních skladeb je celkem 14, z toho 11 druhů zdíva a 3 druhy podlah. Toto vysoké číslo je zapříčiněno mnohonásobnými rekonstrukcemi. [7]

Tabulka 2 - Výpočet U hodnoty [7]

Zed' č. 1 – Schodiště				
Materiál	d [m]	λ [W/m.K]	R [m ² .K/W]	U [W/m ² .K]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně			0,040	
Omítka	0,02	0,800	0,025	
Cihla-plná	0,30	0,780	0,385	
Omítka	0,02	0,800	0,025	
Polystyren	0,13	0,043	3,023	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně			0,130	
Koncové hodnoty:			3,628	0,276

4. Výpočet projektované tepelné ztráty prostupem, zátopového výkonu a větráním

Tabulka 3 Výpočet tepelné ztráty místnosti

Obývací pokoj + KK 2.NP				
Tepelné ztráty prostupem				
Stavební část	f [-]	A [m ²]	U [W/m ² .K]	f.A.U [W/K]
Okna	1,000	5,120	1,100	5,632
Dveře	1,000	1,760	2,500	4,400
Vnější stěna – silnice	1,000	17,380	0,182	3,164
Vnější stěna - západ	1,000	11,850	0,244	2,892
Vnitřní stěna	0,300	7,240	3,103	6,739
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem			$H_{T,i}=\Sigma f.A.U$	20,41
Celková tepelná ztráta prostupem			$\Theta_{T,i}= H_{T,i} \cdot \Theta_{int}-\Theta_e$	W 714
Tepelné ztráty větráním				
Vnitřní objem V		108 m ³		
Nejmenší intenzita výměny vzduchu n_{min}		0,5 h ⁻¹		
Celkový součinitel tepelné ztráty větráním			$H_{V,i}=0,34.V.n_{min}$	18,36
Celková tepelná ztráta větráním			$\Theta_{V,i}= H_{V,i} \cdot \Theta_{int}-\Theta_e$	W 643
Celková tepelná ztráta větráním a prostupem			$\Theta_{V,i}+ \Theta_{T,i}$	W 1357
Korekční činitel na vyšší teplotu f		1		
Návrhová tepelná ztráta větráním a prostupem			$\Theta_i= (\Theta_{V,i}+ \Theta_{T,i}) \cdot f$	W 1357

Zátopový tepelný výkon			
Podlahová plocha	A_i	m^2	35,5
Zátopový součinitel	f_{rh}	[-]	16
Celkový zátopový výkon			W 568
Návrhový tepelný výkon			W 1925

5. Výpočet celkového projektovaného tepelného příkonu

Tabulka 4 Celkový tepelný příkon

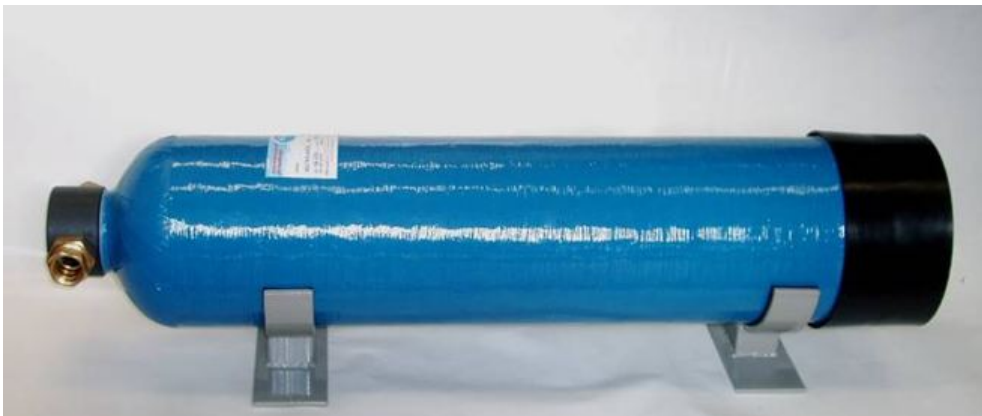
Označení místnosti	Tepelný výkon pro tepelné ztráty prostupem	Tepelný výkon pro tepelné ztráty větráním	Zátopový tepelný výkon	Celkový tepelný výkon
	[W]	[W]	[W]	[W]
Ložnice 2.NP	638	231	179	1 048
Pokoj 2.NP	572	417	366	1 354
Koupelna 2.NP	872	171	162	1 205
Obývací pokoj +KK 2.NP	714	643	568	1 925
Obývací pokoj	917	413	358	1 653
Ložnice	871	413	358	1 642
Kuchyň	997	413	243	1 653
Koupelna	869	148	128	1 145
Schodiště	3 239	724	717	4 680
Celkem	9768	3 572	3 080	16 420

2 PŘECHOD NA NÍZKOTEPLTNÍ VYTÁPĚNÍ

Při přechodu na nižší teploty teplotnosné látky existuje předpoklad snížení spotřeby plynu a současně zvýšení tepelné pohody v celém objektu. Ovšem při nedbale navrženém či vybudovaném systému nízkoteplotního vytápění se může stát, že po zakoupení dražšího kondenzačního kotle nebude výkon otopných těles při nízkých teplotách otopné vody postačovat na pokrytí tepelných ztrát domu. Proto je nutné zkontrolovat vhodnost přechodu především pro rekonstruované domy, kde probíhá záměna dožitých kotlů za nové kondenzační plynové kotle, při použití stávajících velikostech otopných těles.

2.1 KONSTRUKCE KONDENZAČNÍCH KOTLŮ

Kondenzační kotel je navržen záměrně pro kondenzační provoz, tzn. přímo v kotli má docházet ke kondenzaci vlhkosti z vodní páry obsažené ve spalinách, a tedy využití latentního tepla. Proto musí být teplosměnná plocha provedena z korozivzdorného materiálu. Používá se nerezová ocel nebo hliníko-hořčíková slitina. Kondenzát z kotle musí být trvale odváděn do neutralizátoru kondenzátu, a nebo pokud je-li umožněno, i přímo do kanalizace. Neutralizátor kondenzátu - neboli „neutralizační box“ - je určený pro neutralizaci kyselého kondenzátu, který vzniká u kondenzačních kotlů. Zneutralizovaný kondenzát je potom možno vypouštět přímo do kanalizačních přípojek. Neutralizační box slouží jako průtočný filtr s náplní filtračního materiálu na bázi drceného dolomitického vápence, ten se při průtoku kyselého kondenzátu rozpouští, a tím ho neutralizuje. Z kondenzátu se odstraní volný CO_2 , který reaguje se zrny neutralizačního filtračního materiálu, a tím vzroste hodnota pH. [13]



Obrázek 6 Neutralizační box [14]

Využitím kondenzačního tepla se zvyšuje účinnost kotle, a tím se snižuje spotřeba plynu. Teplota vstupní vody do kotle není omezena, při vyšších teplotách však výrazně klesá účinnost kotle. Ta je spjatá i s poměrným vytížením kotle v daný okamžik. Teplota spalin je v rozsahu 40 až 90 °C. Protože teplota spalin je nízká a nestačila by pro vytvoření dostatečného tahu v komíně, a tím k bezpečnému odvodu spalin, musí být v kondenzačním kotli vzduchový nebo spalinový ventilátor. Spaliny vstupující do komína jsou mokré. Proto komínová konstrukce musí odolávat vlhkosti a také vnitřnímu přetlaku. Průměrná účinnost kotle bývá podle okamžitého provozního stavu 96 až 109 %. [2,3,6,10]

2.2 KONTROLA VELIKOSTI OTOPNÝCH TĚLES

Pro kontrolu velikosti otopných těles a nadimenzování současného stavu otopné soustavy, bylo nutné vypracovat projekční výkresovou dokumentaci soustavy. Velikost stávajících otopných těles nebylo těžké fyzicky přeměřit, z dokumentace výrobce vyčíst jednotlivé typy a výkony. Naopak jakákoli dokumentace rozvodného potrubí nebyla nikdy vypracována. Takže jednotlivé úseky potrubí byly patrné až při dokreslování známých vedení potrubí do dispozice domu. [15,16]

2.2.1 VZOROVÝ PŘEPOČET VÝKONU OTOPNÉHO TĚLESA

Tepelný výkon tělesa určuje známý termodynamický vztah:

$$Q_T = k \cdot S \cdot (t_{w1} - t_i) \quad (2.1)$$

Hodnoty k a S jsou dány výrobcem a jsou závislé na typu tělesa. Výsledný normovaný výkon těles je zpracován do výkonnostních tabulek. Tyto výkony jsou stanoveny pro parametry 75/65/20°C. jednotlivé hodnoty dle pořadí udávají vstupní a výstupní teplotu vody z otopného tělesa a teplotu v místnosti. Předpoklad pro napojení na rozvod soustavy je takový, že horní část tělesa je přívodem a spodní část výstupem otopné vody. Tabulky platí i pro typ VK (ventil kompak – spodní připojení) a pro koupelnové žebříky. Těleso je samozřejmě zkoušeno bez parapetu a krytu. Pro jiné provozní podmínky je nutný přepočtený tepelný výkon tělesa. Jedná se především o změnu teploty otopné vody a různou požadovanou teplotu v jednotlivých místnostech. Vzorový výpočet bude aplikován na otopné těleso v pokoji 2.NP, jeho normovaný tepelný výkon je 1 417 W. Vzorec pro skutečný tepelný výkon je pak: [15,16]

$$Q_{OT} = Q_N \cdot f_{\Delta t} \cdot f_m \cdot f_x \cdot f_o \cdot f_n \cdot f_p \quad (2.2)$$

Z uvedených opravných součinitelů je z hlediska odlišných provozních podmínek těles potřebný pouze jeden, a to opravný součinitel teplotního rozdílu topné vody $f_{\Delta t}$. Ten je závislý na součiniteli s .

$$s = \frac{t_{w2} - \theta_{int,i}}{t_{w1} - \theta_{int,i}} = \frac{45 - 20}{70 - 20} = 0,455 \quad (2.3)$$

Pro $s < 0,7$ platí:

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - \theta_{int}}{t_{w2} - \theta_{int}}} = \frac{70 - 45}{\ln \frac{70 - 20}{45 - 20}} = 36,06 \text{ °C} \quad (2.4)$$

$$f_{\Delta t} = \left(\frac{\Delta t_{ln}}{\Delta t_N} \right)^n = \left(\frac{36,06}{50} \right)^{1,3319} = 0,647(-) \quad (2.5)$$

Kde:

Δt_N - teplotní rozdíl z měření jmenovitého výkonu 75/65/20 °C = 50 K,

n - teplotní exponent tělesa, udává výrobce = 1,3319 [17].

Skutečný výkon tělesa je tedy:

$$Q_{OT} = Q_N \cdot f_{\Delta t} = 1417 \cdot 0,647 = 917 \text{ W} \quad (2.6)$$

Nižší výkon o cca 30 % je dán daleko menší střední teplotou v tělese. Další přepočtené výkony jsou zobrazeny v tabulce pro topnou vodu 70/45 °C a 59/35 °C.

Tabulka 5 Vypočtené výkony otopných těles 70/45 °C

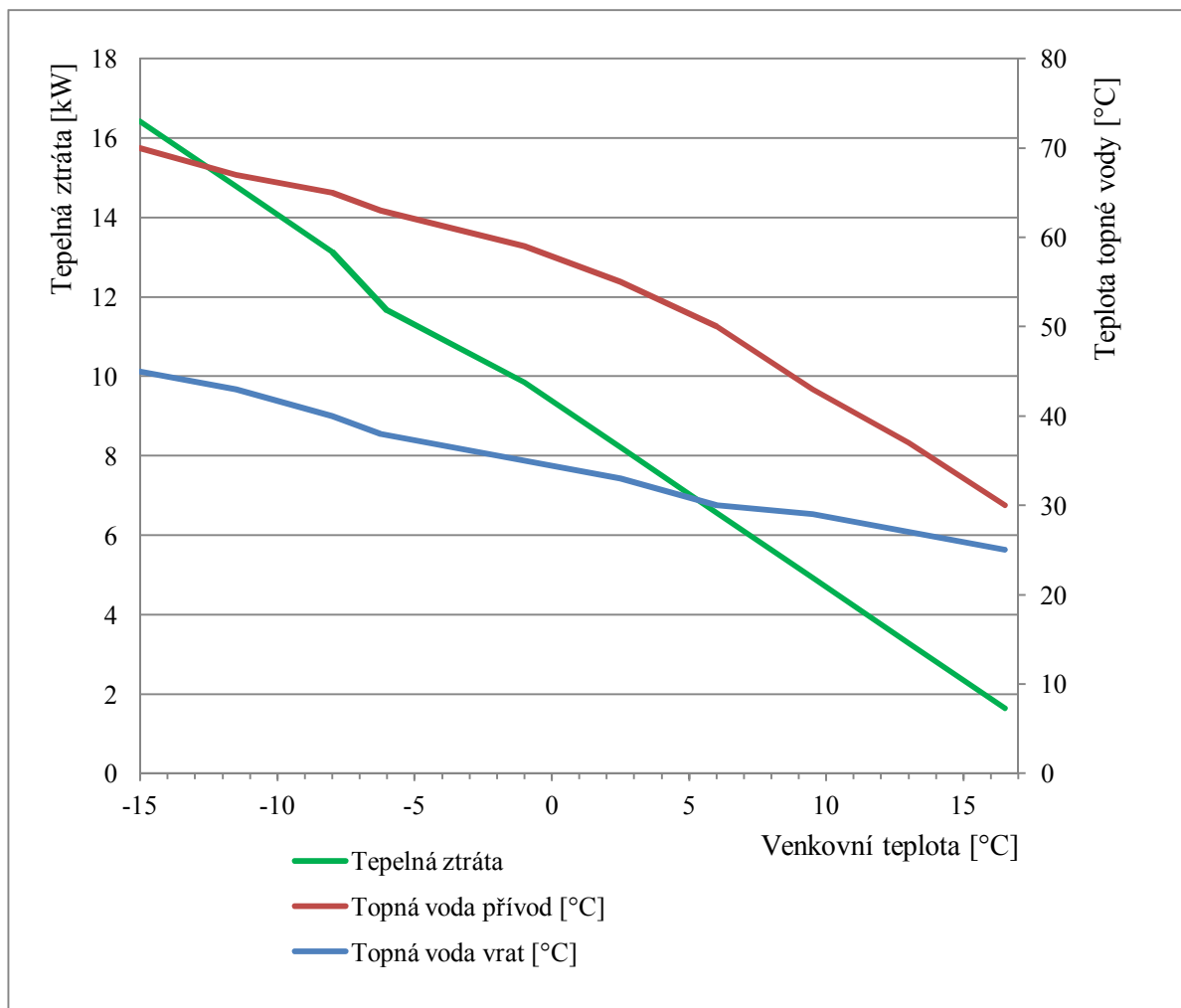
Číslo místnosti	Název místnosti	Teplota v místnosti [°C]	Šířka, výška a typ otopného tělesa [mm/mm/-]	Normovaný tepelný výkon 75/65/20 °C [W]	Přepočítaný tepelný výkon 70/45 °C [W]	Teplotní exponent n [-]	Opravný součinitel $f_{\Delta t}$ pro 70/45 °C [-]
202	Pokoj 2.NP	20	1100/600/21VK	1417	917	1,3319	0,6472
			1100/600/21VK	1417	917	1,3319	0,6472
201	Ložnice 2.NP	20	1200/600/21VK	1546	1001	1,3319	0,6472
203	Obývací pokoj + KK	20	1600/600/21	2061	1334	1,3319	0,6472
			1600/600/22	2061	1334	1,3319	0,6472
204	Koupelna 2.NP	20	700/1820/KLT	1213	795	1,2953	0,6550
			450/1820/KLT	772	505	1,2981	0,6544
101	Chodba	17	1000/600/22	1679	1212	1,3353	0,7221
			1000/600/22	1679	1212	1,3353	0,7221
			1200/600/22VK	2015	1456	1,3319	0,7227
	WC	20	400/500/21VK	447	323	1,3319	0,7227
103	Kuchyně	20	1200/600/21VK	1546	1001	1,3319	0,6472
105	Obývací pokoj	20	1400/600/22VK	2351	1520	1,3353	0,6465
104	Ložnice	20	1400/600/22VK	2351	1520	1,3353	0,6465
102	Koupelna	20	1200/600/21VK	2015	1303	1,3353	0,6465
Celkový výkon				24 570	16 350		

Tabulka 6 Vypočtené výkony otopných těles 59/35 °C

Číslo místnosti	Název místnosti	Teplota v místnosti [°C]	Šířka, výška a typ otopného tělesa [mm/mm/-]	Normovaný tepelný výkon 75/65/20 °C [W]	Přepočítaný tepelný výkon 59/35 °C [W]	Teplotní exponent n [-]	Opravný součinitel $f_{\Delta t}$ pro 59/35 °C [-]
202	Pokoj 2.NP	20	1100/600/21VK	1417	566	1,3319	0,3997
			1100/600/21VK	1417	566	1,3319	0,3997
201	Ložnice 2.NP	20	1200/600/21VK	1546	618	1,3319	0,3997
203	Obývací pokoj + KK	20	1600/600/21	2061	824	1,3319	0,3997
			1600/600/22	2061	824	1,3319	0,3997
204	Koupelna 2.NP	20	700/1820/KLT	1213	497	1,2953	0,4099
			450/1820/KLT	772	316	1,2981	0,4091
101	Chodba	17	1000/600/22	1679	670	1,3353	0,5004
			1000/600/22	1679	670	1,3353	0,5004
			1200/600/22VK	2015	805	1,3319	0,5013
	WC	20	400/500/21VK	447	179	1,3319	0,5013
103	Kuchyně	20	1200/600/21VK	1546	618	1,3319	0,3997
105	Obývací pokoj	20	1400/600/22VK	2351	938	1,3353	0,3988
104	Ložnice	20	1400/600/22VK	2351	938	1,3353	0,3988
102	Koupelna	20	1200/600/21VK	2015	804	1,3353	0,3988
Celkový výkon				24 570	9 832		

2.3 EKVITERMNÍ REGULACE

Pro udržení co nejnižší teploty vraky, a tím co nejvyšší provozní účinnosti kotle je nejvhodnější ekvitermní regulace. Ekvitermní regulátor reguluje výstupní teplotu topné vody z kotle a teplota prostoru je pouze jejím důsledkem. Teplotu topné vody vypočítává regulátor od venkovní teploty, na základě topné křivky. Další funkcí regulátoru je utlumovat závislost venkovní teploty v propojení na tepelné setrvačnosti budovy. Tvar topné křivky vyplývá z tepelné bilance na otopném tělese a je zakřiven, tak aby korigoval nelinearitu vztahu mezi střední teplotou topné vody a tepelným výkonem těles – tedy v součtu výkonu pokrýval těles tepelnou ztrátou objektu. Průběh topné křivky nepřímo ovlivňuje teplota prostoru. Například při změně požadované teploty prostoru, například z 20 °C na 23 °C, se celá křivka paralelně posune na vyšší teplotu. Pro zajištění požadované vnitřní teploty je nutno znát tepelné ztráty objektu a také charakteristiku otopné soustavy. V grafu a tabulce níže jsou zobrazeny potřebné charakteristiky. [2,3,10]

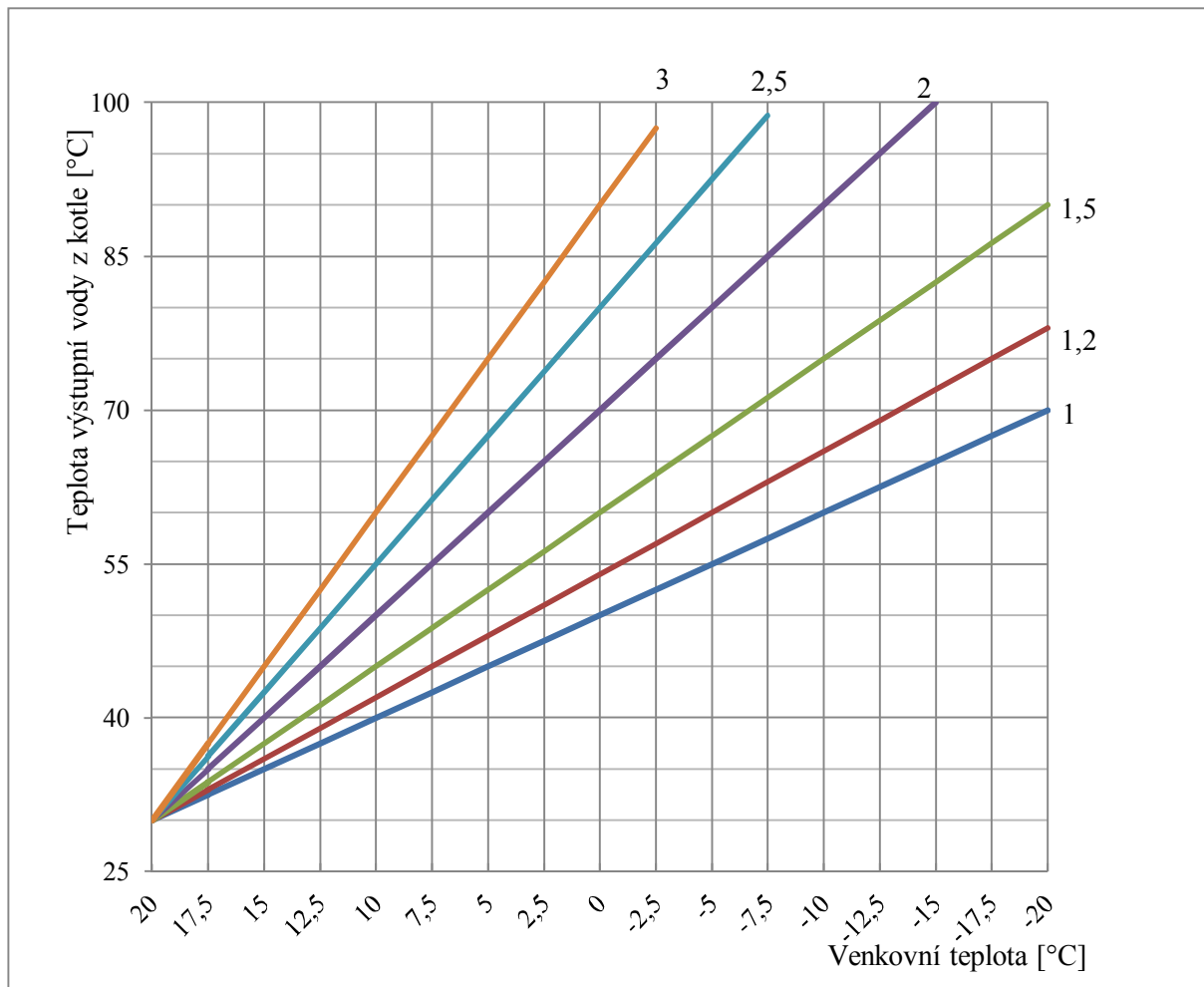


Graf 1 Charakteristika otopného systému

Tabulka 7 Charakteristika otopné soustavy

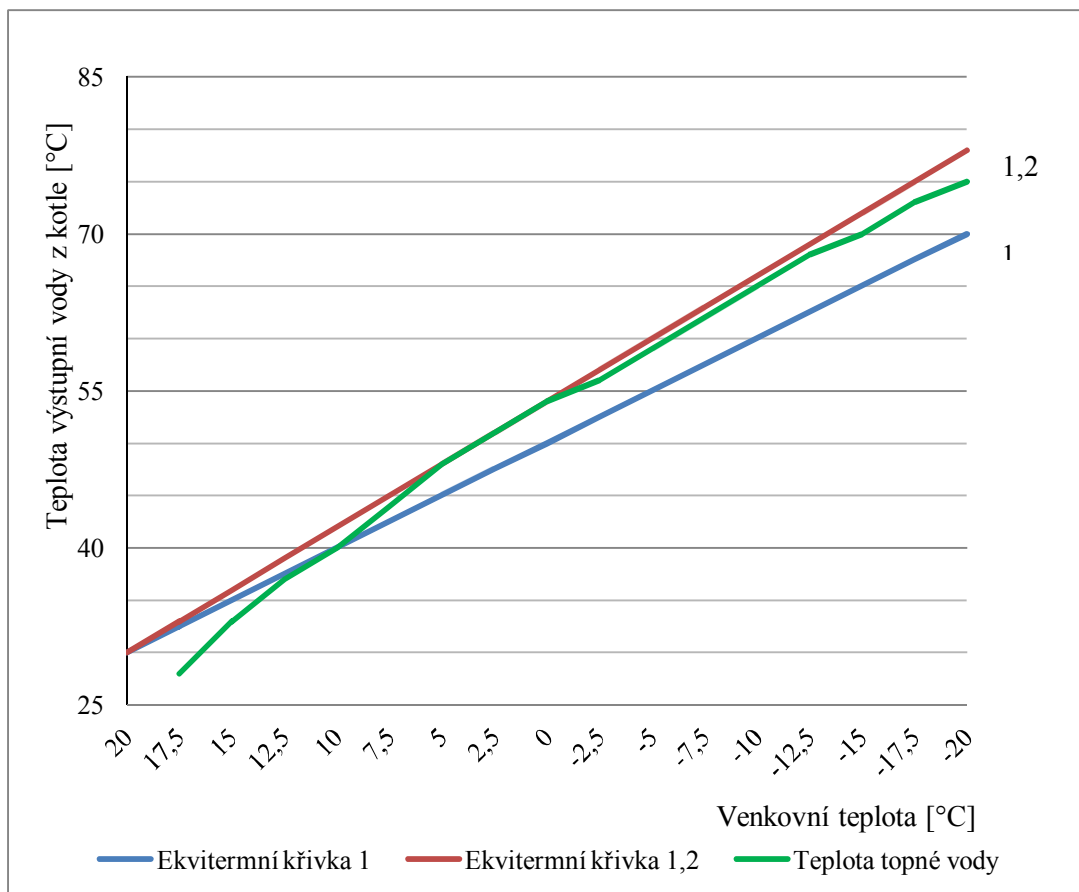
Měrná tepelná ztráta [-]	Tepelná ztráta [W]	Venkovní teplota [°C]	Topná voda přívod [°C]	Topná voda vrat [°C]
10%	1642	16,5	30	25
20%	3284	13	37	27
30%	4926	9,5	43	29
40%	6568	6	50	30
50%	8210	2,5	55	33
60%	9852	-1	59	35
75%	11650	-6,25	63	38
80%	13136	-8	65	40
90%	14778	-11,5	67	43
100%	16420	-15	70	45

Z projekčních podkladů výrobce kotle získáme graf ekvitermních křivek:



Graf 2 Ekvitermní křivky [18]

Z grafu č. 2 je patrné, že nejbližší křivka pro danou modelovou soustavu je křivka se strmostí „1,2“. Případně by byla vhodná křivka se strmostí „1“. Ta by se musela však posunout offsetem v ypsilonové souřadnici (teplota výstupní vody z kotle), protože nedosahuje projektovaných 70 °C, při maximální tepelné ztrátě objektu při venkovní teplotě -15 °C. I když tuto funkci kotel umožňuje, navrhuji strmost křivky „1,2“ (viz. graf 3). V ideálním stavu při přesném nadimenzování otopných těles, vhodné ekvitermní křivce a hydraulickém vypočítání i seřízení celé soustavy, nemají termostatické hlavice prakticky žádný vliv na tepelnou pohodu uvnitř v domě. Kotel si díky venkovní teplotě určí přesnou teplotu otopné vody, která přesně dostačuje na potřebný výkon otopných těles. Samozřejmostí je pak nulová cyklace kotle a nejvyšší možná dosažená účinnost zdroje. Nicméně v celé dynamice domu, kde jsou lokální tepelné příspěvky i úbytky (např. vaření, manuální větrání), nelze tohoto stavu v každý okamžik dosáhnout a teplota v místnosti se změní.



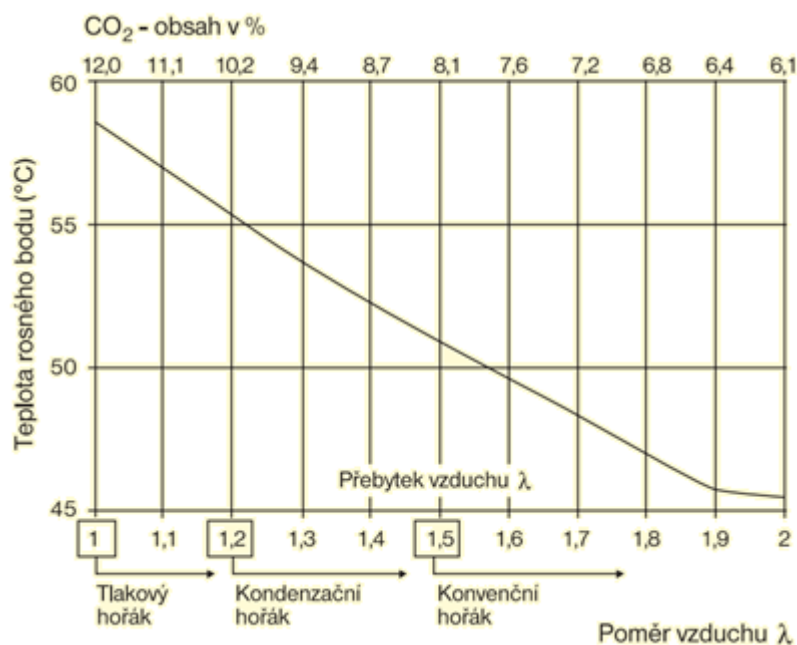
Graf 3 Výstupní teploty

2.4 ÚČINNOST KONDENZAČNÍCH PLYNOVÝCH KOTLŮ

Při spalování zemního plynu (metanu CH_4) vzniká voda slučováním vodíku s kyslíkem obsaženým ve vzduchu. Uvolňováním tepelné energie při spalování se voda ohřívá, odpařuje se a v podobě páry společně s oxidem uhličitým tvořícím spaliny odchází. Teplé spaliny s sebou nesou část energie skryté ve vodní páře, tzv. latentní teplo (energie potřebná pro změnu fáze látky). Latentní teplo lze získat ochlazením spalin pod teplotu jejich rosného bodu. Vodní pára zkondenzuje a předá své latentní teplo dostatečně chladné stěně tepelného spalinového výměníku. Pro kondenzační kotle byl zaveden normovaný stupeň využití nebo relativní účinnost. Oba tyto pojmy označují totéž a nabývají hodnot nad 100 %. V komerčních prospektech bývají často pro zjednodušení označovány tyto pojmy jako účinnost s hodnotou vyšší než 100 %. Fyzikálně správně bychom však měli vyjít z maximálně získatelné tepelné energie. Zjištěná účinnost kondenzačního kotle by pak byla 97,5 % a u kotlů nekondenzačních by se z udávané hodnoty 92 % snížila na 83 %. Normovaný stupeň využití zahrnuje všechny tepelné ztráty kotle, které jsou závislé na teplotě topné vody a na zatížení kotle. U kondenzačních kotlů se pohybuje přebytek vzduchu kolem $\lambda = 1,2$. [19]

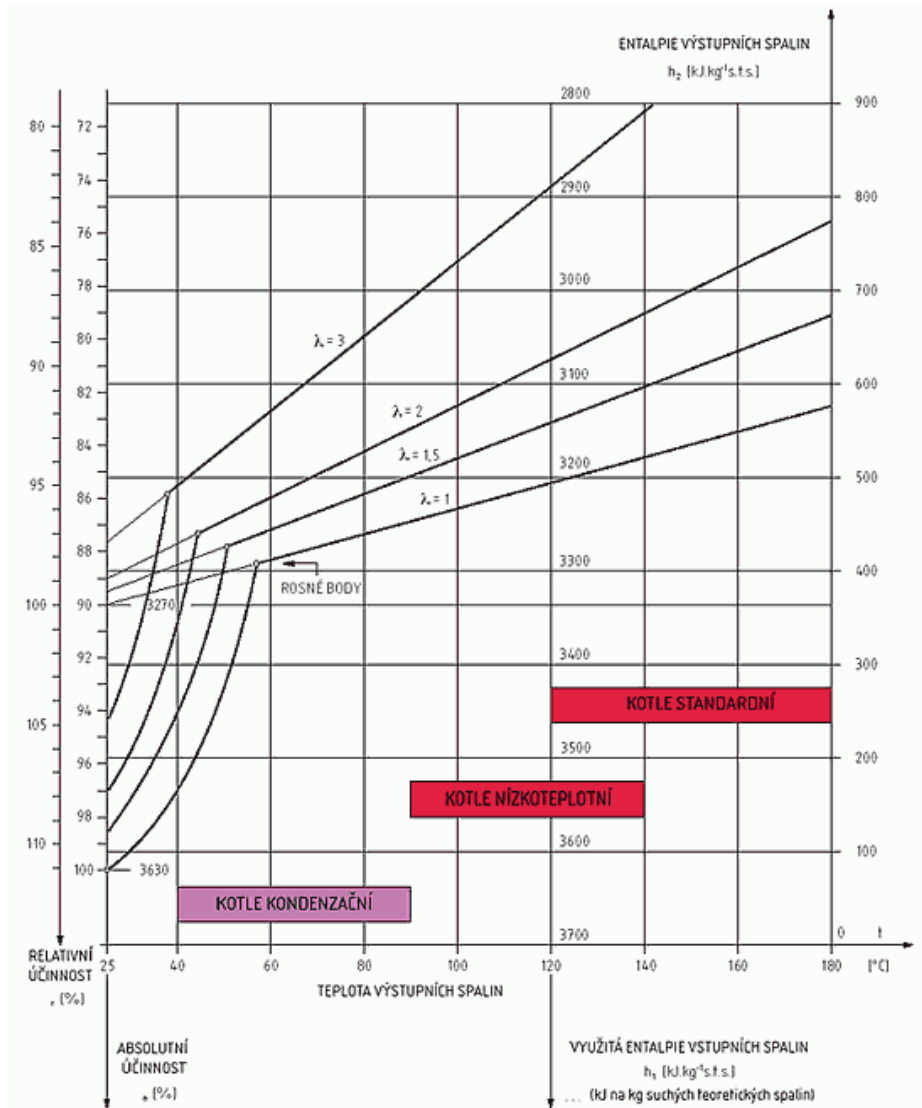
Pokud ochlazujeme spaliny zemního plynu získané při ideálním spalování, tj. bez přebytku vzduchu, pod teplotu rosného bodu (58 °C), začne ve spalinách kondenzovat vodní pára. Hmotnostní podíl vodní páry ve spalinách zemního plynu je téměř 12 %. Teplo, které lze získat z úplné kondenzace, činí 11 % z tepla spalného. Výše přebytku vzduchu se udává součinitelem přebytku vzduchu λ . Spaliny bez přebytku vzduchu mají součinitel $\lambda = 1$. S rostoucí hodnotou λ se účinnost spalování zhoršuje. Protože s rostoucí hodnotou λ klesá

teplota rosného bodu spalin, je nutné, aby byl u kondenzačních kotlů udržován přebytek vzduchu na nejnižší, a pokud možno na stálé úrovni. [10]



Graf 4 Teplota rosného bodu [10]

Účinnost spalování zemního plynu se při teoretických úvahách nejnázne získá z entalpického diagramu spalin zemního plynu, resp. CH_4 . Diagram představuje závislost entalpie spalin na teplotě spalin při určitých součinitelích přebytku vzduchu. Moderní plynové kotle mají při běhu ztrátu tepla sdílením do okolí zanedbatelnou. Při běhu vykazují pouze ztrátu tepla v odcházejících spalinách, tj. komínovou ztrátu. Okamžitá účinnost kotle při běhu je pak snížena o uvedenou ztrátu v poměrné velikosti vztaženou k příkonu kotle. V praxi to znamená, že účinnost spalování plynu má přibližně stejnou hodnotu jako okamžitá účinnost kotle při běhu.



Graf 5 Entalpický diagram spalín metanu [19]

Spodní hranicí diagramu je teplota 25 °C, ke které se vztahuje spalné teplo i výhřevnost. Průsečík této teploty s přímkou entalpie nenasycených spalín při $\lambda = 1$ udává hodnotu měrné výhřevnosti CH_4 ve výši 3270 kJ/kg_{s.t.s.} (suchých teoretických spalín). Tento průsečík také protíná osu relativní účinnosti ve výši 100 %. Další průsečík této teploty s křivkou entalpie nasycených spalín při $\lambda = 1$ udává hodnotu měrného spalného tepla CH_4 ve výši 3630 kJ/kg_{s.t.s.} Průsečík také protíná 100% hodnotu absolutní účinnosti.

2.4.1 ROČNÍ PROVOZNÍ ÚČINNOST KONDENZAČNÍHO KOTLE

Pro nejvyšší využití kondenzačního kotle je nezbytné neustále optimalizovat spalovací proces v závislosti na požadovaném tepelném výkonu, a ten z kotle odvádět takovým způsobem, aby teplota zpátečky byla co nejnižší. Pokud je tato podmínka zajištěna, může kotel pracovat v kondenzačním režimu například i při okamžitém teplotním spádu 70/50 °C, neboť teplota zpátečky je dostatečně nízká pro kondenzaci. Pro výpočet roční provozní účinnosti kondenzačního kotle, který je napojen na vytápěcí soustavu, je zapotřebí znát jednak vlastnosti kotle s vytápěcí soustavou, jednak vlastnosti klimatu.

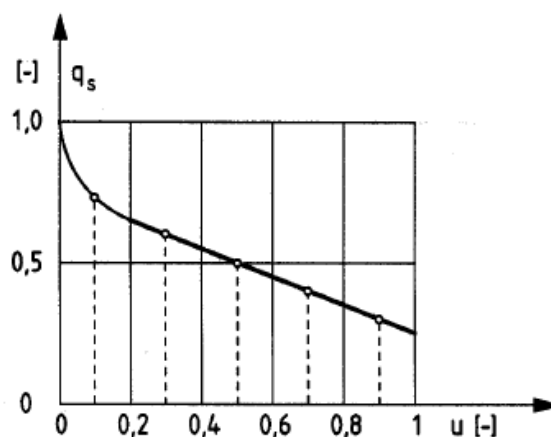
Proto potřebujeme znát dvě charakteristiky:

- charakteristiku kotle s vytápěcí soustavou,
- charakteristiku klimatu.

Charakteristika klimatu je závislost poměrného tepelného výkonu q_s potřebného pro vytápění v dané klimatické oblasti na poměrné době výskytu poměrného výkonu u . Je jednoznačně popsána vnitřní výpočtovou teplotou, vnější výpočtovou teplotu a vnější teplotou, při které začíná a končí vytápění. Poměrný výkon potřebný pro vytápění v určité klimatické oblasti je dán poměrem mezi tepelným výkonem potřebným pro vytápění při určité venkovní teplotě a jmenovitým tepelným výkonem potřebným pro vytápění (tepelnou ztrátou objektu). Z výsledků mnoha provedených výpočtů vyplynulo, že vliv klimatických podmínek na roční provozní účinnost je zanedbatelný. Proto vycházím z níže uvedené charakteristiky pro standardní klimatické podmínky 20/-12/12 °C.

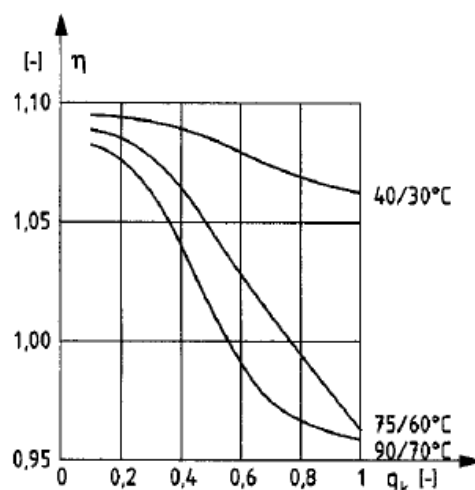
Tabulka 8 Hodnoty poměrných výkonů

u_i	q_{si}
0,1	0,75
0,3	0,6
0,5	0,5
0,7	0,4
0,9	0,3



Graf 6 Charakteristika klimatu [10]

Charakteristika kotle je závislost relativní účinnosti kotle η_r na jeho poměrném výkonu – zatížení q_k . Vytížení je charakterizováno pro určitou vytápěcí soustavu. Určuje se měřením na zkušební. Okamžitá účinnost kondenzačních kotlů je závislá převážně na teplotě oběhové vody, která vstupuje do kotle. Během vytápěcího období se samozřejmě potřebný tepelný výkon mění a s ním i související vytížení kotle a vstupní teplota oběhové vody do kotle. Proto musí být účinnost kondenzačních kotlů uvedena pro několik stavů vytížení. [3]



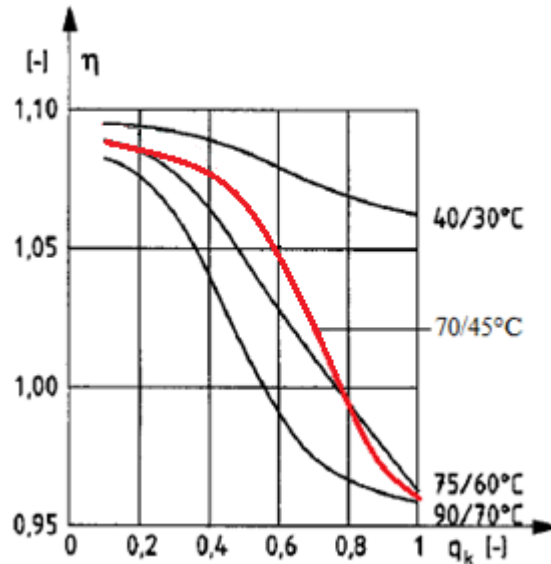
Graf 7 Charakteristika kondenzačního kotle [10]

Obecná charakteristika kondenzačního kotle byla doplněna pravděpodobnou křivkou dané modelové vytápěcí soustavy. Při vytváření křivky bylo přihlédnuto k technickým podkladům od výrobce kotle. Tato křivka je zakreslena

červeně. Stěžejní je teplota vstupní oběhové vody do kotle, která se v průběhu topné sezóny pohybuje od 30 °C do 45 °C. Avšak při tepelné ztrátě 16,5 kW je maximální poměrné zatížení kotle:

$$q_k = \left(\frac{Q_{sn}}{Q_{kn}} \right) = \frac{16\,420}{25\,000} \doteq 0,66 \quad (2.7)$$

Vyšší přenášený výkon soustavy by byl možný při parametrech otopné vody 75/65 °C, při této teplotě by byl přenášený výkon 25 kW, tedy jmenovitý výkon kotle.



Graf 8 Charakteristika instalovaného kotle

Podstatou výpočtu je nutnost zohlednění vlivu rozdílné teploty vstupní vody do kotle na okamžitou účinnost. Výpočet vychází z poměru tepla využitého za vytápěcí období a tepla přivedeného v palivu za stejné období. Plocha pod křivkou charakteristiky klimatu představuje teplo v poměrném tvaru, které je potřebné pro vytápění objektu za rok. Pro výpočet je vhodné rozdělit plochu na několik úseků. Pro výpočet postačí rozdělení na pět dílčích poměrných výkonů (úseků).

$$\Delta u_i = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2 \quad (2.8)$$

Poměrná doba výskytu je pak 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 a 0,9.
Odvození vztahu pro roční provozní účinnost:

$$\eta_{rok} = \frac{\sum E_{vi}}{\sum E_{pi}} = \frac{\sum Q_{si} \cdot \Delta u_i}{\sum Q_{si} \cdot \frac{\Delta u_i}{\eta_i}} = \frac{\sum q_{si} \cdot \Delta u_i}{\sum \left(q_{si} \cdot \Delta \frac{u_i}{\eta_i} \right)} = \frac{\sum q_{si}}{\sum \left(\frac{q_{si}}{\eta_i} \right)} \quad (2.9)$$

Výsledný vztah je tedy:

$$\eta_{rok} = \frac{\sum q_{si}}{\sum \left(\frac{q_{si}}{\eta_i} \right)} \quad (2.10)$$

A vztah pro přepočítání poměrného výkonu:

$$q_{ki} = q_{si} \cdot \left(\frac{Q_{sn}}{Q_{kn}} \right) \quad (2.11)$$

Po přiřazení hodnot z tabulky č. 8 dostaneme vztah:

$$\eta_{rok} = \frac{2,55}{\left(\frac{0,75}{\eta_1} + \frac{0,6}{\eta_2} + \frac{0,5}{\eta_3} + \frac{0,4}{\eta_4} + \frac{0,3}{\eta_5} \right)} \quad (2.12)$$

Kde:

η_1 je dílčí tepelná účinnost odečtená z diagramu pro q_{k1} ,

$$q_{k1} = q_{s1} \cdot \left(\frac{Q_{s1}}{Q_{kn}} \right) = 0,75 \cdot \left(\frac{12315}{25000} \right) = 0,37 \quad (2.13)$$

$$\eta_1 \text{ z diagramu} = 1,063$$

η_2 je dílčí tepelná účinnost odečtená z diagramu pro q_{k2} ,

$$q_{k2} = q_{s2} \cdot \left(\frac{Q_{s2}}{Q_{kn}} \right) = 0,6 \cdot \left(\frac{9852}{25000} \right) = 0,24 \quad (2.14)$$

$$\eta_2 \text{ z diagramu} = 1,07$$

η_3 je dílčí tepelná účinnost odečtená z diagramu pro q_{k3} ,

$$q_{k3} = q_{s3} \cdot \left(\frac{Q_{s3}}{Q_{kn}} \right) = 0,5 \cdot \left(\frac{8210}{25000} \right) = 0,17 \quad (2.15)$$

$$\eta_3 \text{ z diagramu} = 1,08$$

η_4 je dílčí tepelná účinnost odečtená z diagramu pro q_{k4} ,

$$q_{k4} = q_{s4} \cdot \left(\frac{Q_{s4}}{Q_{kn}} \right) = 0,4 \cdot \left(\frac{6568}{25000} \right) = 0,11 \quad (2.16)$$

$$\eta_4 \text{ z diagramu} = 1,084$$

η_5 je dílčí tepelná účinnost odečtená z diagramu pro q_{k5} ,

$$q_{k5} = q_{s5} \cdot \left(\frac{Q_{s5}}{Q_{kn}} \right) = 0,3 \cdot \left(\frac{4926}{25000} \right) = 0,06 \quad (2.17)$$

$$\eta_5 \text{ z diagramu} = 1,086$$

Dosažením do celkového vzorce dostaneme roční účinnost:

$$\eta_{rok} = \frac{2,55}{\left(\frac{0,75}{1,063} + \frac{0,6}{1,07} + \frac{0,5}{1,08} + \frac{0,4}{1,084} + \frac{0,3}{1,086} \right)} \quad (2.18)$$
$$\eta_{rok} = 1,074$$

2.4.2 CENA USPOŘENÉHO PALIVA

Dosloužilý kotel Viadrus G32 měl účinnost pro jmenovitý výkon dle technických podkladů výrobce 90 %, ovšem při značném cyklování zdroje se účinnost snižuje. Účinnost při cyklování se snižuje v jednotkách procent. Když uvážím stáří kotle s cyklováním, byla účinnost pravděpodobně 85 %. Rozdíl v účinnosti starého a nového kotle, kde uvažuji účinnost 107 %, je velmi dobrých 22 %. Tento rozdíl by se měl pozitivně projevit na ceně uspořené plyn: [20,21]

$$N_{up} = SP_{min} \cdot \eta_{roz} \cdot N_{MWh} = 25 \cdot 0,22 \cdot 1\,400 = 7\,700 \text{ Kč} \quad (2.19)$$

Kde:

N_{up} – ušetřené náklady na plyn,

SP_{min} – spotřebovaný zemní plyn v minulých obdobích,

η_{roz} - rozdíl účinnosti kotlů,

N_{MWh} – náklady na 1 MWh zemního plynu.

Po instalaci kondenzačního kotle bude tedy spotřeba plynu pod 20 MWh a ušetřená částka činí bezmála 8 000 korun. Platba za zemní plyn bude:

$$N_{pl20} = N_{MWh} \cdot 20 = 1\,400 \cdot 20 = 28\,000 \text{ Kč} \quad (2.20)$$

3 DIMENZOVÁNÍ VODNÍCH OTOPNÝCH SOUSTAV

Hydraulicky vyváženou soustavu, která je cílem návrhu diplomové práce, charakterizuje rovnováha mezi dynamickým přetlakem a tlakovými ztrátami. Na základě daného přenášeného tepelného výkonu a teplotního spádu soustavy nelze provést pouze jednostupňový výpočet. Soustavu je nutno vypočítat ve dvou krocích, kde je prvním krokem návrh profilu potrubí, druhým pak návrh a nastavení regulačních prvků soustavy.[1,3]

3.1 TLAKOVÉ POMĚRY V OTOPNÉ SOUSTAVĚ

Proudící otopná voda v uzavřeném okruhu je v každém místě soustavy vystavena hydrostatickému i dynamickému přetlaku. Tento přetlak je také známý jako dispoziční tlak a jeho hodnota je důležitá pro tlakové vyregulování jednotlivých těles.

3.1.1 HYDROSTATICKÝ PŘETLAK

Hydrostatický přetlak p_s v každém místě soustavy je závislý na výšce vodního sloupce nad tímto místem a je dán známou rovnicí:

$$p_s = H \cdot \rho \cdot g \quad (3.1)$$

3.1.2 DYNAMICKÝ TLAK

Dynamický tlak p_c způsobuje cirkulaci otopné vody v soustavě. V současné době jsou navrhovány především soustavy s nuceným oběhem vody. Je zde osazeno oběhové čerpadlo, které je hlavním zdrojem dynamického tlaku v celé soustavě. Účinný vztlak pak ovlivňuje celkový dynamický tlak v závislosti na geometrickém uspořádání sítě. Účinný vztlak je obvykle podstatně menší než dynamický tlak čerpadla. K zajištění hydraulické stability je nutné ho do vzorce započítat. U běžných otopných soustav zohledňujeme jen částečný účinek. Celkový dynamický tlak je pak:

$$\Delta p_c = \Delta p_\xi + x \cdot \Delta p_p \quad (3.2)$$

Kde:

x - započítaný podíl účinného vztlaku $x = (0,4-0,7)$,

Δp_c - celkový dynamický tlak,

Δp_ξ - dynamický tlak čerpadla,

Δp_p – účinný vztlak.

Podíl účinného vztlaku se mění v závislosti na teplotě otopné vody a může způsobit hydraulickou nestabilitu soustavy. Kdybychom počítali s účinným vztlakem v plné výši ($x = 1$), docházelo by v přechodných obdobích, kdy je teplota otopné vody nižší, k nedostatku dynamického tlaku. Tímto jevem by docházelo k podprůtoku u vysoko položených těles, jejich výkon by se snížil, což je velice nežádoucí. Naopak při nezapočtení může docházet k přetápění.

3.2 TLAKOVÉ ZTRÁTY V POTRUBÍ

Při proudění kapaliny v potrubí dochází k tření v mezní vrstvě a tím vzniká tlaková ztráta. Tlakové ztráty lze rozdělit na tlakové ztráty způsobené třením a místními odpory. Stanovení tlakových ztrát provádíme výpočet pro jednotlivé úseky potrubní sítě. Úsek je část potrubní sítě, ve které se nemění dopravované množství otopné vody ani rychlost proudění (rozdíl profilu potrubí). Tlakovou ztrátu v úseku lze zapsat jako:

$$\Delta p_s = \Delta p_{st} + \Delta p_{so} \quad (3.3)$$

Kde:

Δp_s – celková tlaková ztráta,

Δp_{st} – tlaková ztráta třením,

Δp_{so} – tlaková ztráta místními odpory.

3.2.1 TLAKOVÉ ZTRÁTY TŘENÍM

Tyto ztráty vyjadřují úbytek tlakové energie v přímých úsecích potrubí, kde dochází ke tření vody o stěny potrubí. Tato tlaková ztráta je i funkcí délky, platí vztah:

$$\Delta p_{st} = R \cdot L \quad (3.4)$$

Kde:

R – měrná tlaková ztráta třením,

l – délka úseku.

Měrná tlaková ztráta R zohledňuje vlivy určující velikost ztráty. Vzorec vycházející z matematického modelu proudění je:

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (3.5)$$

Kde:

R – měrná tlaková ztráta třením,

λ - součinitel tření,

w - rychlost proudění,

ρ - měrná hmotnost vody,

d – vnitřní průměr potrubí.

Jedinou výše uvedenou hodnotu λ neumíme exaktně stanovit. Součinitel tření vyjadřuje kvalitu povrchu potrubí a vlastnosti dopravované látky, a tím skutečně vznikající

ztrátu. Z laboratorních měření bylo stanoveno, že λ je funkcí několika proměnných. Tyto proměnné jsou:

- průměr potrubí d ,
- rychlost proudění w ,
- hustoty ρ ,
- absolutní povrchové drsnosti k ,
- kinematické viskozity ν .

$$\lambda = f\left(Re; \frac{k}{d}\right) \quad (3.6)$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} \quad (3.7)$$

Pro oblast laminárního proudění, kde $Re < 2\,320$:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.8)$$

Pro přechodovou oblast proudění, kde $2\,320 > Re > 4\,000$:

$$\lambda = \lambda_{2\,320} + \frac{\lambda_{4\,000} - \lambda_{2\,320}}{1\,680} \cdot (Re - 2\,320) \quad (3.9)$$

Pro turbulentní proudění, kde $Re > 4\,000$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71d} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right) \quad (3.10)$$

Drsnost potrubí se běžně pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,1 u ocelových potrubí a 0,001 až 0,002 u plastových potrubí. Uvedený způsob výpočtu součinitele tření je zjednodušený, používá se však pro běžné výpočty pro otopné soustavy.

3.2.2 ZTRÁTY MÍSTNÍMI ODPORY

Tyto ztráty jsou vyjádřeny tlakové ztráty v jednotlivých armaturách a tvarovkách. Bylo zjištěno, že platí vztah, kde je ztráta přímo úměrná druhé mocnině rychlosti proudění kapaliny.

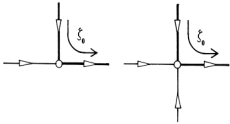
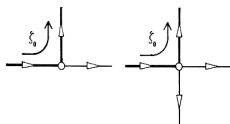
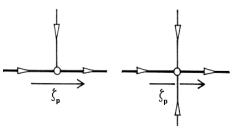
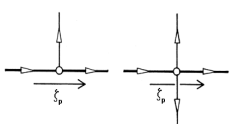
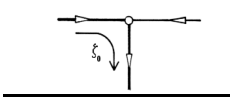
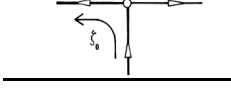
$$\Delta p_{so} = \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \quad (3.11)$$

Kde:

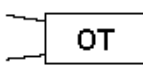
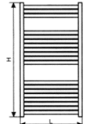
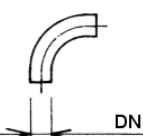
ζ – součinitel místního odporu.

Součinitel místního odporu zeta, charakterizuje úbytek tlaku na tvarovkách i ostatních zařízeních. Stanovuje se experimentálně. Obecné hodnoty jsou v tabulce níže:

Tabulka 9 Součinitelé místních ztrát I.[20]

Hodnoty součinitelů místních ztrát: T-kusy a křížení		
Značka	Název	ξ [-]
	T-kus + křížení pravouhlé, odbočka - spojení	1,5
	T-kus + křížení pravouhlé, odbočka - rozdělení	2,0
	T-kus + křížení pravouhlé, odbočka - spojení, průchod	1,0
	T-kus + křížení pravouhlé, odbočka - rozdělení, průchod	0,2
	T-kus pravouhlý, odbočka - spojení, protiproud	8,0
	T-kus pravouhlý, odbočka - rozdělení, protiproud	3,0

Tabulka 10 Součinitelé místních ztrát II.[23]

Hodnoty součinitelů místních ztrát: zdroje tepla a tvarovky potrubí			
Značka	Název	Součinitel místní ztráty $\xi[-]$	
K	Kotel	litinový	2,5
		ocelový	2,0
 	ČLÁNKOVÁ OTOPNÁ TĚLESA:	vztaženo na potrubí	
		DN 10 (3/8")	1,0
		DN 15 (1/2") až DN 32 (5/4")	2,5
	DESKOVÁ OTOPNÁ TĚLESA:	vztaženo na potrubí	
	jedna deska >>>	DN 10 (3/8")	1,8
		DN 15 (1/2")	8,5
dvě a více desek >>>	vztaženo na potrubí		
	DN 10 (3/8")	4,0	
	DN 15 (1/2")	19,0	
OŽ	OTOPNÝ ŽEBŘÍK	DN 15	2,5
	Koleny	DN 10 - 15	2,00
		DN 20 - 25	1,50
		DN 32 - 40	1,00
		DN 50 a více	0,50

3.3 NÁVRH PROFILŮ ROZVODŮ

Návrh se provádí pro jednotlivé úseky rozvodů vytápění, kde se mění požadovaný výkon (přenesené teplo), hmotnostní průtok v úsecích vypočteme ze vzorce:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} \quad (3.12)$$

Kde:

Q – přenášený tepelný výkon,

c – měrná tepelná kapacita vody,

Δt – teplotní spád.

$$\dot{m} = \frac{w \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho \quad (3.13)$$

Po úpravě dostáváme vzorec pro výpočet průměru potrubí:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{w \cdot \pi \cdot \rho}} \quad (3.14)$$

Tento výpočet je nejjednodušší, avšak v praxi se pravděpodobně setkáme s jinou metodou výpočtu, a to metodou ekonomické měrné tlakové ztráty.

3.3.1 METODA EKONOMICKÉ MĚRNÉ TLAKOVÉ ZTRÁTY

Metoda optimalizuje velikost tlakové ztráty, rychlosti a dimenze potrubí, vychází z rovnice pro měrnou tlakovou ztrátu. Pokud si do této rovnice doplníme rychlost w , vyjádřenou z rovnice kontinuity, dostáváme rovnici:

$$R = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \dot{m}^2}{\pi^2 \cdot d^5 \cdot \rho} \quad (3.15)$$

Z toho vyjádřený průměr:

$$d = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot \lambda \cdot \dot{m}^2}{\pi^2 \cdot R \cdot \rho}} \quad (3.16)$$

K vyčíslení tohoto vztahu se v praxi používají tabulky a grafy. Ty udávají vzájemnou závislost mezi hmotnostním průtokem, rychlostí a měrné tlakové ztráty. Doporučené hodnoty pro návrh jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 11 Doporučené měrné tlakové ztráty[1]

Potrubní síť	Rychlost w (m/s)	Měrná tlaková ztráta R (Pa/m)
Uvnitř obytných budov pro přípojky k otopným tělesům a stoupačí potrubí	0,3 – 0,7	60 – 100
Uvnitř obytných budov pro horizontální rozvodné potrubí ve sklepech	0,8 – 1,5	110 – 200
Vně obytných budov u CZT	2,0 – 3,0	200 – 400
Uvnitř průmyslových objektů pro přípojky k otopným tělesům a stoupačí potrubí	0,8 – 2,0	110 – 250
vně průmyslových objektů u CZT	2,0 – 3,0	200 – 400

3.4 OBECNÝ POSTUP VÝPOČTU

1. Schematické zakreslení etážové otopné soustavy do výkresu
2. Určení okruhu nejhůře položeného tělesa, tzn. okruhu s největší tlakovou ztrátou.
Zpravidla se jedná o nejvzdálenější otopné těleso od zdroje (těleso v obývacím pokoji 2.NP). Může to však být i těleso o velkém výkonu na kratším úseku.
3. Rozdělení okruhu na úseky
Jednotlivé úseky jsou naznačeny na výkrese.

4. Stanovení přenášeného výkonu jednotlivých úseků.
Nasčítání výkonů otopných těles v jednotlivých úsecích.
5. Výpočet hmotnostního průtoku jednotlivých úseků.
6. Stanovení skutečných délek úseků z výkresu.
7. Předběžný návrh světlostí potrubí podle metody ekonomické měrné tlakové ztráty.
8. Stanovení součinitele vřazených odporů jednotlivých úseků
9. Výpočet tlakové ztráty třením.
10. Výpočet tlakové ztráty místními odpory.
11. Součet tlakových ztrát třením a místními odpory.
12. Rezervní tlaková ztráta pro zaregulování ventilů.

Pro konečné zaregulování ventilů je třeba mít otopnou soustavu v mírném přetlaku. Pokud by soustava v přetlaku nebyla, nedala by se následně regulovat. Z tohoto důvodu se přičte k výsledné tlakové ztrátě tlak 4 kPa, který je uvažován jako tlaková rezerva pro zaregulování ventilů u menších OS.

3.5 VÝPOČET A VYREGULOVÁNÍ DANÉ OTOPNÉ SOUSTAVY

Při hydraulickém posouzení na základě již známých dimenzí a hmotnostních průtoků se stanovují skutečné tlakové ztráty. Součet všech ztrát v potrubí musí být nižší, než je dynamický přetlak okruhu (výtlak čerpadla). Pro již vybudovanou soustavu bylo nutno provést kontrolní výpočet z důvodu hydraulického vyvážení soustavy. Soustava byla zakreslena do půdorysu domu včetně popisu potrubí, otopných těles a místností viz. **příloha č.1**. Pro hydraulický výpočet byl použit program Dimenzování otopných soustav (DIMOS) od firmy PROTECH, spol. s r.o. Dle stránek společnosti je program určen k dimenzování a zaregulování stávajících a nově navrhovaných otopných a chladících soustav. Práce s programem je podporována katalogem potrubí, ventilů, otopných těles, čerpadel, izolací a kapalin. Dodávané katalogy potrubí, ventilů a otopných těles obsahují prakticky veškerý sortiment těchto výrobků nabízený na trhu. Do programu byly vloženy jednotlivé úseky z výkresů viz. **příloha č.2**. Tyto úseky s sebou samozřejmě nesou informace o instalovaném potrubí, teplotním spádu, daném výkonu a velikosti tělesa včetně přípojovacích armatur. Úseky obsahují i informace o počtu a druhu tvarovek i všech armatur či filtrů, které mají vliv na místní ztráty. Výstup z programu je přehledná tabulka, kde je zobrazena nejen rychlost proudění, ale také přenášený výkon a potřebné nastavení regulačních armatur pro hydraulické vyvážení. [24]

Tabulka 12 Výpočet ztrát v potrubí

číslo úseku	Otopné těleso	Přenášený výkon Q	Délka úseku L	Dimenze potrubí DN (De)	Hmotnostní průtok m	Rychlost proudění w	Měrná tlaková ztráta	Suma místních odporů	Tlaková ztráta úseku
		[W]	[m]	[mm]	[kg/h]	[m/s]	[Pa/m]	[-]	[Pa]
1	203-02	1 333	4,4	20	45,9	0,095	10,04	9	686
1z			4,4	20	45,9	0,094	10,42	7,21	78
2	203-01	1 333	0,3	20	45,9	0,095	10,04	12	57
2z			4,4	20	45,9	0,094	10,42	12,5	59
3		2 666	3,2	25	91,8	0,121	16,12	8	109
3z			3,2	25	91,8	0,119	13,13	7,71	97
4	204-01	795	0,4	20	27,4	0,057	4,15	6,88	13

4z			0,4	20	27,4	0,056	6,21	6,67	13
5	204-02	505	4,4	20	17,4	0,036	2,63	10,05	18
5z			4,4	20	17,4	0,036	3,94	7,62	22
6		1 300	0,9	25	44,8	0,059	2,79	6	13
6z			0,9	25	44,8	0,058	4,06	2,41	8
7		3 966	3	32	136,6	0,11	10,05	3	47
7z			3	32	136,6	0,109	10,21	2,7	47
8	101-01	1 212	4,4	20	41,7	0,087	7,79	8	62
8z			4,4	20	41,7	0,086	9,47	4,4	58
9		5 178	4,4	32	178,3	0,144	15,9	1	77
9z			4,4	32	178,3	0,142	17,64	0,52	83
10	101-02	1 212	4,5	20	41,7	0,087	7,79	12	79
10z			4,4	20	41,7	0,086	9,47	6,76	68
11		6 390	2,3	32	220	0,177	22,89	4	108
11z			2,3	32	220	0,175	25,31	3,45	111
12	102-01	1 303	1,2	20	44,9	0,093	9,4	10	54
12z			1,2	20	44,9	0,092	10,18	7,17	42
13		7 693	0,5	25	264,9	0,136	12,44	5	49
13z			0,5	25	264,9	0,134	13,32	5,31	55
14		2 835	5,4	32	97,6	0,033	0,45	3	4
14z			5,4	32	97,6	0,032	0,58	8,33	7
15		10 528	0,6	65	362,5	0,027	0,2	80	29
15z			0,6	65	362,5	0,027	0,15	27,35	10
16	202-01	917	1,5	12	31,6	0,114	17,87	12,8	109
16z			1,5	12	31,6	0,113	21,75	11,66	107
17	202-02	917	0,2	12	31,6	0,114	17,87	9,13	62
17z			0,2	12	31,6	0,113	21,75	9,5	65
18		1 834	1,8	15	63,1	0,135	26,9	1	58
18z			1,8	15	63,1	0,133	19,12	1,61	48
19	201-01	1 001	1,6	20	34,5	0,072	5,26	4	19
19z			1,6	20	34,5	0,071	7,82	6,54	29
20		13 568	1,5	25	467,1	0,239	35,36	4	161
20z			1,5	25	467,1	0,236	37,2	1,5	98
22	105-01	1 520	1,2	12	52,3	0,189	67,18	3	139
22z			1,2	12	52,3	0,187	51,23	3,3	119
23		1 520	2,5	32	52,3	0,018	0,21	5	2
23z			2,5	32	52,3	0,017	0,31	5,8	2
24		3 040	4	32	104,6	0,035	0,54	24	16
24z			4	32	104,6	0,035	0,62	21,93	15
25	104-01	1 520	0,9	12	52,3	0,189	67,18	7	174
25z			0,9	12	52,3	0,187	51,23	6,5	160
26		1 520	2,8	32	52,3	0,018	0,21	7	2
26z			2,8	32	52,3	0,017	0,31	7,8	2
27		16 348	2	25	562,8	0,288	50,09	7	372

27z			2	25	562,8	0,284	52,39	7	389
28	103-01	1 001	0,4	12	34,5	0,125	22,5	6	55
28z			0,4	12	34,5	0,123	23,74	6	55
29		1 001	0,3	25	34,5	0,018	0,32	2	
29z			0,3	25	34,5	0,017	0,47		
30		1 779	4,6	20	61,2	0,127	23,72	12	203
30z			4,6	20	61,2	0,126	16,32	5,8	121
31	101-03	1 456	0,2	20	50,1	0,104	12,98	6	34
31z			0,2	20	50,1	0,103	11,37	6,32	35
32	101-04	323	2,2	12	11,1	0,04	5,11	21,78	28
32z			2,2	12	11,1	0,04	7,66	38,27	47
33		16 348	1,5	32	562,8	0,453	118,28	3	703
33z			1,5	32	562,8	0,447	129,22	3	495
34		16 348	0,5	32	562,8	0,453	118,28	1	159
34z			0,5	32	562,8	0,447	129,22	1	165

Tabulka 13 Nastavení regulačních prvků

Otopné těleso	Přenášený výkon Q	Hmotnostní průtok m	1. regulační prvek	Nastavení regulačního prvku	2. regulační prvek	Nastavení regulačního prvku
	[W]	[kg/h]				
203-02	1334	45,9	V exakt II s hlavicí	8	Regulux	4
203-01	1334	45,9	V exakt II s hlavicí	7	Regulux	1,8
204-01	795	27,4	V exakt II s hlavicí	4,8	Regulux	1
204-02	505	17,4	V exakt II s hlavicí	3,4	Regulux	0,5
101-01	1212	41,7	V exakt II s hlavicí	6,4	Regulux	1,6
101-02	1212	41,7	V exakt II s hlavicí	6,2	Regulux	1,6
102-01	1303	44,9	V exakt II s hlavicí	6,2	Regulux	1,5
202-01	917	31,6	KORADO	3	RL39	1
202-02	917	31,6	KORADO	3	RL39	1
201-01	1001	34,5	V exakt II s hlavicí	5,1	Regulux	1,1
105-01	1520	52,3	KORADO	5	RL39	1
104-01	1520	52,3	KORADO	5	RL39	1
103-01	1001	34,5	KORADO	3	RL39	1
101-03	1455	50,1	KORADO	4	-	-
101-04	323	11,1	KORADO	2	RL39	1

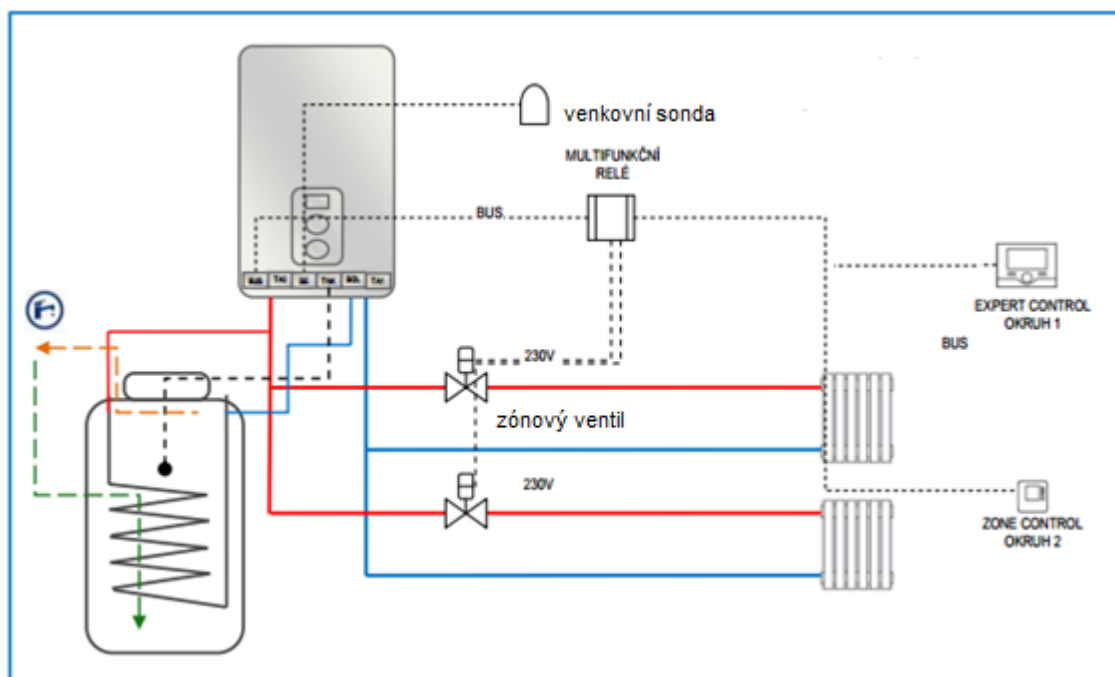
Výstupem z programu je i požadované nastavení regulačních prvků. Po tomto nastavení je soustava hydraulicky vyvážená na návrhový stav. Číslo 8 na prvním regulačním prvku znamená plně otevřeno a číslo 0 plně uzavřeno. U druhého regulačního prvku je rozsah nastavení 4 až 0, kde 0 znamená uzavřeno. Výjimku tvoří neregulovatelné H-šroubení RL39, kde 1 znamená plně otevřeno.

4 ROZDĚLENÍ VYTÁPĚNÍ NA DVA OKRUHY

Současný systém regulace bohužel není technicky schopen reagovat na dynamiku užívání domu, kde je spotřeba tepla pro první nadzemní podlaží vyšší. Tento stav nastává z důvodu celodenního užívání místností, zatímco v druhém nadzemním podlaží je možný teplotní útlum. Rozdělený systém vytápění by tak uspořil palivo o útlumové vytápění 2.NP a zvýšila by se i teplená pohoda v 1.NP.

4.1 ROZDĚLENÍ SE ZÁSAHEM DO OTOPNÉ SOUSTAVY

Otopnou soustavu by bylo možné rozdělit přepojením stávajících rozvodů v podsklepení domu a při doplnění patřičných technologických prvků. Přepojením by se rozdělila jednotlivá patra a bylo by umožněno naprosto samostatné vytápění dle potřeby. Při teoretickém budoucím rozpočítávání nákladů na vytápění, by bylo možné na jednotlivé okruhové přívodní potrubí nainstalovat měřiče tepla. Druhý dříve používaný „ON/OFF“ termostat, kterým byl řízen kotel Viadrus, by se ponechal a nainstaloval do obývacího pokoje v 1.NP. Cena tohoto zásahu je však vyšší. Vhodné je také přemístit expanzní nádobu. Níže v tabulce 14 je uvedena předpokládaná cena za přepojení, detail přepojení v podsklepení a schéma viz. obrázek 10.

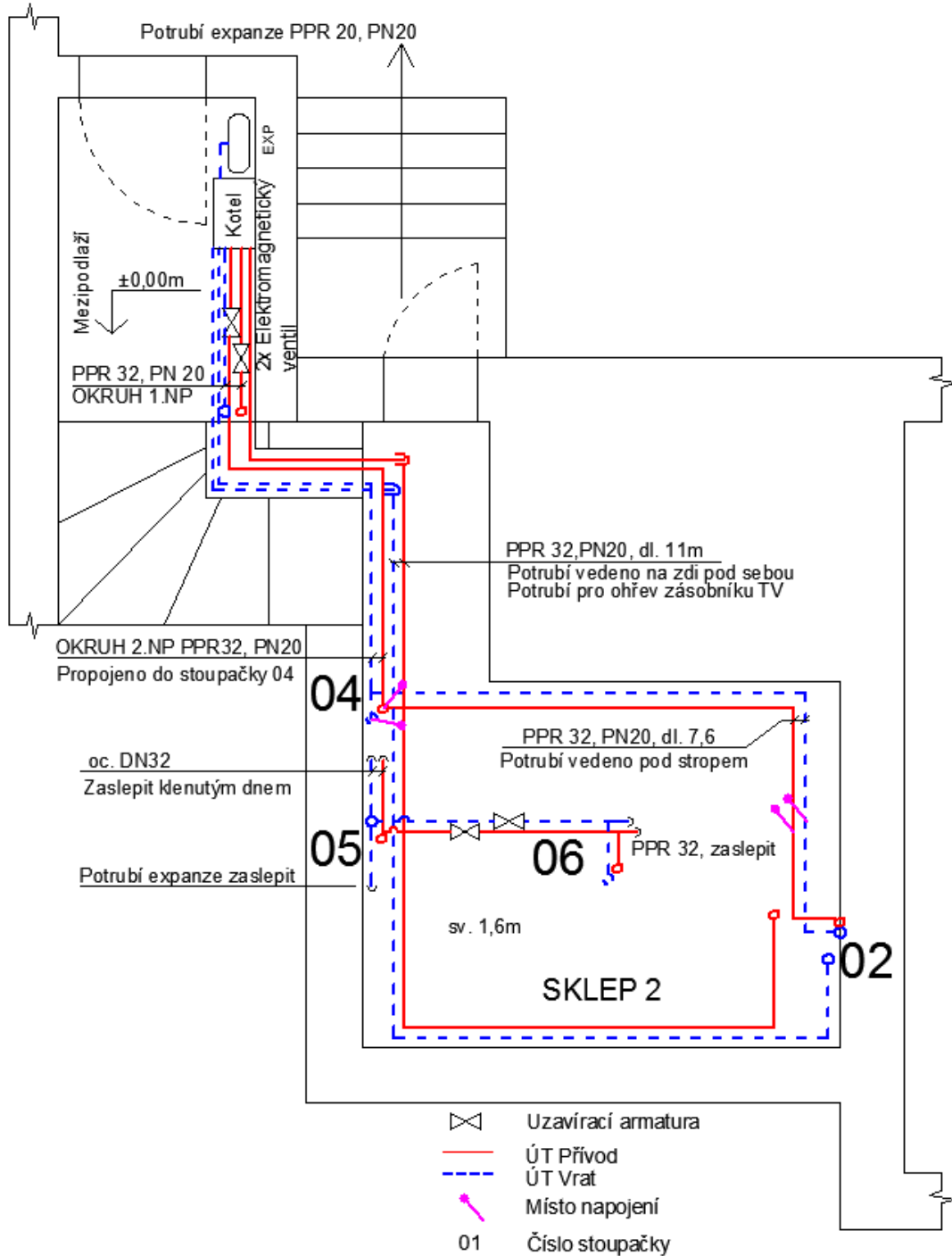


Obrázek 8 Schéma zapojení [25]

Tabulka 14 Cena rozdělení okruhů vytápění [26,27]

Položka	Počet ks/bm	Cena vč. DPH
Multifunkční relé "EVO"	1 ks	1936 Kč
Zónový ventil (230V otevřeno, zavřeno bez proudu)	2 ks	2238 Kč
Kabel pro propojení relé a termostatů (2x0,75mm ²)	15 bm	300 Kč
Expanzní nádoba Reflex F24/3	1 ks	4570 Kč

Potrubí PPR 32 PN 20	20 bm	1614 Kč
Potrubí PPR 20 PN 20	4 bm	127 Kč
Připojovací tvarovky		1000 Kč
Uložení potrubí		500 Kč
Práce		5000 Kč
Celkem		17285 Kč



Obrázek 9 Půdorys domu – přepojení

4.2 ROZDĚLENÍ BEZ ZÁSAHU DO OTOPNÉ SOUSTAVY

Pro „rozdělení“ soustavy je možné využít současnou regulaci kotle, která disponuje připojením druhého spínacího „ON/OFF“ termostatu. Druhý termostat by se osadil stejně jako v předchozím případě do obývacího pokoje v 1.NP. Do kuchyně není vhodné termostat umísťovat, neboť by byl velmi ovlivněn tepelnými zisky z vaření. Takto by bylo vyřešeno spínání kotle. V denní nepřítomnosti v 2.NP by byla otopná tělesa osazena programovatelnými termostatickými hlavicemi, ta by určovala denní útlum v době nepřítomnosti. Cena za tuto přestavbu není nijak vysoká, musí se však přesně naprogramovat jak termostaty, tak hlavice. Jako výhodnější pro danou situaci hodnotím méně nákladnou variantu.

Tabulka 15 Ceník programovatelných hlavic [26]

Položka	Počet ks/bm	Cena vč. DPH
Programovatelná termostatická hlavice	7 ks	3360 Kč
Kabel pro propojení relé a termostatů (2x0,75mm ²)	10 bm	200 Kč
Celkem		3560 Kč



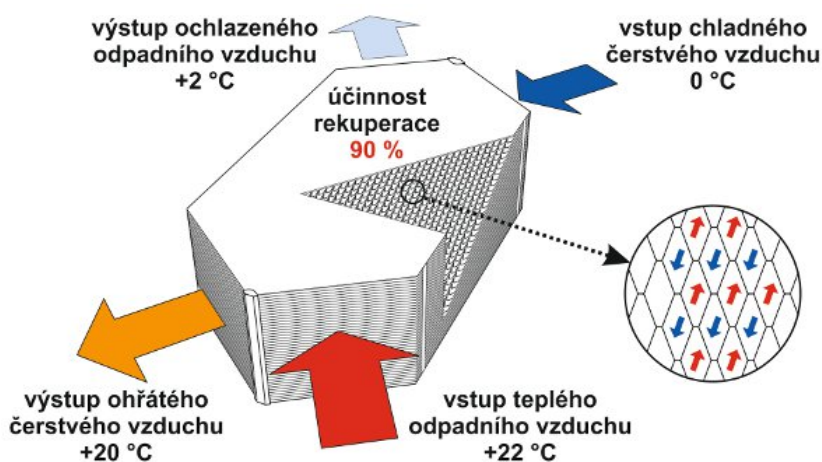
Obrázek 10 Programovatelná hlavice[26]

5 MOŽNOSTI CHLAZENÍ RD

Pro chlazení rodinného domu je možno využít samostatných zařízení, tj. klimatizaci a rekuperaci odděleně. Avšak pro nižší pořizovací náklady je vhodné tato zařízení sjednotit.

5.1 REKUPERAČNÍ JEDNOTKY

Rekuperací se rozumí zpětné získávání tepla. Přiváděný venkovní čerstvý vzduch prochází přes rekuperační výměník uvnitř vzduchotechnické jednotky, do kterého z druhé strany vstupuje teplý odpadní vzduch z objektu. V tomto případě jde o rovnotlaké větrání. Oba vzduchotechnické kanály jsou od sebe dokonale odděleny, aby nedocházelo ke zpětnému průniku pachů z odváděného do přívodního vzduchu. V rekuperačním výměníku se přes stěny kanálů rekuperuje teplo z odpadního vzduchu do přívodního, který je tak předehříván. Rekuperační výměníky dosahují vysokých účinností předání tepla, běžně kolem 90 %. Za nulovou účinnost se rozumí větrání otevřeným oknem. Stoprocentní účinnost by byla, kdyby se přiváděný vzduch ohřál na stejnou teplotu jako vzduch nasávaný z místnosti. Dochází zde tedy k úspoře tepla, případně chladu v letních měsících, a tím úspoře nákladů.

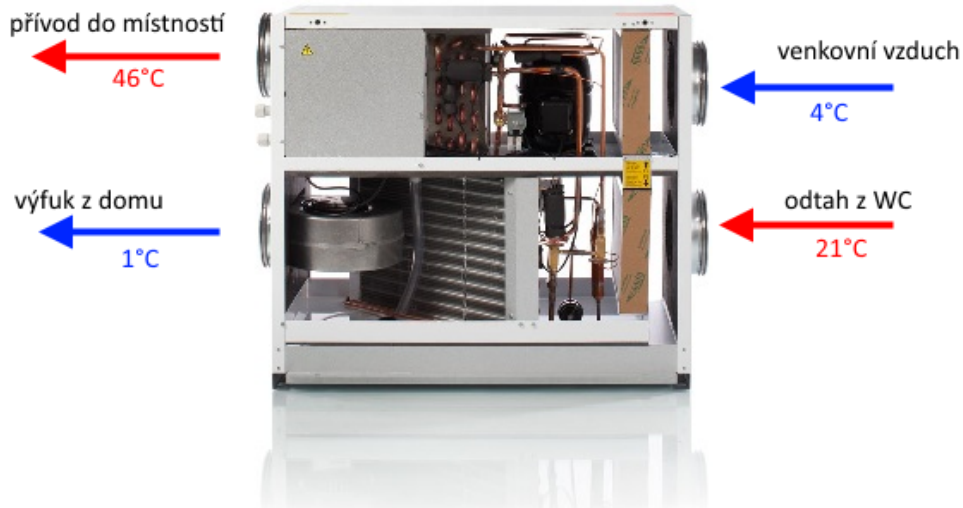


Obrázek 11 Princip rekuperace[28]

5.1.1 AKTIVNÍ REKUPERACE

Další možností, jak rekuperovat vzduch, je rekuperační jednotka, která k rekuperaci využívá principu tepelného čerpadla. Vracet do místnosti tak lze vzduch o vyšší teplotě, než je teplota vzduchu odsávaného z objektu. Takovýmito systémům s dohřevem či chlazením říkáme aktivní rekuperace. [29]

Běžný větrací vzduchový výkon rovnotlakých větracích domovních jednotek bývá kolem cca 300 m³/h. Pokud toto množství přiváděného vzduchu ochladíme na ještě přijatelnou teplotu, cca 15 °C, proti uvažované vnitřní teplotě 26 °C tak přenášíme chladící výkon cca 1 000 W. Tento chladící výkon je v horkém letním období obvykle zcela nedostatečný pro znatelné snížení teploty v interiéru. Ochlazením venkovního přiváděného vzduchu dochází na chladiči ke kondenzaci vody, která následně odtéká do kanalizace. I na tuto kondenzaci se spotřebuje energie, takže okamžitý výkon zdroje chladu je o cca 10 – 20 % vyšší než výkon chlazení přiváděný do interiéru. Provozní náklady tak rostou. [28]

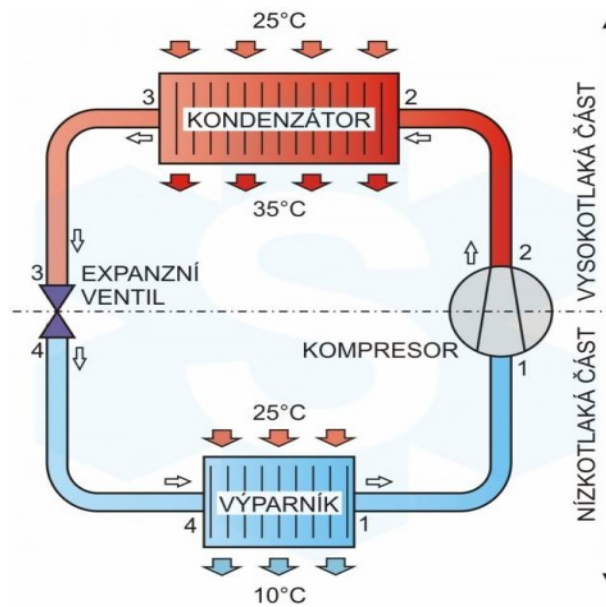


Obrázek 12 Aktivní rekuperace- topný režim[29]

Pro vhodnou dimenzaci celé vzduchotechnické jednotky, a tím i výši možného chladicího výkonu je nutné znát tepelnou zátěž objektu. Tímto výpočtem se bude zabývat další kapitola.

5.2 KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Klimatizačním zařízením rozumíme zařízení pro úpravu vzduchu v celých budovách či jednotlivých místnostech. Pro zvýšení tepelné pohody v místnosti využívá kompresorový oběh. Jako chladivo se například používá R410a. Nově vyvinutá chladiva jsou ekologicky nezávadná, v posledních letech jich bylo vyvinuto mnoho. [4,40]



Obr. 1

Obrázek 13 Chladicí kompresorový oběh[31]

Klimatizační zařízení má mnoho provedení. Pro přehlednost budou následně charakterizovány jednotlivé typy:

5.2.1 OKENNÍ KLIMATIZÁTORY KOMPAKTNÍ

Okenní nebo stěnové klimatizátory jsou velmi rozšířeny v USA, Rusku či v tropech. Zařízení se vyrábějí s malým chladicím výkonem 1,5 až 10 kW. Jednotky se zabudují do okna nebo do zdi tak, že část s kondenzátorem je vysunuta do venkovního prostoru a část s výparníkem - chladičem je zaústěna do místnosti. Jedním motorem je poháněn venkovní i vnitřní ventilátor. [4,40]

5.2.2 MOBILNÍ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY

Jednotky mohou být v provedení kompakt nebo s odděleným kondenzátorem s chladicími výkony od 2 kW do 4 kW chladu. Provedení kompakt je opatřeno ohebnou hadicí o průměru cca 120 mm, kterou se odvádí ohřátý vzduch z kondenzátoru mimo klimatizovanou místnost. U jednotek s odděleným kondenzátorem je venkovní díl spojen ohebným potrubím v délce asi 5 metrů s vnitřní jednotkou. Mobilní jednotky se používají do místností, kde právě potřebujeme zmírnit účinky slunečního záření nebo vnitřních zdrojů tepla. Obecně je nevýhodou mobilních jednotek jejich hluchost okolo cca 50 dB(A). [4,40]

5.2.3 KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY (MULTI) SPLIT

Klimatizační jednotky s tímto označením jsou dělené, a sestávají vždy nejméně ze dvou dílů. Díky tomuto dělenému principu provedení odpadají nevýhody s hlukem v klimatizované místnosti. Vnitřní díl, ve kterém je tichý ventilátor, chladič (výparník) a filtr vzduchu, bývá pověšen v místnosti na zdi, pod oknem, nade dveřmi, v mezistropu atp. Venkovní díl (kondenzační jednotka) obsahuje kompresor, ventilátor a kondenzátor (výměník). Další výhodou například oproti mobilním je distribuce chladného vzduchu do klimatizované místnosti pod stropem, čímž nedochází tak k přímému ofukování osob v pracovní zóně. [4,40]

Venkovní a vnitřní jednotky se spojují dvojicí měděného izolovaného potrubí o průměru 6 až 16 mm. Společně s potrubím se vede elektrický napájecí a komunikační kabel. Vnitřní jednotka je velice tichá (26 - 45 dB (A)). Kondenzační (venkovní) jednotka se umísťuje na střechu, fasádu, atp. Její hluchost je vyšší, většinou od 45 dB (A) podle chladicího výkonu. [4,40]



Obrázek 14 Multi SPLIT klimatizace [30]

6 VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE

Pro další část vypracování diplomové práce je vhodné znát i velikost tepelných zisků pro daný objekt a tím i vhodnou dimenzaci chladicího zařízení. Tepelný zisk představuje tepelný tok, který vniká do klimatizovaného prostoru. Byl vypočítán podle normy ČSN 73 0548. Teplená zátěž byla vypočítána pro co nejnepříznivější podmínky, kdy je slunce v odpoledních hodinách přímo proti oknům na JZ straně domu, tj. strana s umístěním obývacích pokojů. Hodnoty ve výpočtech jsou použity z normy. Venkovní teplota uvažována 30°C, vnitřní 26°C. Vzorový výpočet je proveden pro obývací pokoj v přízemí domu. Tepelné zisky se rozdělují na dvě skupiny. [8]

6.1 TEPELNÉ ZISKY Z VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Zde je zahrnuta produkce tepla od osob a jiných zdrojů, například elektronických zařízení.

6.1.1 PRODUKCE TEPLA OD LIDÍ

$$Q_l = 6,2 \cdot (36 - t_i) \cdot i_l = 6,2 \cdot (36 - 26) \cdot 1,85 = 114,7 \text{ W} \quad (6.1)$$

$$i_l = 0,85 \cdot i_z + 0,75 \cdot i_d + i_m = 0,85 \cdot 1 + 1 = 1,85$$

Kde:

t_i = teplota interiéru,

i_l = počet osob,

i_z = počet žen,

i_d = počet dětí,

i_m = počet mužů.

6.1.2 PRODUKCE TEPLA OD ELEKTRONICKÝCH ZAŘÍZENÍ

$$Q_e = c_1 \cdot c_3 \cdot \sum P = 1 \cdot 1 \cdot 60 = 60 \text{ W} \quad (6.2)$$

Kde:

c_1 - součinitel současnosti el. zařízení,

c_3 - průměrné zatížení el. Zařízení,

P - příkony el. zařízení, (60W televize).

6.2 TEPELNÉ ZISKY Z VNĚJŠÍCH ZDROJŮ

Dům je čelní stranou u silnice situován prakticky přesně na jihozápad. Intenzita slunečního záření 21. července procházející jednoduchým standardním oknem je nejvyšší v 14 h odpoledne, kde má sluneční azimut hodnotu 229° stejnou jako normála JV stěny domu a venkovní teplota 30°C.

6.2.1 TEPELNÉ ZISKY PROSTUPEM TEPLA OKNEM

$$Q_{ok} = S_o \cdot U_o \cdot (T_e - T_i) = 2,65 \cdot 1,1 \cdot (30 - 26) = 11,7 \text{ W} \quad (6.3)$$

Kde:

U_o - součinitel prostupu tepla pro rám i zasklení

S_o - plocha okna m²

6.2.2 TEPELNÉ ZISKY SLUNEČNÍ RADIACÍ OKNEM

$$Q_{or} = [S_{os} \cdot I_o \cdot c_o + (S_o - S_{os}) \cdot I_{odif}] \cdot s \quad (6.4)$$

Kde:

S_{os} = osluněná plocha zasklení oken

I_o = celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem

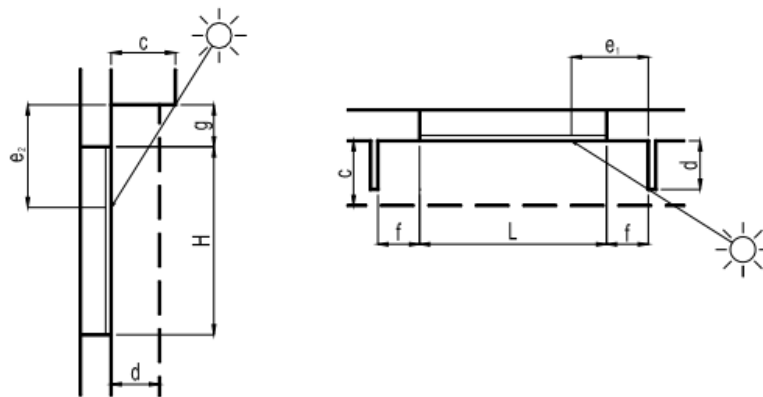
I_{odif} = celková intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním oknem

s = součin stínících součinitelů pro dvojitě sklo = 0,8, pro vnitřní žaluzie = 0,65

Pro osluněnou plochu zasklení oken se počítá ve vzorci s parametry slunolamu, ty však nejsou na objektu instalovány. Výsledný vzorec je tedy jen

$$S_{os} = [l_A - (e_1 - f)] \cdot [l_B - (e_2 - g)] \quad (6.5)$$

Mírné zapuštění okna do zdi však slouží jako slunolam.



Obrázek 15 Parametry slunolamu [32]

$$S_{os} = [1,7 - (0 - 0)] \cdot [1,5 - (0,19 - 0)] = 2,23 \text{ m}^2$$

Kde:

l_A – šířka zasklení,

l_B – výška zasklení,

e_1 - délka stínu od okraje slunolamu,

e_2 – délka stínu od okraje slunolamu,

f – odstup svislé části okna od slunolamu,

g – odstup vodorovné části okna od slunolamu.

$$e_1 = d \cdot \text{tg}(a - \gamma) = 0,15 \cdot \text{tg}(229 - 229) = 0 \text{ m} \quad (6.6)$$

$$e_2 = \frac{c \cdot \text{tg} h}{\cos(a - \gamma)} = \frac{0,15 \cdot \text{tg} 52}{\cos(229 - 229)} = 0,19 \quad (6.7)$$

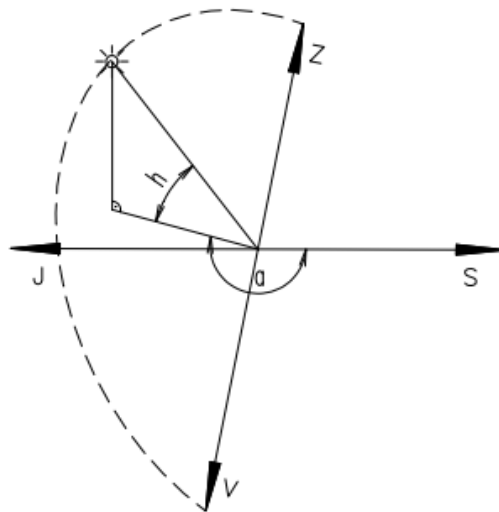
Kde:

d, c – hloubka okna,

a - sluneční azimut,

h - výška slunce,

γ - azimut slunce k normále uvažované stěny.



Obrázek 16 Pohyb slunce po obloze[32]

Intenzita přímé sluneční radiace při průchodu znečištěnou atmosférou I_{Dk} na plochu kolmou ke slunečním paprskům:

$$I_{Dk} = 1350 \cdot \exp \left[-0,1 \cdot z \cdot \left(\frac{16000 - H}{16000 + H} \right)^{0,8} \right] \quad (6.8)$$

$$I_{Dk} = 1350 \cdot \exp \left[-0,1 \cdot 5 \cdot \left(\frac{16000 - 500}{16000 + 500} \right)^{0,8} \right] = 759,3 \text{ W/m}^2$$

Kde:

H – nadmořská výška,

z - znečištění atmosféry dle tab.

Intenzita difúzní sluneční radiace při průchodu znečištěnou atmosférou na plochu libovolnou ke slunečním paprskům:

$$I_d = \left[1350 - I_D - (1080 - 1,4 \cdot I_D) \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \cdot \frac{\sin h}{3} \quad (6.9)$$

$$I_d = \left[1350 - 759,3 - (1080 - 1,4 \cdot 759,3) \cdot \sin^2 \frac{90}{2} \right] \cdot \frac{\sin 52}{3} = 152,9 \text{ W/m}^2$$

Intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením:

$$I_{odif} = T_d \cdot I_d = 0,85 \cdot 152,9 = 129,9 \text{ W/m}^2 \quad (6.10)$$

Kde:

T_d - konstanta

Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem slunečních paprsků θ se stanovuje podle vztahu:

$$\theta = \arccos [\sin h \cdot \cos \alpha + \cos h \cdot \sin \alpha \cdot \cos (a - \gamma)] \quad (6.11)$$

$$\theta = \arccos [\sin 52 \cdot \cos 90 + \cos 52 \cdot \sin 90 \cdot \cos (229 - 229)] = 52^\circ$$

Kde:

α - úhel stěny s vodorovnou rovinou vzatý na straně odvrácené od slunce – 90°

Intenzita přímé sluneční radiace při průchodu znečištěnou atmosférou I_{Dk} na plochu libovolnou ke slunečním paprskům:

$$I_D = I_{Dk} \cdot \cos\theta = 759,3 \cdot \cos 52 = 467,47 \text{ W/m}^2 \quad (6.12)$$

Celková poměrná tepelná propustnost přímé sluneční radiace:

$$T_{Dp} = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{\theta}{100}\right)^5 = 0,87 - 1,47 \cdot \left(\frac{52}{100}\right)^5 = 0,814 \text{ W/m}^2 \quad (6.13)$$

Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním jednoduchým sklem:

$$I_o = T_{Dp} \cdot I_D + I_{odif} = 0,814 \cdot 467,47 + 129,9 = 510,47 \text{ W/m}^2 \quad (6.14)$$

Vzorec po dosazení bude tedy:

$$Q_{or} = [2,23 \cdot 510,47 \cdot 1,15 + (2,65 - 2,23) \cdot 152,9] \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 714,1 \text{ W} \quad (6.15)$$

6.2.3 TEPELNÉ ZISKY VENKOVNÍ STĚNOU

$$Q_s = \sum U_k \cdot A_k \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \quad (6.16)$$

$$Q_s = 0,34 \cdot 7,8 \cdot [(29,8 - 26) + 0,3 \cdot (16,9 - 29,8)] + 0,8 \cdot 10,7 \cdot [(29,8 - 26) + 0,3 \cdot (16,9 - 29,8)] + 1,2 \cdot 8,6 \cdot [(29,8 - 26) + 0,3 \cdot (16,9 - 29,8)] = 17,5 \text{ W}$$

Kde:

t_{rm} – průměrná rovníčková sluneční teplota vzduchu za 24 hodin je: 29,8 °C [8]

$t_{r\psi}$ – rovníčková sluneční teplota v době o ψ dřívější v 14 hodin je: 18,1 °C

m - součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou

Celková tepelná zátěž místnosti je pak:

$$Q_c = Q_l + Q_e + Q_{ok} + Q_{or} + Q_s = 114,7 + 60 + 11,7 + 714 + 17,5 = 917,9 \text{ W} \quad (6.17)$$

Níže je uvedena tabulka tepelné zátěže pro nejnepříznivější hodinu, osluněny jsou dvě místnosti v prvním nadzemním podlaží a obývací pokoj s kuchyňským koutem. Tepelná zátěž je 3,5 kW.

Tabulka 16 Potřebný chladicí výkon

TEPELNÉ ZISKY	Obývací pokoj	Ložnice	Obývací pokoj +KK	
Produkce tepla od lidí Q_l [W]	114,7	0	114,7	
Produkce tepla od el. zařízení Q_e [W]	60	0	240	
Prostup tepla oknem Q_{ok} [W]	11,7	11,7	23,4	
Sluneční radiací oknem Q_{or} [W]	714	714	1428	
Venkovní stěnou Q_s [W]	17,5	17,5	25	
Celkový chladicí výkon	917,9 W	743,2 W	1831,1 W	3492,2 W

7 NÁVRH TECHNOLOGIE

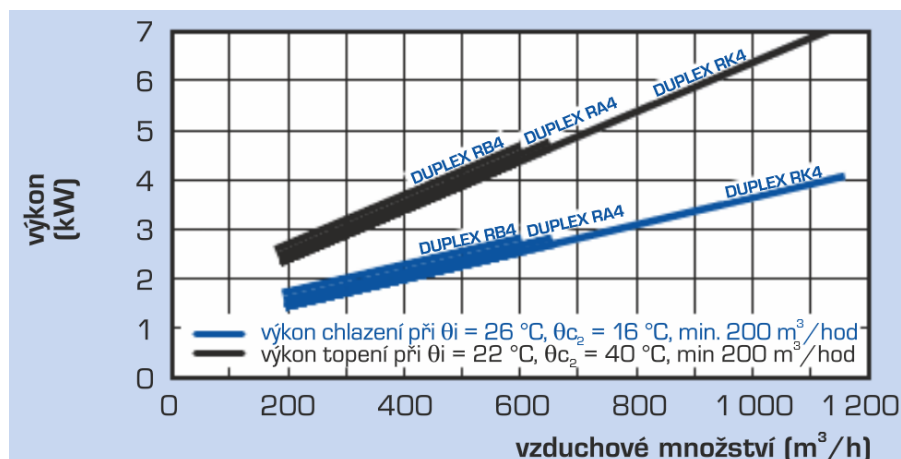
7.1 REKUPERAČNÍ JEDNOTKA

Po prozkoumání trhu s rekuperačními a klimatizačními jednotkami (tepelnými čerpadly). Se jako nejlepší řešení jeví rovnotlaká aktivní rekuperační jednotka od firmy Atrea DUPLEX RK4-EC s vestavěným tepelným čerpadlem. Tepelné čerpadlo spojené se vzduchotechnickou jednotkou je typu vzduch – vzduch. Kondenzátor s kompresorem je umístěn ve venkovní jednotce a výparník je pak uvnitř vzduchotechnické jednotky.



Obrázek 17 Sestava technologie [28]

Tato jednotka nabízí komplexní možnosti ve větrání s rekuperací tepla, chlazení i topení. Větrací systém zajišťuje přívod čerstvého filtrovaného vzduchu do každé obytné místnosti a kuchyně při současném odtahu odpadního vzduchu či par např. ze sociálních zařízení. Maximální chladicí výkon jednotky je 4 kW a topný výkon 7 kW. Výkon jednotky limituje výkon ventilátoru v rekuperační jednotce respektive jeho objemový průtok. V charakteristice níže je uvedena závislost topení a chlazení na objemovém průtoku. Zároveň je vhodné nadimenzovat rozvody vzduchu, aby nebyla překročena maximální rychlost proudění vzduchu v potrubí 3 m/s. Při překročení této rychlosti může docházet vlivem proudění k doprovodným akustickým jevům. Tato skutečnost je při rozmístění rozvodů uvnitř bytového prostoru naprosto nemyslitelná.



Obrázek 18 Průběh výkonu jednotky RK4[23]

Navrhovaná cena technologie vychází z oficiálního ceníku firmy Atria.

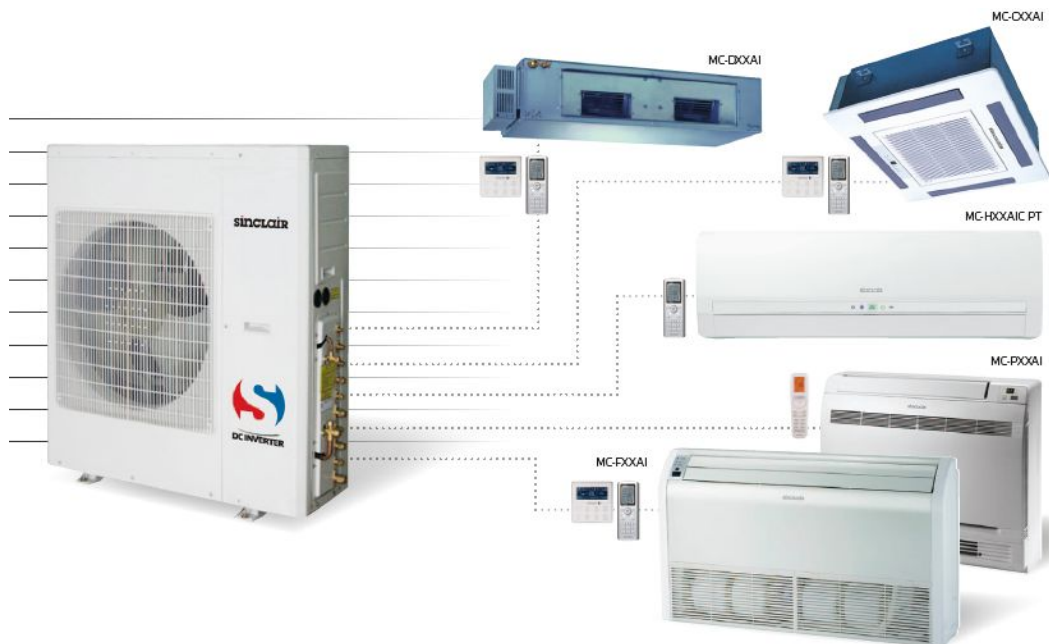
Tabulka 17 Cena rekuperace

Položka	Typ	Cena
Větrací jednotka	DUPLEX RK4-EC	96 921 Kč
Přímý výparník		11 193 Kč
Modul řízení	DMCH – ATW (FG18)	17 001 Kč
Venkovní kondenzační jednotka	ATREA FG18	36 905 Kč
Propojovací potrubí		2 500 Kč
Regulátor pro jednotky	Ovladač CP 18 RD	6 171 Kč
Prostorový termostat	EBERLE RTR-E 3521	2 178 Kč
Prostorové čidlo	ADS CO2 24	5 143 Kč
Potrubní rozvody - klapky, rozdělovače, vyústky, potrubí, izolace		50 000 Kč
Montážní materiál		5 000 Kč
Práce		30 000 Kč
Regulátor WATTrouter M SSR		7 127 Kč
	Celkem	270 139 Kč

7.2 KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Díky přenosu energie pomocí chladiva mezi vnější a vnitřní jednotkou je možné využít vyšší jak chladicí, tak topný výkon. Zařízení však v žádném případě neumí rekuperovat vzduch, či ho alespoň odvádět. Při překročení topného výkonu 12 kW je možné změnit současnou sazbu D25d na sazbu pro tepelné čerpadlo D56d. Hodnota 12 kW je 60 % součtu tepelných ztrát všech bytových jednotek (celého objektu).

Trh s klimatizačními jednotkami je velice rozsáhlý. Pro daný objekt je vhodná například kombinace multi splitových klimatizací Sinclair MS-E18Al pro 2 vnitřní jednotky a MS-E24Al pro 3 vnitřní jednotky. Venkovní jednotky se samozřejmě vyrábí i pro více vnitřních jednotek, narážíme zde ale na vyšší pořizovací cenu. Tyto jednotky jsou určeny spíše pro komerční využití. [37]



Obrázek 19 Klimatizace Sinclair [33]

Jednotka Sinclair má dle prospektů výrobce roční chladicí faktor SEER 5,6 pro jednotku MS-E18AI a SEER 5,1 pro MS-E24AI, to je celkový chladicí faktor jednotky, který je reprezentativní pro celé chladicí období a vypočítá se jako podíl referenční roční potřeby chlazení a roční spotřeby elektrické energie na chlazení. Dále roční topný faktor SCOP 3,8. Ten je shodný pro obě jednotky. Ve výpočtu bude uvažován snížený topný faktor na 3,1. Ve srovnání s topnými faktory jiných jednotek se jeví takto vysoký topný faktor jako nereálný. Umístění jednotek je zakresleno do půdorysu domu viz. **příloha č.3.**

Tabulka 18 Sestava klimatizace [34,35,36,37]

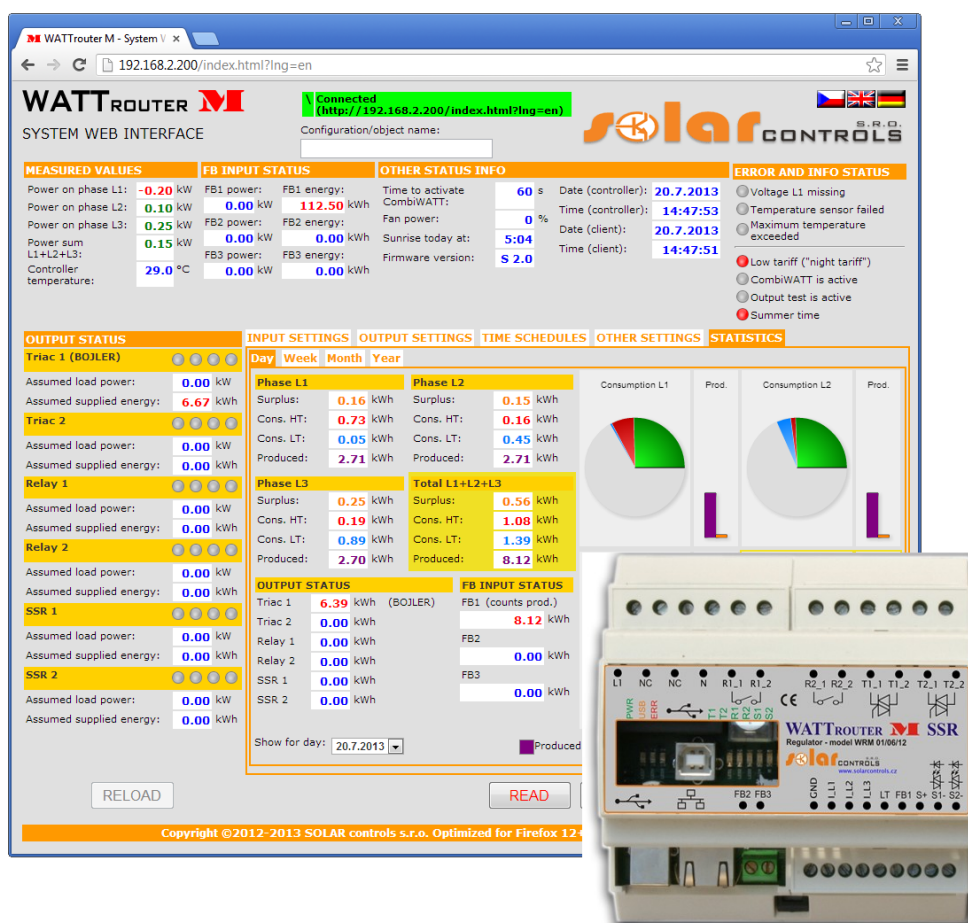
Položka	Typ	Výkon chlazení / topení (kW)	Cena
Posudky a revizní zprávy pro udělení sazby D56d			8 000 Kč
Venkovní jednotka - 2.NP	Sinclair MS-E18AI	5 / 5,6	28 094 Kč
Venkovní jednotka - 1.NP	Sinclair MS-E24AI	7,1/8,5	39 894 Kč
Vnitřní jednotka Pokoj 2.NP	Sinclair MS-H09AIC PT	2,6 / 2,8	5 651 Kč
Vnitřní jednotka Obývací pokoj + KK 2.NP	Sinclair MS-H12AIC PT	3,5 / 3,8	6 536 Kč
Vnitřní jednotka Ložnice 1.NP	Sinclair MS-H09AIC PT	2,6 / 2,8	5 651 Kč
Vnitřní jednotka Obývací pokoj 1.NP	Sinclair MS-H09AIC PT	2,6 / 2,8	5 651 Kč
Vnitřní jednotka Kuchyně 1.NP	Sinclair MS-H09AIC PT	2,6 / 2,8	5 651 Kč
Propojovací potrubí			10 000 Kč
Instalační materiál			5 000 Kč
Práce			15 000 Kč
Regulátor WATTrouter M SSR			7 127 Kč
Celkem			142 255 Kč

7.2.1 SYSTÉM ŘÍZENÍ

Pro maximální využití přebytků vyrobené elektrické energie z FVE a řízení chlazení bude instalován programovatelný regulátor WATTrouter M SSR od firmy SOLAR controls s.r.o. Regulátor optimalizuje vlastní spotřebu elektrické energie na objektech s instalovanou FV nebo větrnou elektrárnou. Regulátor, přesněji jeho měřící modul, měří proud ve všech fázích v reálném čase. Tyto proudy vyhodnocuje a spíná připojené elektrospotřebiče dle nastavených priorit.

Za daných podmínek v domě je vhodné připojit na regulátor topné těleso v zásobníku teplé vody a obě venkovní klimatizační jednotky. Toto zdvojení je výhodné pro rozdílné spínání klimatizačních jednotek pomocí regulátoru (možný nižší výkon FVE pro sepnutí zařízení) i pro rozpočítávání nákladů na vytápění, kde je možno každou jednotku osadit elektroměrem. Vnitřní klimatizační jednotky budou nastaveny v automatickém režimu na pevně nastavenou teplotu. Po sepnutí venkovní jednotky se dům začne automaticky klimatizovat či vytápět.

V otopném období je možno na regulátoru nastavit pevný čas sepnutí, může tedy plnit funkci termostatu. Doplňkový plynový kotel bude vytápět zejména koupelny a místnosti, kde nebudou instalovány vnitřní klimatizační jednotky. Prostorový termostat bude tedy umístěn v jedné z těchto místností, pravděpodobně v ložnici 2. NP.

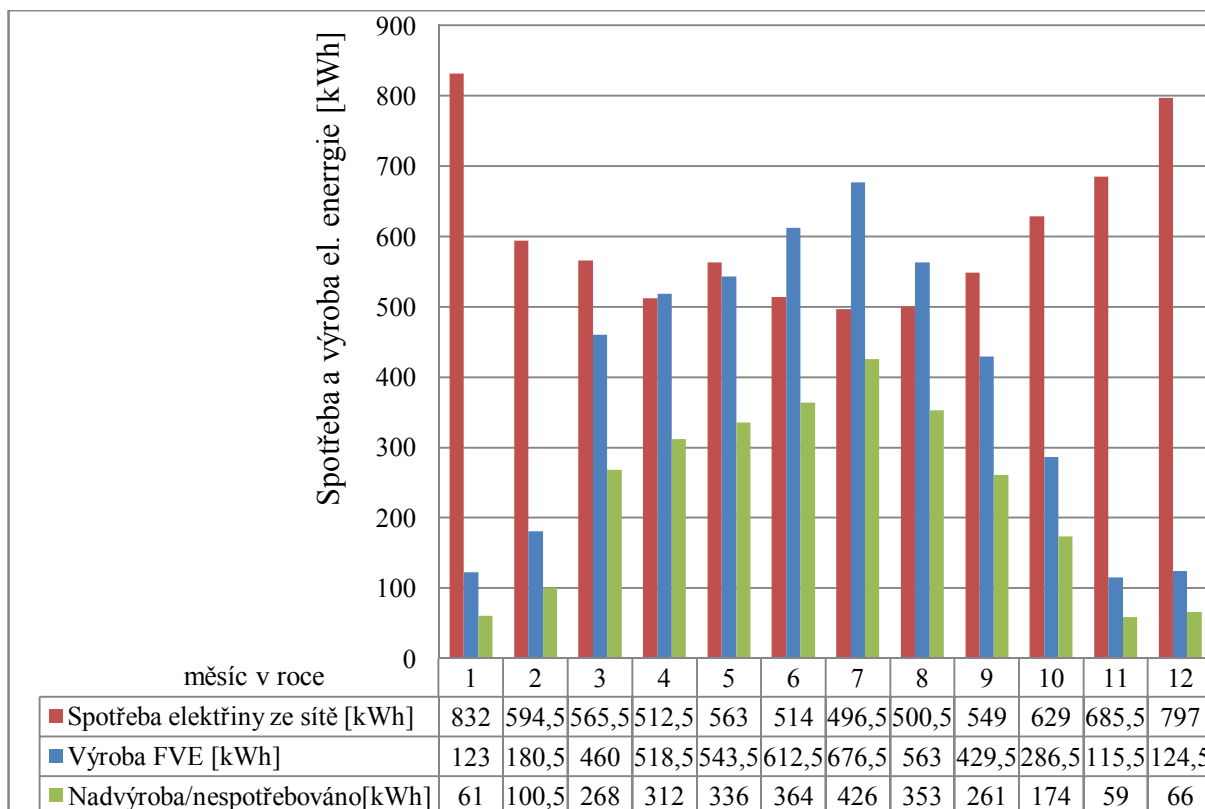


Obrázek 20 Regulátor, funkce, SW podpora [36]

8 FOTOVOLTAICKÁ ELEKTRÁRNA

8.1 VÝROBA ELEKTŘINY Z FVE

Od konce roku 2012, kdy proběhla instalace a zkušební provoz elektrárny, uběhly již dva roky. Po období zkušebního provozu již stabilně elektrárna vyrábí elektřinu a její výše je pravidelně zapisována. Bylo tedy možné hladce sestrojit graf spotřeby a výroby elektřiny v domě, tedy komplexní zmapování elektrických toků. Níže uvedený graf zobrazuje průměrné hodnoty v průběhu let za každý měsíc v roce.

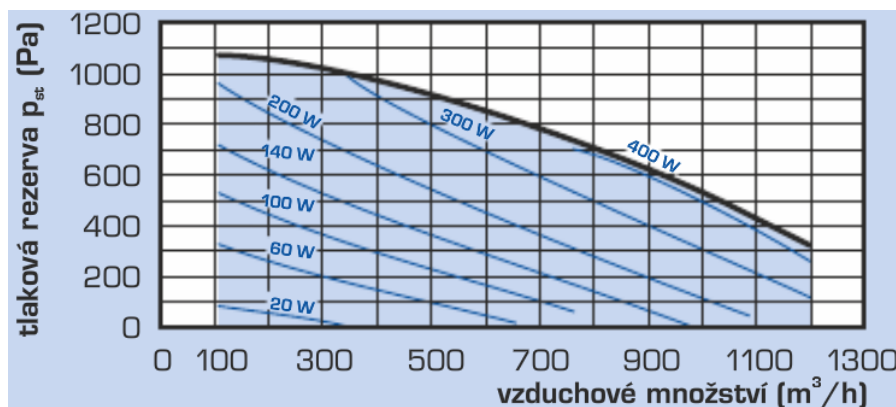


Graf 9 Spotřeba a výroba el. energie

Z grafu je patrné, že nadvýroba v letních měsících je vysoká a co se týče ekonomiky provozu, je nadvýroba nežádoucí, protože výkupní cena takovéto elektřiny je pouze 0,4 Kč/kWh. Oproti tomu se pak nakupuje ze sítě mnohem dražší elektřina ze sazby vysokého tarifu (VT). Celková nespoteřovaná elektřina je za rok 2 780,5 kWh. Budoucí snahou by mělo být snížení objemu nespoteřované elektřiny. Cílem tedy je v nejvyšší možné míře využít nespoteřovanou pomocí vhodných technologických opatření s důrazným přihlédnutím na celkovou ekonomiku objektu.

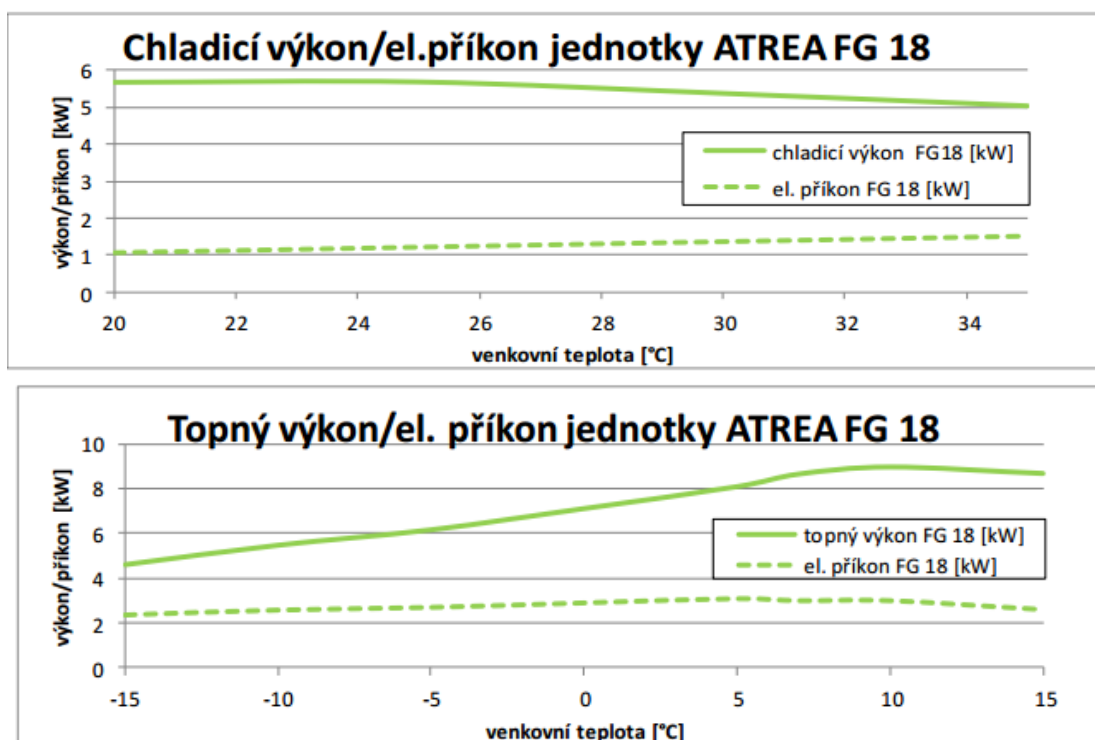
8.2 VYUŽITÍ PŘEBYTKŮ EL. ENERGIE Z FVE

Navržená vzduchotechnická jednotka může zajistit přebytky z FVE využít. Pro výpočet velikosti využití je nutno znát příkon jednotky. Při komplexním pohledu na příkon, respektive spotřebu jednotky musíme sečíst příkon ventilátoru a příkon tepelného čerpadla. Tyto parametry bylo nutno vyžádat přímo od výrobce. Potřebné parametry jsou uvedeny níže.



Graf 10 Příkon ventilátoru [28]

V grafu je uváděna křivka maximální tlakové rezervy. Jednotky obsahují funkci regulace na konstantní průtok, ventilátor je tedy automaticky regulován tak, aby zajistil požadovaný průtok. Tlaková rezerva vyjadřuje možnou tlakovou ztrátu přípojného potrubí. Další navazující graf a tabulka znázorňuje příkon venkovní jednotky, resp. tepelného čerpadla, jak v topném tak i chladicím režimu.



Graf 11 Výkony venkovní jednotky [28]

Tabulka 19 EER a COP jednotky [28]

Chlazení				Vytápění			
Venkovní teplota	celkový chladičí výkon	Příkon	EER	Venkovní teplota	Výkon	Příkon	COP
20	5,68	1,06	5,36	-15	4,6	2,35	1,96
25	5,69	1,21	4,7	-10	5,47	2,57	2,13
30	5,38	1,36	3,96	-5	6,16	2,69	2,45
35	5,04	1,51	3,33	0	7,11	2,89	2,46
				5	8,09	3,08	2,63
				7	8,65	2,99	2,89
				10	8,97	2,99	3
				15	8,68	2,59	3,35

8.2.1 CHLAZENÍ

Při potřebě chlazení RD lze tvrdit, že svítí-li slunce, pak FVE dodává vysoký elektrický výkon a tudíž bude veškerá dodávka elektrické energie pro chlazení pokryta právě z FVE. Pro výpočet chlazení bude uvažován příkon jednotky 1,36 kW pro 30 °C a příkon ventilátoru nejnepříznivějších 0,4kW vlivem možného zanesení filtrů. Celkový příkon celé rekuperační jednotky v maximální zátěži tedy uvažují 1,76 kW. Pro výpočet spotřebované elektrické bude využit vzorec, který je součtem příkonů zařízení pro poměrné využití v jednotlivých měsících: [28]

$$P_{\text{chl}} = P_{\text{řmax}} \cdot \sum n_{\text{dnů}} \cdot n_{\text{hod}} = \quad (8.1)$$

$$P_{\text{chl}} = 1,74 \cdot (15 \cdot 2 + 30 \cdot 3 + 31 \cdot 4 + 31 \cdot 4 + 15 \cdot 2) = 693 \text{ kWh}$$

Poměrné využití je zohledněno v závislosti intenzity slunečního záření a venkovní teploty [4]

8.2.2 VYTÁPĚNÍ

Při vytápění pomocí tepelného čerpadla s rekuperační jednotkou je zřejmé, že přebytky od FVE budou v zimních měsících (říjen-březen) využity všechny. Je to dané tím, že FVE má vždy v zimním období nižší výkon jak 3 kW, což je zároveň hodnota příkonu tepelného čerpadla. Suma přebytků FVE za toto období je:

$$P_{\text{přFVE}} = \sum \text{přebytků FVE} = 61 + 100,5 + 268 + 174 + 59 + 66 = 728 \text{ kWh} \quad (8.2)$$

V přechodných měsících bude vzorec obdobný jako pro chlazení. Jelikož je venkovní teplota v přechodových měsících 15 °C, bude zvolen příkon jednotky právě pro tuto teplotu a to 2,59 kW spolu s ventilátorem je pak příkon 2,99 kW.

$$P_{\text{řvyt}} = P_{\text{řmax}} \cdot \sum n_{\text{dnů}} \cdot n_{\text{hod}} = \quad (8.3)$$

$$P_{\text{řvyt}} = 2,99 \cdot (30 \cdot 2 + 16 \cdot 1 + 15 \cdot 2) = 317 \text{ kWh}$$

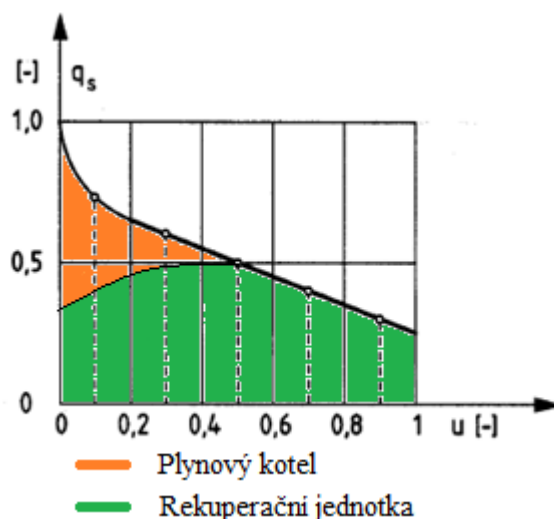
9 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

Dovolím si tvrdit, že aspekt ekonomické náročnosti je v současnosti nejdiskutovanější. Je známo nejen z médií, že investoři i realizátoři vyhledávají nabídky na technologii s nejnižší cenou. Tento postoj není podle mne zcela v pořádku, protože levná technologie či technologické řešení nemusí být v průběhu let nejlevnější, neboť v budoucím součtu cen servisních úkonů a náhradních dílů může překročit cenu samotné technologie. Je tedy důležité zahrnout do ekonomického hlediska celé spektrum aspektů.

9.1 VÝPOČET NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ PRO REKUPERAČNÍ JEDNOTKU

9.1.1 REKUPERAČNÍ JEDNOTKA

Při porovnání tepelné ztráty a výkonu větrací jednotky s tepelným čerpadlem je patrné, že výkon jednotky postačuje na pokrytí tepelné ztráty do venkovní teploty +6 °C. Udávaný výkon je 7 kW vzduchotechnické jednotky (8,09 kW TČ) a tepelná ztráta při této teplotě je 6,6 kW, jde o 50% ponížených tepelných ztrát o ztráty větráním.



Graf 12 Využití zdrojů - rekuperace

Z grafu 25 Využití zdrojů - rekuperace je možné vyčíst, že dodávané teplo pokryje z 81 % rekuperační jednotka a 19 % plynový kotel. Ze skutečně spotřebované energie na vytápění, která je vlivem instalace rekuperační jednotky ponížena na 17 MWh, dostáváme hodnotu 13,77 MWh, kterou je schopno dodat tepelné čerpadlo. COP je brán pro méně příznivé varianty - při nižší teplotě. Elektrická spotřeba čerpadla je pak:

$$P_{TČ} = \frac{Q_{TČ}}{COP} = \frac{13,77}{2,63} = 5235 \text{ kWh} \quad (9.1)$$

Cena za dodanou elektřinu TČ pak bude:

$$c_{el} = [P_{TČ} - (P_{přFVE} + P_{přVYT})] \cdot c_{el} + (P_{přFVE} + P_{přVYT}) \cdot c_{výk} = \quad (9.2)$$

$$c_{el} = [5235 - (728 + 317)] \cdot 3,97 + (728 + 317) \cdot 0,48 = 17\,143 \text{ Kč}$$

9.1.2 PLYNOVÝ KOTEL

Jako bivalentní zdroj k tepelnému čerpadlu pro vytápění bude v tomto případě plynový kotel, ten bude pokrývat 35 % až 100 % tepelných ztrát domu. Jelikož bude plynový kotel pracovat s vyšší vytižeností, bude jeho účinnost o něco nižší, uvažuji proto účinnost 101 %. Cena spotřebovaného plynu pak bude:

$$c_{pl} = \frac{Q_{vyt} - Q_{T\check{c}}}{\eta_{pl} \cdot 1\,000} \cdot c_{plMWh} = \frac{17\,000 - 13\,770}{1,01 \cdot 1\,000} \cdot 1\,400 = 4\,477 \text{ Kč} \quad (9.3)$$

Celková cena:

$$Q_s = \sum U_k \cdot A_k \cdot [(t_{rm} - t_i) + m \cdot (t_{r\psi} - t_{rm})] \quad (9.4)$$

$$CF_{rek} = c_{pl20} - (c_{el} + c_{pl}) = 28\,000 - (17\,143 + 4\,477) = 6\,380 \text{ Kč}$$

Z výpočtu je patrné, že při nákupu elektřiny ve vysokém tarifu není rozdíl cen mezi elektřinou a plynem markantní. Zvláště když část spotřeby elektřiny pokrývá FVE. Výchozí výše pro platbu je 28 000 Kč. Oproti samostatným vytápěním plynovým kotlem je tak cenové zvýhodnění 6 380 Kč.

9.1.3 DOTACE

V dotačním programu „Nová zelená úsporám“ lze požádat o dotaci na podporu instalace systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla do dokončených rodinných domů. Typově se jedná o podoblast C.4. Bohužel, žádat o podporu v této podoblasti je možné pouze v kombinaci s oblastí podpory A (Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů). Jako další podmínka je například stanoveno dosažení maximální průvzdušnosti obálky budovy $n50 \leq 2,5$ l/h. [39]

9.1.4 PROSTÁ NÁVRATNOST PRO REKUPERAČNÍ JEDNOTKU

Prostou návratnost udává podíl pořizovacích nákladů rekuperační jednotky s jejím cenovým zvýhodněním oproti platbě za zemní plyn.

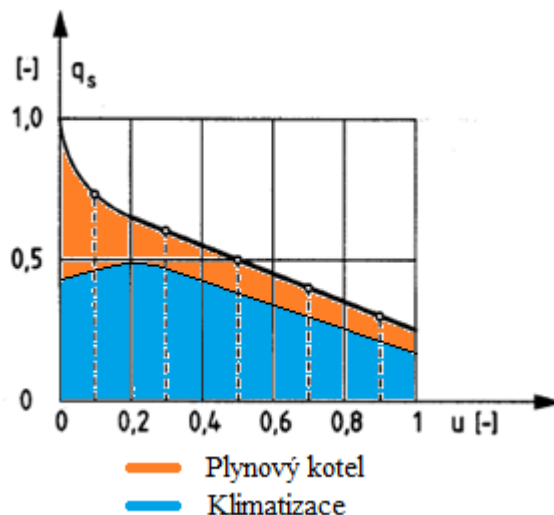
$$n_p = \frac{270\,139}{6830} = 39,6 \text{ let} \quad (9.5)$$

Výsledná návratnost je bohužel vysoká. Je to dáno vysokou tepelnou ztrátou objektu, kterou zařízení nedokáže pokrýt díky fyzikálním vlastnostem vzduchu. Při vyšším výkonu zařízení by se enormně zvětšily vzduchovody, které by bylo složité již umístit do stávajícího objektu. Další nevýhodou je současná sazba na odběr elektřiny. Pro změnu sazby pro tepelné čerpadlo D56d je nutno pokrýt alespoň 60 % tepelných ztrát domu. Rekuperační jednotka nesplňuje ani podmínku pro sazbu D45d, kde je požadavek na příkon přímotopů 40 % hlavního jističe.

9.2 VÝPOČET NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ PRO KLIMATIZAČNÍ ZAŘÍZENÍ

Prostá návratnost pro multisplitové jednotky se vypočte podobným způsobem jako pro rekuperační jednotku. Součet výkonů jednotek v 1. NP a 2. NP je 14 kW. Tento výkon pokryje přes 80 % TZ. Výkon ovšem není instalován rovnoměrně, ale bodově. Míra využití je

proto diskutabilní a velmi závisí na provozování celého systému s bivalentním kotlem. Ten musí být k dispozici pro vytápění místností tam, kde nebude instalována vnitřní klimatizační jednotka. Rozdělení energie na vytápění se pak bude řídit dle grafu 13. Plynový kotel pokrývá 30 % spotřeby energie a 70 % klimatizace.



Graf 13 Využití zdrojů - klimatizace

$$P_{\check{K}L} = \frac{Q_{vyt} \cdot 0,7}{SCOP} = \frac{20000 \cdot 0,7}{3,1} = 4516 \text{ kWh} \quad (9.6)$$

$$c_{elKL} = [P_{\check{T}\check{C}} - (P_{p\check{r}FVE} + P_{\check{c}hl})] \cdot c_{el} + (P_{p\check{r}FVE} + P_{\check{c}hl}) \cdot c_{v\check{y}k} = \quad (9.7)$$

$$c_{elKL} = [4516 - (728 + 317)] \cdot 2,7 + (728 + 317) \cdot 0,48 = 9\,873 \text{ Kč}$$

Výše dodávky elektřiny dodanou z FVE uvažují pro zjednodušení stejnou jako v předchozím případě (rekuperační jednotky).

$$c_{pIKL} = \frac{Q_{vyt} - Q_{vyt} \cdot 0,7}{\eta_{pl} \cdot 1\,000} \cdot c_{plMWh} = \frac{20\,000 - 20\,000 \cdot 0,7}{1,05 \cdot 1\,000} \cdot 1\,450 = 8\,285 \text{ Kč} \quad (9.8)$$

$$CF_{KL} = c_{pl20} - (c_{elKL} + c_{pIKL}) + c_{saz} \\ = 28\,000 - (9\,873 + 8\,285) + 9\,500 \doteq 19\,341 \text{ Kč} \quad (9.9)$$

9.2.1 PROSTÁ NÁVRATNOST KLIMATIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Rozdíl v nákladech ve vytápění zemním plynem je 9 841 Kč, při tarifu D56d však klesne cena spotřebované elektrické energie o 9 500 Kč, celkově tedy o 19 341 Kč. Tato částka je ročním peněžním tokem (CF), tj. úsporou nákladů v důsledku investice.

Prostá návratnost tedy bude:

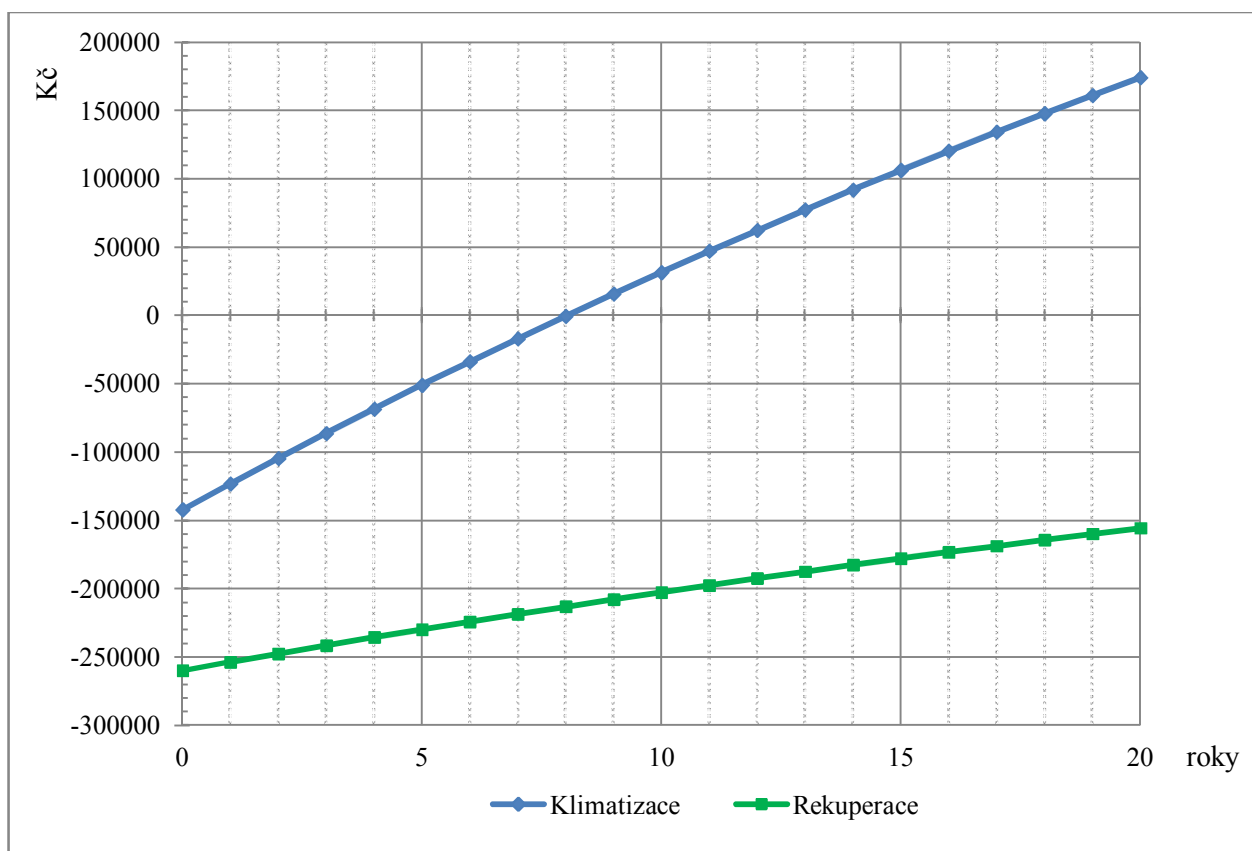
$$n_{KL} = \frac{IN}{CF_{KL}} = \frac{142\,255}{19\,341} = 7,35 \text{ le} \quad (9.10)$$

9.3 DISKONTOVANÉ CASH FLOW

Tento parametr je založen na rozdíl od prosté doby návratnosti na diskontovaném peněžním toku. Diskontem rozumíme úrok, kterým bychom byli schopni zhodnocovat investiční částku. V současné době je míra inflace velmi nízká, vzhledem k možnému uložení investice do banky, diskontní sazba bude uvažována 2 %. Vzorec pro diskontované cash flow je: [38]

$$DCF = \frac{CF}{(1 + i)^n} \quad (9.11)$$

Po dosažení výše uvedených hodnot do vzorce dostáváme graf kumulativního diskontovaného cash flow obou variant. Životnost zařízení bude uvažována optimistických 20 let.



Graf 14 Kumulativní diskontované cash flow

ZÁVĚR

V první části této diplomové práce jsem posuzoval vhodnost osazení moderního kondenzačního kotle na stávající domovní rozvody s otopnými tělesy. Z výpočtu vyplývá, že domovní rozvody jsou značně předimenzované, a to až o několik rozměrů potrubí. Tato skutečnost je příznivá pro tlakovou ztrátu v celém systému a současně pro nižší práci čerpadla, ale na druhou stranu je méně příznivá pro dopravní zpoždění otopné vody, díky kterému není systém dynamický a má sklony k přetápění místností. Otopná tělesa v součtu výkonů pokrývají tepelnou ztrátu i pro nižší venkovní teploty, než pro které byly původně navrženy. Tento stav se odvíjí od bývalého zateplení domu. Díky vysoké regulační schopnosti kotle je možné tento systém provozovat jako nízkoteplotní, tímto je dosaženo pokročilé kondenzace při roční účinnosti 107 %. Pro druhé nadzemní podlaží doporučuji osadit otopná tělesa programovatelnými termostatickými hlavicemi a to z důvodu nepřítomnosti osob v 2. NP, zatímco v 1. NP je přítomnost osob nepřetržitá. Existuje předpoklad, že tímto krokem se ještě sníží spotřeba zemního plynu vlivem prodloužení útlumové doby.

Následující část diplomové práce je zaměřena na zvýšení komfortu bydlení pomocí řízeného větrání s rekuperací a chlazením v letních měsících. Navržená větrací jednotka by bezesporu zvýšení komfortu zajistila, bohužel s přihlédnutím k pořizovací ceně, návratnosti i velikosti stavebních úprav, je instalace nereálná. Návratnost rekuperační jednotky výrazně nesníží ani spojení s instalovanou FVE, i když cena spotřebované elektrické energie za chlazení je velice nízká. Výrazný posun v investičních nákladech i době návratnosti nastal u instalace multisplitové klimatizace. Tento fakt výrazně podpoří i možná změna sazby elektřiny při pokrytí daných 60 % tepelných ztrát domu. Pro další snížení energetické náročnosti je doporučena instalace klimatizačního zařízení.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PETRÁŠ, Dušan. *Vytápění rodinných a bytových domů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005, 246 s. Vytápění. ISBN 80-807-6020-9.
- [2] PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2008, 207 s. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [3] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: GAS, 2001, 1122 s. ISBN 80-86176-82-7.
- [4] CHYSKÝ, Jaroslav. *Větrání a klimatizace*. Vyd. 3., zcela přeprac. Praha: Česká Matica technická, 1993, 490 s. ISBN 80-901-5740-8.
- [5] ZMRHAL, Vladimír. *Větrání rodinných a bytových domů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2014, 93 s. Profi. ISBN 978-80-247-4573-2.
- [6] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav, Milan KUBÍN a Petr FISCHER. *Vytápění rodinných domků*. Vyd. 1. Praha: T. Malina, 1996, 488 s. ISBN 80-901975-2-3.
- [7] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [8] ČSN 73 0548. *Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1986.
- [9] Pavlíček, M. *Návrh na vytápění rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Zárybnická.
- [10] Topenářství, instalace: Časopis pro vytápění, instalace, vzduchotechniku a ekologii. *Kondenzační kotle – nové možnosti*. 2003, č. 7. DOI: topenářství. Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?id=72150&di=7>
- [11] Talia Green System Evo. *FLOW CLIMA* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.flowclima.cz/chaffoteaux/talia-green-system-evo>
- [12] Lintech Solar. *LS PREMIUM* [online]. © 2009-2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.lintech-solar.cz/rada-ls-premium>
- [13] 2.14 NB neutralizační boxy. *AQUA product* [online]. © 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.aquaproduct.cz/neutralizacni-zarizeni--neutralizace-kyseleho-kondenzatu-p>
- [14] 2.14 NB neutralizační boxy. *AQUA product* [online]. © 2006 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.aquaproduct.cz/pictures/images/2-14.jpg>
- [15] VAVŘIČKA, Roman. VYTÁPĚNÍ: Přepočet tepelného výkonu u otopných těles. *ČVUT v Praze* [online]. 2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/VYT_cv_4_2011.pdf

- [16] TREUOVÁ, Lea. OTOPNÁ TĚLESA. *VUT v Brně* [online]. 2010 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/tzb/treuova.l/bt03_s/3_otopna_telesa_theorie_bt03.pdf
- [17] ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY. In: *KORADO* [online]. 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.korado.cz/file/cms/cs/vyrobky/radik/technicke_parametry/korado_tech_param_radik_klasik_klasik_z_vk_vk_z_vku_vkl_vkm_mm.pdf?v=20140328103711
- [18] Návod k montáži: TALIA GREEN EVO SYSTEM. *FLOW clima* [online]. 2012 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.flowclima.cz/sites/default/files/styles/doc300/public/talia_green_system_evo_montaz.png?itok=812FIxJ6
- [19] Kondenzační kotel pro každého (I). VALENTA, Vladimír. *TZB-info* [online]. 1.2.2002 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>
- [20] VALENTA, Vladimír. Účinnost plynových kotlů při cyklování. *TZB-info* [online]. 3.2.2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/vytapime-plynem/10826-ucinnost-plynovych-kotlu-pri-cyklovani>
- [21] Návod k obsluze a instalaci kotle. *Viadrus* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: www.viadrus.cz/doc/cms_library/manual_g32-124.pdf
- [22] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Hodnoty součinitelů místních ztrát: T-kusy a křížení. *TZB-info* [online]. © 2001-2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>
- [23] POSTUP VÝPOČTU: TEPLOVODNÍ DVOUSTRUBKOVÉ OTOPNÉ SOUSTAVY. KABELE, Karel. *ČVUT v Praze: Katedra technického zařízení budov* [online]. 2010 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/89/tz1-navrh-otopne-soustavy-uloha-5/vypocet-etazove-soustavy.doc>
- [24] Dimenzování otopných soustav (DIMOS). *Protech* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.protech.cz/produkty/dimenzovani-otopnych-soustav/dimenzovani-otopnych-soustav>
- [25] Firemní podklady. *FLOW CLIMA* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.flowclima.cz/zona-pro-servis>
- [26] Expanzní nádoba Reflex F 24/3. *EKOINSTOP* [online]. 2012 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.ekoinstop.cz/topeni/expanzni-nadoby/expanzni-nadoba-reflex-f-24-3>
- [27] Ceník EKOPLASTIK. *WAVIN* [online]. © 2010-2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.wavin.cz/?download=cenik/wavin_ceniky_vnitri-instalace.xls
- [28] *ATREA: PŘEDNÍ VÝROBCE VZDUCHOTECHNIKY NA ČESKÉM TRHU* [online]. © 1998-2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/>
- [29] *NILAN: Větrání s rekuperací* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.nilan.cz/>

- [30] Multi klime i raspon snage. *Klima uredjaji* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://klimauredjaj.net/wp-content/uploads/2011/04/multi-klima-uredjaji-2.jpg>
- [31] Chladicí okruh - princip funkce. *SCHIESSL* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.schiessl.cz/mapa-chladici-okruh-princip-funkce-118>
- [32] ZMRHAL, Vladimír. Výpočet tepelné zátěže. *ČVUT v Praze: Fakulta strojní* [online]. 17.10.2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Projekt3/Podklady/01_Vypocet%20tepelne%20zateze.pdf
- [33] Sinclair. *LEDOfm: Chladicí, mrazicí a gastro zařízení* [online]. © 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.ledofm.cz/prilohy/multi-combi-venkovni-ve-spojenni-s-ruznymi-druhy-vnitrnich-jednotek_1362747698.jpg
- [34] *Klimatizacedodomu.cz: Tepelná čerpadla - klimatizace* [online]. © 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.klimatizacedodomu.cz/>
- [35] *BAXX: Specializovaný eshop na tepelná čerpadla a klimatizace* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.baxx.cz/>
- [36] *SOLAR controls s.r.o.: Elektronické systémy pro obnovitelné zdroje, domovní automatizace* [online]. © 2010-2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.solarcontrols.cz/>
- [37] Produkty SINCLAIR: Multi combi série. *NEPA* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://www.nepa.cz/cs/produkty-sinclair/multi-system-serie/venkovni-jednotky-multi-serie/ms-e36ai/_files/sinclair-catalogue-split-2014-cz-multi-system.pdf
- [38] Cash flow. *Algoritmy.net* [online]. 2008 - 2015 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.algoritmy.net/article/127/Cash-flow>
- [39] Podmínky oblasti podpory C. *Nová zelená úsporám* [online]. 2015 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/podminky-oblasti-podpory-c/>
- [40] Princip klimatizace. *Vzduchotechnika a klimatizace: výroba, prodej, montáž, servis* [online]. 2014 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.vychladni.cz/princip-klimatizace>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[m ²]	Plocha
A _i	[m ²]	Podlahová plocha
d	[m]	Tloušťka materiálu
f	[-]	Součinitel prostupu tepla do okolních stavebních částí
f _{RH}	[-]	Zátopový součinitel
H _{Ti}	[W/K]	Celkový součinitel ztráty prostupem
H _{vi}	[W/K]	Celkový součinitel ztráty větráním
n _{min}	[h ⁻¹]	Nejmenší intenzita výměny vzduchu
R	[m ² K/W]	Tepelný odpor
U	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla
V	[m ³]	Objem
λ	[W/mK]	Součinitel tepelné vodivosti
Θ _e	[°C]	Výpočtová venkovní teplota
Θ _i	[W]	Návrhová tepelná ztráta
Θ _{int}	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota
Θ _{Ti}	[W]	Celková tepelná ztráta prostupem
Θ _{vi}	[W]	Celková tepelná ztráta větráním
Q _T	[W]	Tepelný výkon otopného tělesa
S	[m ²]	Plocha povrchu tělesa
t _i	[°C]	Výpočtová vnitřní teplota
k	[-]	Součinitel prostupu tepla stěnou
Q _{OT}	[W]	Skutečný tepelný výkon otopného tělesa
Q _N	[W]	Normovaný výkon otopného tělesa
f _{Δt}	[-]	Opravný součinitel teplotního rozdílu topné vody
f _m	[-]	Opravný součinitel ochlazení otopné vody
f _x	[-]	Opravný součinitel připojení tělesa
f _o	[-]	Opravný součinitel úpravy okolí tělesa
f _n	[-]	Opravný součinitel počtu článků tělesa
f _p	[-]	Opravný součinitel umístění tělesa ve vytápěném prostoru
s	[-]	Součinitel pro přepočet otopných těles
t _{w1}	[°C]	Teplota přívodní vody do otopného tělesa
t _{w2}	[°C]	Teplota vratné vody do otopného tělesa

Δt_{in}	[°C]	Teplotní rozdíl středního logaritmického spádu
Δt_N	[°C]	Teplotní rozdíl z měření jmenovitého výkonu
n	[-]	Teplotní exponent tělesa
CH_4	[-]	Metan
λ	[-]	Přebytek vzduchu pro spalování
q_s	[-]	Poměrný tepelný výkon
u	[-]	Poměrná doba výskytu poměrného výkonu
q_k	[-]	Poměrný výkon
η_r	[-]	Relativní účinnost
Q_{sn}	[W]	Maximální využitelný výkon v dané otopné soustavě
Q_{kn}	[W]	Maximální výkon kotle
Δu_i	[W]	Délka úseku poměrného výkonu
E_v	[kWh]	Využité teplo za rok
E_p	[kWh]	Teplo přivedené v palivu za rok
η_{rok}	[-]	Roční účinnost kotle
SP_{min}	[MWh]	Spotřebovaný zemní plyn v minulých obdobích
η_{roz}	[-]	Rozdíl účinností kotlů
N_{MWh}	[Kč]	Náklady na 1 MWh zemního plynu
N_{p120}	[Kč]	Budoucí náklady za platbu zemního plynu
p_s	[Pa]	Hydrostatický přetlak
H	[m]	Výška
g	[m/s]	Tíhové zrychlení
ρ	[kg/m ³]	Hustota
p_c	[Pa]	Dynamický tlak
$\Delta p_{\check{c}}$	[Pa]	Dynamický tlak čerpadla
Δp_p	[Pa]	Účinný vztlak
x	[-]	Započítaný podíl účinného vztlaku
Δp_s	[Pa]	Celková tlaková ztráta
Δp_{st}	[Pa]	Tlaková ztráta třením
Δp_{so}	[Pa]	Tlaková ztráta místními odpory
R	[Pa/m]	Měrná tlaková ztráta třením
L	[m]	Délka úseku
λ	[-]	Součinitel tření

w	[m/s]	Rychlost proudění
d	[m]	Vnitřní průměr potrubí
k	[m]	Absolutní povrchová drsnost
ν	[m ² /s]	Kinematická viskozita
ζ	[-]	Součinitel místního odporu
Q	[W]	Přenášený tepelný výkon
c	[kJ/kg]	Měrná tepelná kapacita vody
Δt	[K]	Teplotní spád
\dot{m}	[kg/s]	Hmotnostní průtok
π	[-]	Ludolfovo číslo
Q _l	[W]	Teplo od lidí
i _l	[-]	Počet osob
i _ž	[-]	Počet žen
i _m	[-]	Počet mužů
i _d	[-]	Počet dětí
Q _e	[W]	Teplo od elektronických zařízení
c ₁	[-]	Součinitel současnosti el. zařízení
c ₃	[-]	Průměrné zatížení el. zařízení
P	[W]	Příkon el. zařízení
Q _{ok}	[W]	Tepelný zisk prostupem tepla oknem
S _o	[m ²]	Plocha okna
U _o	[W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla okna pro rám i zasklení
T _e	[K]	Teplota venkovního prostředí
T _i	[K]	Teplota interiéru
Q _{or}	[W]	Tepelný zisk sluneční radiací oknem
S _{os}	[m ²]	Osluněná plocha zasklení oken
I _o	[W/m ²]	Celková intenzita sluneční radiace procházející standardním oknem
I _{odiff}	[W/m ²]	Celk. intenzita difúzní sluneční radiace procházející standardním oknem
s	[-]	Součin stínících součinitelů
l _A	[m]	Šířka zasklení
l _B	[m]	Výška zasklení
e ₁	[m]	Délka stínu od okraje slunolamu
e ₂	[m]	Délka stínu od okraje slunolamu

f	[m]	Odstup svislé části okna od slunolamu
g	[m]	Odstup vodorovné části okna od slunolamu
d	[m]	Hloubka rámu okna
c	[m]	Hloubka okna
a	[°]	Sluneční azimut
γ	[°]	Azimut slunce k normále uvažované stěny
I_{Dk}	[W/m ²]	Intenzita sluneční radiace při průchodu zneč. atmosférou
H	[m]	Nadmořská výška
z	[-]	Znečištění atmosféry
I_d	[W/m ²]	Intenzita difúzní sluneční radiace
I_{odiff}	[W/m ²]	Intenzita dif. sluneční radiace procházející standardním jednoduchým zasklením
T_d	[-]	Sluneční konstanta
θ	[°]	Úhel mezi normálou osluněného povrchu a směrem slunečních paprsků
α	[°]	Úhel stěny s vodorovnou rovinou vzatý na straně odvrácené od slunce
I_D	[W/m ²]	Intenzita přímé sluneční radiace na plochu libovolnou ke slunečním paprskům
T_{Dp}	[W/m ²]	Celková poměrná tepelná propustnost přímé sluneční radiace
I_o	[W/m ²]	Celková intenzita sluneční rad. procházející standardním jednoduchým sklem
Q_s	[W]	Tepelné zisky venkovní stěnou
t_{rm}	[°C]	Průměrná rovnocenná sluneční teplota vzduchu za 24 hodin
$t_{r\psi}$	[°C]	Rovnocenná sluneční teplota v době o ψ dřívější v 14 hodin
m	[-]	Součinitel zmenšení teplotního kolísání při prostupu tepla stěnou
Q_c	[W]	Celková tepelná zátěž místnosti
FVE	[-]	Fotovoltaická elektrárna
EER	[-]	Chladicí faktor
COP	[-]	Topný faktor
SCOP	[-]	Roční topný faktor
P_{chl}	[kWh]	Spotřeba el. energie pro chlazení rekuperační jednotkou
$P_{přFVE}$	[kWh]	Spotřeba el. energie pro vytápění z výroby FVE rekuperační jednotkou
$P_{řvyt}$	[kWh]	Spotřeba el. energie z výroby FVE pro vytápění v přechod. měsících
$P_{řTČ}$	[kWh]	Spotřeba el. energie pro vytápění rekuperační jednotky
c_{el}	[Kč/kWh]	Cena za spotřebovanou elektřinu rekuperační jednotky
$c_{výk}$	[Kč/kWh]	Cena za výkup přebytečné elektřiny z FVE
c_{pl}	[Kč/MWh]	Cena za spotřebovaný plyn při vytápění rekuperační jednotkou

c_{pMWh}	[Kč/MWh]	Cena za dodaný plyn
CF_{rek}	[Kč]	Peněžní tok při instalaci rekuperační jednotky
n_p	[-]	Prostá návratnost rekuperační jednotky
$Př_{KL}$	[kWh]	Spotřeba el. energie pro vytápění klimatizační jednotkou
c_{elKL}	[Kč/kWh]	Cena za spotřebovanou elektřinu klimatizační jednotkou
c_{pIKL}	[Kč]	Cena za spotřebovaný plyn při vytápění klimatizační jednotkou
CF_{KL}	[Kč]	Peněžní tok při instalaci klimatizační jednotky
n_{KL}	[-]	Prostá návratnost klimatizační jednotky
DCF	[-]	Diskontované cash flow
n	[%]	Diskontní sazba

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Modelový dům.....	12
Obrázek 2 Půdorys1.NP	13
Obrázek 3 Půdorys 2.NP	13
Obrázek 4 řez kotlem Chaffoteaux [11].....	14
Obrázek 5 Instalované FV panely a měnič napětí	15
Obrázek 6 Neutralizační box [14].....	18
Obrázek 8 Charakteristika kondenzačního kotle [10].....	27
Obrázek 9 Schéma zapojení [25].....	40
Obrázek 10 Půdorys domu – přepojení.....	41
Obrázek 11 Programovatelná hlavice[26].....	42
Obrázek 12 Princip rekuperace[28]	43
Obrázek 13 Aktivní rekuperace- topný režim[29].....	44
Obrázek 14 Chladicí kompresorový okruh[31].....	44
Obrázek 15 Multi SPLIT klimatizace [30].....	45
Obrázek 16 Parametry slunolamu [32]	47
Obrázek 17 Pohyb slunce po obloze[32].....	48
Obrázek 18 Sestava technologie [28].....	50
Obrázek 19 Průběh výkonu jednotky RK4[23]	51
Obrázek 20 Klimatizace Sinclair [33].....	52
Obrázek 21 Regulátor, funkce, SW podpora [36]	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Teplotní údaje [7]	16
Tabulka 2 Výpočet U hodnoty [7]	16
Tabulka 3 Výpočet tepelné ztráty místnosti	16
Tabulka 4 Celkový tepelný příkon	17
Tabulka 5 Vypočtené výkony otopných těles 70/45 °C	20
Tabulka 6 Vypočtené výkony otopných těles 59/35 °C	21
Tabulka 7 Charakteristika otopné soustavy	22
Tabulka 8 Hodnoty poměrných výkonů	27
Tabulka 9 Součinitelé místních ztrát I.[20]	34
Tabulka 10 Součinitelé místních ztrát II.[23]	35
Tabulka 11 Doporučené měrné tlakové ztráty[1]	36
Tabulka 12 Výpočet ztrát v potrubí	37
Tabulka 13 Nastavení regulačních prvků	39
Tabulka 14 Cena rozdělení okruhů vytápění [26,27]	40
Tabulka 15 Ceník programovatelných hlavíc [26]	42
Tabulka 16 Potřebný chladicí výkon	49
Tabulka 17 Cena rekuperace	51
Tabulka 18 Sestava klimatizace [34,35,36,37]	52
Tabulka 19 EER a COP jednotky [28]	56

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Charakteristika otopného systému	22
Graf 2 Ekvitermní křivky [18].....	23
Graf 3 Výstupní teploty	24
Graf 4 Teplota rosného bodu.....	25
Graf 5 Entalpický diagram spalin metanu [19]	26
Graf 6 Charakteristika klimatu[10].....	27
Graf 7 Charakteristika kondenzačního kotle [10].....	27
Graf 8 Charakteristika instalovaného kotle	28
Graf 9 Spotřeba a výroba el. energie.....	54
Graf 10 Příkon ventilátoru [28]	55
Graf 11 Výkony venkovní jednotky [28]	55
Graf 12 Využití zdrojů - rekuperace	57
Graf 13 Využití zdrojů - klimatizace	59
Graf 14 Kumulativní diskontované cash flow	60

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 Současná technologie - půdorys

Příloha č. 2 Technologické schéma zapojení

Příloha č. 3 Umístění klimatizačních jednotek