



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU

HEATING SYSTEM OF A LOW-ENERGY HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Mario Jankola

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Mario Jankola**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Návrh vytápění nízkoenergetického rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Malá spotřeba tepla na vytápění u nízkoenergetických a pasivních domů vedla k používání elektrických kotlů jako zdroje tepla. Z ekologického hlediska je však toto řešení neefektivní, neboť produkce elektřiny je provázána značnou spotřebou neobnovitelných zdrojů a tím i produkce CO₂.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce je navrhnout vytápění nízkoenergetického rodinného domu tepelným čerpadlem a nízkoteplotním kondenzačním kotlem. V rámci diplomové práce bude navržena otopná soustava, provedeny potřebné výpočty pro dimenzování otopné soustavy a vypracována příslušná výkresová dokumentace.

Seznam literatury:

Chyský, J., Hemzal, K., (1993): Větrání a klimatizace, Technický průvodce, svazek 31, Praha

Šzékyová, M., Ferstl, K., Nový, R. (2006): Větrání a klimatizace. JAGA, Bratislava.

ČSN EN 12 831 (2005): Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu. ÚNMZ. Praha

Bašta, J. (2007): Regulace vytápění. Nakladatelství ČVUT, Praha.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem vytápění nízkoenergetického rodinného domu tepelným čerpadlem (varianta 1) a nízkoteplotním kondenzačním kotlem (varianta 2). První část práce obsahuje výpočty návrhového tepelného výkonu budovy a podlahového vytápění. Ve druhé části je vypočítán sezónní topný faktor pro soustavu s tepelným čerpadlem. Na základě výpočtů je zvoleno zapojení obou zdrojů tepla, vypočítán objem zásobníku teplé vody a zvoleny bezpečnostní prvky soustavy. Dále je navržen systém regulace ohřevu teplé vody a vypočítány křivky ekvitermní regulace pro vytápění. Obě navržené varianty vytápění obsahují kalkulaci pořizovacích a provozních nákladů a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

tepelná ztráta, podlahové vytápění, sezónní topný faktor, tepelné čerpadlo, kondenzační kotel

ABSTRACT

This master's thesis pertains to heating practices of low-energy houses using a heat pump (example 1) and low-temperature condensing boiler (example 2). The first part of the work contains calculations of suggested building's heat efficiency and of under-floor heating. The second part of the work includes estimates of seasonal heating factors for construction with a heat pump. Based on the comparison: both of these heating systems are recommended; the capacity of the warm water container is established; and safety elements are chosen. Furthermore, a system of regulation for warm water heating is determined, and a curve of equithermal regulation for heating is calculated. Both of the recommended heating possibilities include calculations of costs of supplies and manufacturing, as well as blueprints for construction.

KEY WORDS

heat loss, under-floor heating, seasonal performance factor, heat pump, condensing boiler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANKOLA, M. *Návrh vytápění nízkoenergetického rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 101 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh vytápění nízkoenergetického rodinného domu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

Mario Jankola

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Katolickému, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

1 ÚVOD	11
2 CHARAKTERISTIKA RODINNÉHO DOMU	12
2.1 OBVODOVÝ PLÁŠŤ, STŘECHA A PODLAHA	13
2.2 VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ DOMU	16
2.3 KLIMATICKÉ ÚDAJE	17
3 VĚTRÁNÍ A VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH RODINNÝCH DOMŮ	18
3.1 VĚTRÁNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH RODINNÝCH DOMŮ	18
3.1.1 Větrání se zpětným získáváním tepla (ZZT)	19
3.2 VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH RODINNÝCH DOMŮ	20
3.2.1 Zdroje tepla	21
4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	22
4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY PROSTUPEM	23
4.1.1 Výpočet součinitele prostupu tepla	23
4.1.2 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí	24
4.1.3 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem	24
4.1.4 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy	24
4.1.5 Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách	25
4.1.6 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	25
4.2 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM	25
4.2.1 Infiltrace obvodovým pláštěm budovy – množství vzduchu	25
4.2.2 Přiváděné množství vzduchu	25
4.2.3 Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu	26
4.2.4 Návrhová tepelná ztráta větráním	26
4.3 ZÁTOPOVÝ TEPELNÝ VÝKON	26
4.4 CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA	26
5 NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY	27
5.1 NÁVRH A VÝPOČET PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ	27
5.2 HYDRAULICKÝ VÝPOČET	31
5.3 VOLBA OBĚHOVÉHO ČERPADLA	36
5.4 ZDROJEM TEPLA TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH-VODA	37
5.4.1 Výpočet SPF	37
5.4.2 Zapojení TČ do soustavy	47
5.4.3 Návrh bezpečnostních prvků soustavy s TČ	47
5.5 ZDROJEM TEPLA KONDENZAČNÍ PLYNOVÝ KOTEL	49
5.5.1 Zapojení kondenzačního kotle do soustavy	49

5.5.2	Návrh bezpečnostních prvků soustavy s kondenzačním kotlem	50
5.6	STANOVENÍ KŘIVKY ODBĚRU A DODÁVKY TEPLA, STANOVENÍ OBJEMU ZÁSOBNÍKU PRO OHŘEV TV.....	51
5.6.1	Výpočet denní spotřeby tepla a ztráty tepla vedením v potrubí	51
5.6.2	Výsledný průběh křivek	52
5.6.3	Stanovení objemu zásobníku pro ohřev TV	53
5.7	VOLBA TŘÍCESTNÉHO VENTILU	53
5.8	EKVITERMNÍ REGULACE A ŘÍZENÍ NA POŽADOVANOU TEPLITU TV	53
6	POŘIZOVACÍ NÁKLADY	56
7	PROVOZNÍ NÁKLADY A POROVNÁNÍ.....	60
8	ZÁVĚR	61
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
10	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
11	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71
12	SEZNAM TABULEK.....	72
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

1 ÚVOD

Trendem dnešní doby je stavět budovy v nízkoenergetickém či pasivním standardu. Tyto typy staveb se vyznačují nízkými potřebami tepla na vytápění, vzduchotěsností a pasivními tepelnými zisky. Z důvodu vysoké vzduchotěsnosti je prakticky nemožné takové stavby větrat pouze přirozeným větráním, nejčastějším řešením je použití nuceného větrání se zpětným získáváním, tzv. rekuperací tepla. Vytápění bývá zajištěno dvěma zdroji – primárním a bivalentním. Primární zdroj se navrhuje na větší část tepelné ztráty objektu, bivalentní zdroj slouží pro vykrytí maximálních tepelných ztrát v několika nejchladnějších dnech roku. Vytápění bývá řešeno zpravidla teplovzdušným vytápěcím systémem, který využívá vzduchotechnické rozvody také k distribuci tepla. Vzduch je ohříván elektrickým ohříváčem nebo teplovodním výměníkem napojeným do systému na ohřev teplé vody.

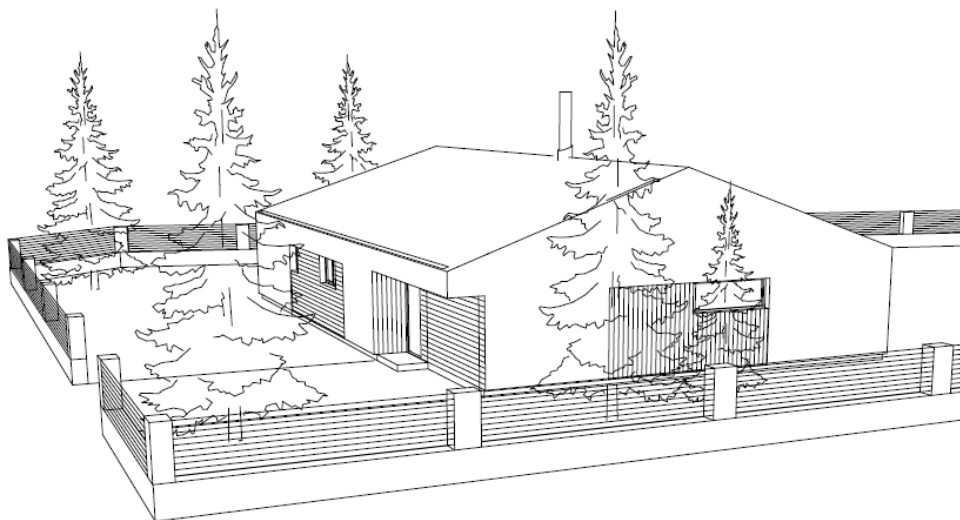
Při návrhu vytápění s klasickou otopnou soustavou je vhodné volit velkoplošné vytápění, nejčastěji podlahové. Přenos tepla z podlahy je tvořen převážně sáláním (podle [1] asi 55 %). Teplota vody v těchto systémech bývá jen o několik stupňů vyšší, než je požadovaná teplota vzduchu v místnosti, a proto je vhodné tyto soustavy kombinovat s nízkoteplotními zdroji tepla, mezi které patří například tepelná čerpadla nebo kondenzační kotle.

Výsledkem práce je zhodnocení a porovnání použití klasické otopné soustavy oproti teplovzdušnému vytápění na konkrétním nízkoenergetickém rodinném domě. Jedná se o novostavbu v Doloplazech u Olomouce, která je vytápěna teplovzdušným vytápěcím systémem doplněným o křbová kamna.

Cílem práce je výpočet tepelných ztrát daného objektu a návrh vhodné otopné soustavy, do které bude teplo dodáváno tepelným čerpadlem (varianta 1) nebo nízkoteplotním kondenzačním kotlem (varianta 2). Práce obsahuje také porovnání pořizovacích nákladů jednotlivých variant se stávajícím řešením vytápění, porovnání návratnosti investice a výkresovou dokumentaci.

2 CHARAKTERISTIKA RODINNÉHO DOMU

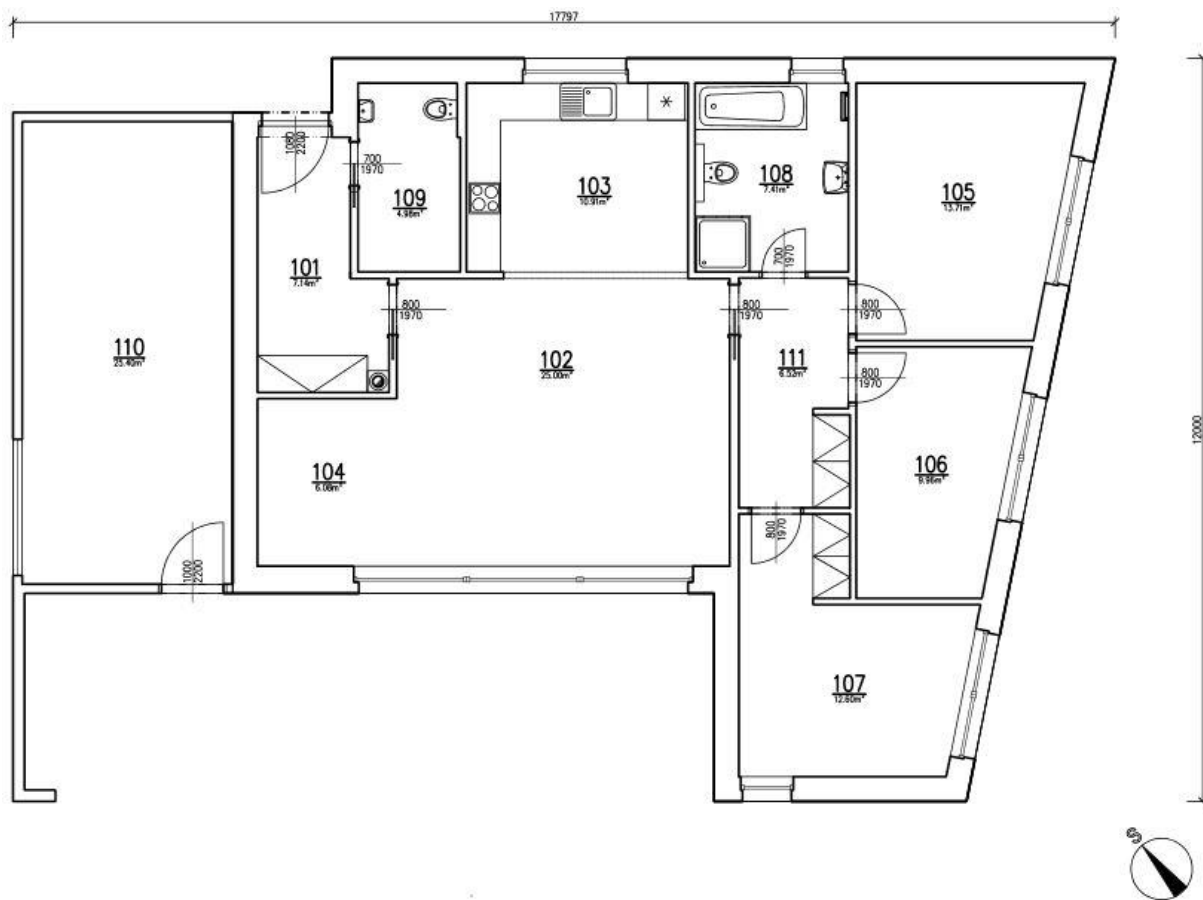
Jedná se o volně stojící novostavbu jednopodlažního rodinného domu v obci Doloplazy u Olomouce (viz Obr. 1 a Obr. 2). V domě se nachází zádveří, prostorný obývací pokoj se zvýšeným stropem, kuchyň, koupelna se záchodem, ložnice, dva samostatné pokoje, chodba, technická místnost, garáž a terasa. Celková podlahová plocha je 167 m². Dispoziční rozmístění místností je zobrazeno na Obr. 3, popis jednotlivých místností pak v Tab. 1. Stavební výkresy jsou uvedeny v příloze P7.



Obr. 1 Perspektiva objektu [2]



Obr. 2 Novostavba rodinného domu



Obr. 3 Půdorys objektu

Tab. 1 Označení jednotlivých místností

Ozn.	Název	Plocha [m ²]	Ozn.	Název	Plocha [m ²]
101	Zádveří	7,14	107	Pokoj	12,60
102	Obývací pokoj	25,00	108	Koupelna	7,41
103	Kuchyň	10,91	109	Technická místnost	4,98
104	Hrací kout	6,08	110	Garáž	25,40
105	Ložnice	13,71	111	Chodba	6,52
106	Pokoj	9,96		Terasa	37,33

2.1 Obvodový plášť, střecha a podlaha

Daný objekt je dřevostavbou. Tyto druhy staveb se označují za „lehké“ a to z důvodu nízké měrné hmotnosti stavebních materiálů. Mezi výhody dřevostaveb se řadí především rychlost výstavby, obzvláště u konstrukcí tvořených z prefabrikovaných panelů, které se na stavbě pouze smontují. Hlavní nevýhodou je náchylnost na z kondenzovanou vlhkost uvnitř konstrukce, která by měla za následek snížení životnosti.

Obvodové a nosné konstrukce tvoří stavební systém NOVATOP – velkoformátové komponenty vyráběné z křížem vrstveného masivního dřeva (CLT – Cross Laminated Timber) [3]. Tento systém je difuzně otevřený, což znamená, že hodnota difuzního odporu se směrem z interiéru do exteriéru snižuje. V praxi to znamená, že při zvýšené vnitřní vlhkosti může být část vlhkosti absorbována samotným panelem, ale především může prostupovat konstrukcí dále do exteriéru. Díky těmto vlastnostem není potřeba použití fóliové parozábrany, čímž odpadá hlavní problematika spojená s montáží dřevostaveb.

Vnější opláštění budovy je tvořeno dvěma skladbami, které se liší především typem izolace, kterým je grafitový polystyren a PIR izolace. Vnitřní příčky jsou tvořeny sádrokartonovými stěnami.

Sedlová střecha se sklonem 19° se skládá z příhradových střešních vazníků izolovaných foukanou celulózou a ocelovou poplastovanou profilovou krytinou.

V obytné části domu je skladba podlahy téměř totožná. Pouze v zádveří, kuchyni a koupelně je horní vrstvou keramická dlažba, v ostatních místnostech je podlaha pokryta průmyslovou mozaikou. V garáži je betonová podlaha s cementopískovým potěrem.

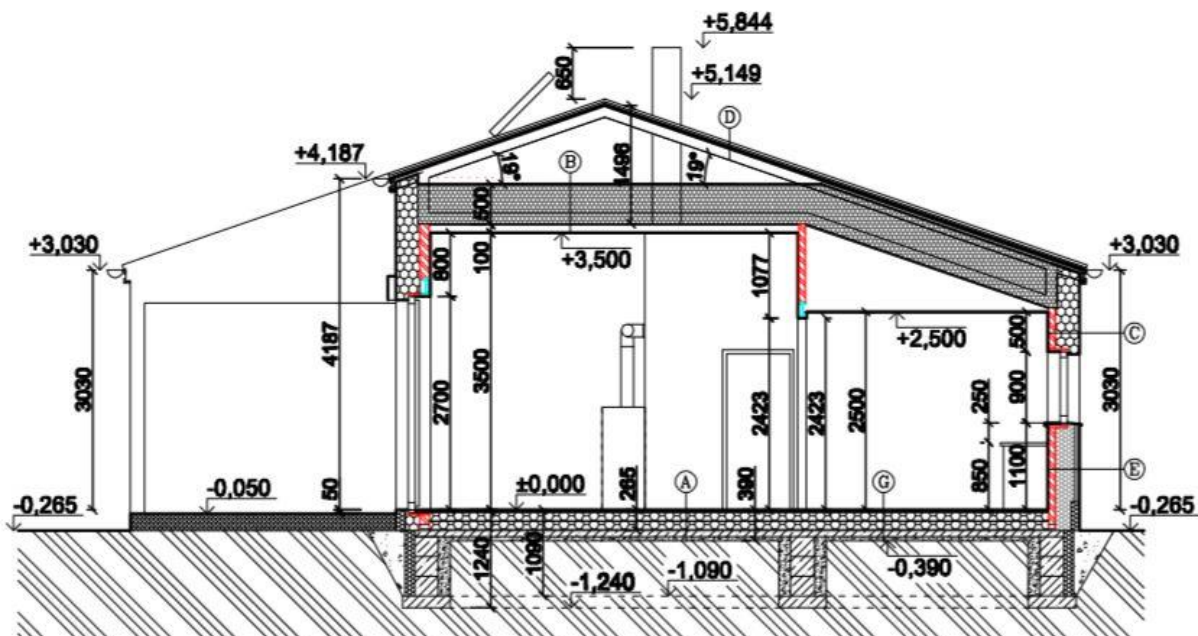
Označení a rozpis skladeb obálky budovy je uveden v Tab. 2, jejich umístění pak v Obr. 4 a Obr. 5.

Tab. 2 Označení a rozpis jednotlivých skladeb obálky budovy

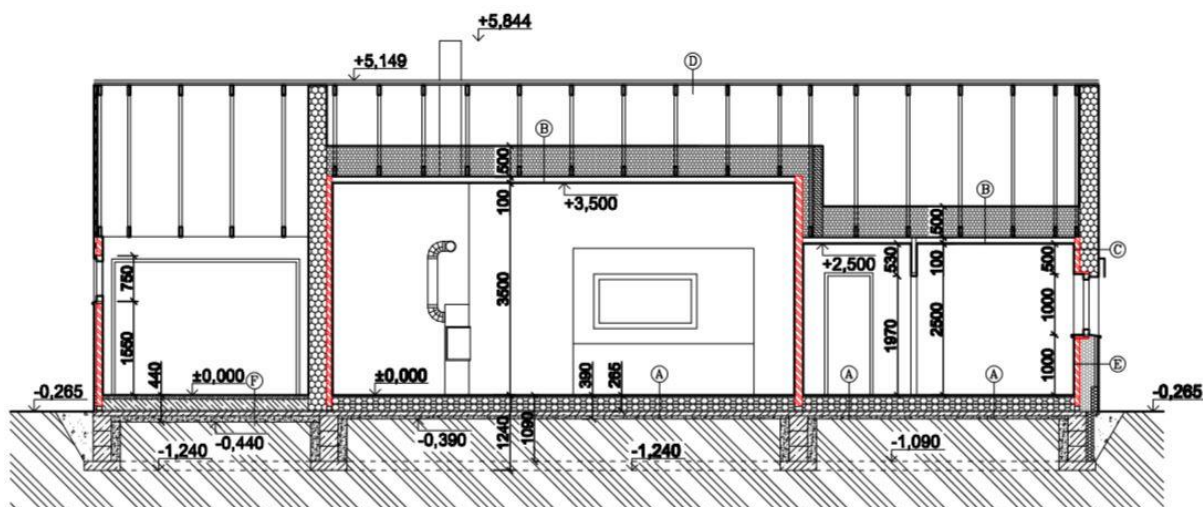
A		B	
– Průmyslová mozaika	20 mm	– Foukaná celulóza 20 kg/m ²	500 mm
– Sádrovláknitá deska	20 mm	– OSB 3 P+D	15 mm
– Polystyren EPS Grey150	100 mm	– Vzduchová mezera	
– Sádrovláknitá deska	10 mm	– Sádrokarton	12,5 mm
– Polystyren EPS Grey150	100 mm		
– Hydroizolace + podsyp	15 mm		
– Podkladní beton	75 mm		
– Štěrkopískový podsyp	50 mm		
– Rostlá zemina			
C		D	
– Tenkovrstvá omítka	5 mm	– Ocelová poplastovaná profilová krytina	
– Perlinka do tmelu		– Střešní latě	60/40 m
– Grafitový polystyren	300 mm	– Kontralatě	50/30 m
– NOVATOP	84 mm	– Poj. difúzní fólie	
– Sádrokarton	12,5 mm	– HDF deska	18 mm
		– Střešní vazník	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

E			F		
	Dřevěný obklad	20 mm		Cementopískový potěr	60 mm
	Dřevěný rošt	40 mm		Hubený beton	200 mm
	Perlinka do tmelu			Hydroizolace	
	PIR izolace s přelepením spár	240 mm		Podkladní beton	75 mm
	NOVATOP	84 mm		Štěrkopískový podsyp	50 mm
	Sádrokarton	12,5 mm		Rostlá zemina	
G					
	Keramická dlažba, lepidlo, vyrovnávací stěrková hmota	15 mm			
	Sádrovláknitá deska	2x12,5 mm			
	Polystyren EPS Grey150	100 mm			
	Sádrovláknitá deska	10 mm			
	Polystyren EPS Grey150	100 mm			
	Hydroizolace + podsyp	15 mm			
	Podkladní beton	75 mm			
	Štěrkopískový podsyp	50 mm			
	Rostlá zemina				



Obr. 4 Příčný řez domem [4]



Obr. 5 Podélný řez domem [4]

2.2 Vytápění a větrání domu



Celý objekt je větrán a vytápěn jednotkou DUPLEX RA4-EC firmy Atrea s.r.o. (viz Obr. 6). Je určena pro větrání s rekuperací tepla a současně pro dvouzónové cirkulační teplovzdušné vytápění. Teplo ze vzduchu odsávaného ze sociálního příslušenství domu je využito pro předehřev čerstvého přívodního vzduchu v rekuperačním výměníku, přičemž je zajištěno dokonalé oddělení odsávaného a cirkulačního vzduchu (pasivní rekuperace). Jednotka sestává z cirkulačního nízkootáčkového ventilátoru, ventilátoru pro odpadní vzduch, křížového rekuperačního výměníku z plastu hPS, teplovodního ohříváče optimalizovaného pro nízkoteplotní topný systém, filtrem cirkulačního vzduchu s třídou filtrace G4, předfiltry, cirkulační klapky, klapky baypassu včetně servopohonů a regulačním modulem. Připojovací hrdla jsou kruhová o průměru 160 a 200 mm. Jednotka instalována v technické místnosti č. 109 (viz Obr. 3).

Obr. 6 Vzduchotechnická jednotka DUPLEX RA4-EC [5]

Sání čerstvého vzduchu i výfuk odpadního vzduchu je přes protidešťovou žaluzii. Na výfuku je před ní zařazena zpětná klapka. Rozvody jsou vedeny samostatně ke každé místnosti a k jednotlivé vyústce, šterbinové dýze. Zádveří a hlavní obytná část jsou větrány a vytápěny přívodem vzduchu z podlahy, klidová pokojová část je větrána a vytápěna vzduchem přívodními dýzami pod stropem. Centrální odtah cirkulačního vytápěcího vzduchu se nachází v místnosti č. 102 a 104 (viz Obr. 3). Odpadní vzduch je odváděn z místností

sociálního zařízení (koupelna a technická místnost), z kuchyně a ze zádveří talířovými ventily.

Zdrojem tepla pro vytápění je integrovaný zásobník tepla IZT-U TS 650 L firmy Atrea s.r.o. Celý objem zásobníku slouží jako zdroj topné vody pro vzduchotechnickou jednotku. Ohřev vody v zásobníku bude tvořen solárním termickým systémem s plochými solárními kolektory FSC 21 (systém navržen na celoroční ohřev TV), topnými elektrickými spirálami o celkovém výkonu 8 kW (2×4 kW) a krbovými kamny na biomasu s vložkou s teplovodním výměníkem.

2.3 Klimatické údaje

Česká republika je rozdělena na oblasti (klimatické stanice), pro které jsou určeny klimatické údaje [6]. Na základě těchto dat se určuje tepelná ztráta budov, od které se odvíjí návrh otopné soustavy. V Tab. 3 jsou uvedeny základní klimatické údaje pro danou oblast.

Tab. 3 Klimatické údaje [6]

Oblast (klimatická stanice)			Olomouc
Nadmořská výška		[m]	226
Venkovní výpočtová teplota	θ_e	[°C]	-15
Průměrná roční venkovní teplota	$\theta_{m,e}$	[°C]	3,4
Délka otopného období	d	[počet dnů]	221

3 VĚTRÁNÍ A VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH RODINNÝCH DOMŮ

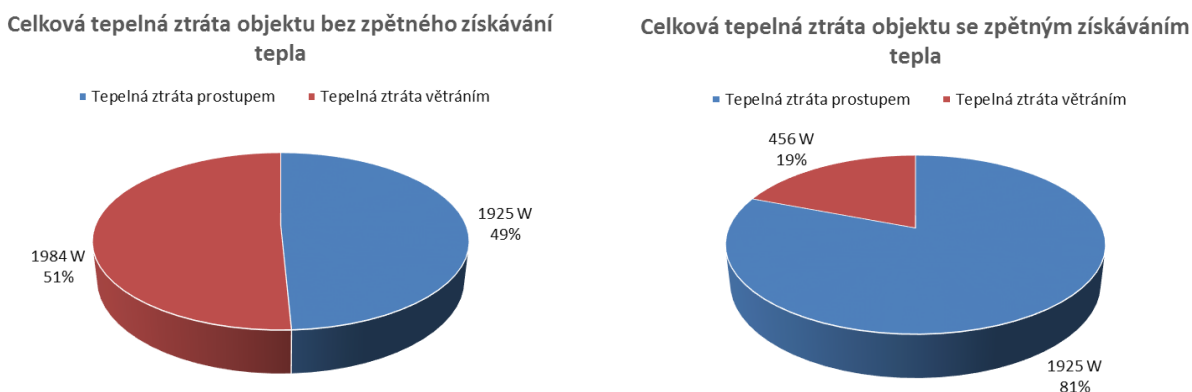
Jak již bylo řečeno, nízkoenergetické domy se vyznačují nízkými potřebami tepla na vytápění, vzduchotěsností a pasivními tepelnými zisky. Z těchto důvodů jsou kladeny nároky na větrací a vytápěcí systém, aby byla zajištěna pohoda osob v těchto domech.

3.1 Větrání nízkoenergetických rodinných domů

Větrání je výměna vnitřního znečištěného vzduchu za venkovní čerstvý vzduch.

Přirozené větrání, mezi které patří větrání otevíráním oken nebo větracími šachtami, se z důvodu závislosti na okolním prostředí (výměna vzduchu je způsobena rozdílem tlaků vně a uvnitř budovy, a dynamickým tlakem větru), vysokých energetických ztrát a obtížného regulování u těchto typů budov nepoužívá.

Nejrozšířenějším způsobem je nucené větrání, kde je výměna vzduchu zajištěna rozdílem tlaků způsobeným mechanicky ventilátorem. Výhodou tohoto systému je možnost regulace, úprava větracího vzduchu a využití zpětného získávání tepla, tzv. rekuperace. Tím je možno zajistit kvalitní mikroklimatické podmínky, neboli pohodu prostředí, při snížené energetické náročnosti. Vliv zpětného získávání tepla na celkovou tepelnou ztrátu objektu, respektive energetické náročnosti budovy, je patrný z Obr. 7. Výpočty tepelných ztrát pro vykreslení jednotlivých grafů jsou uvedeny v kapitole 4 a přílohách P2 a P3.

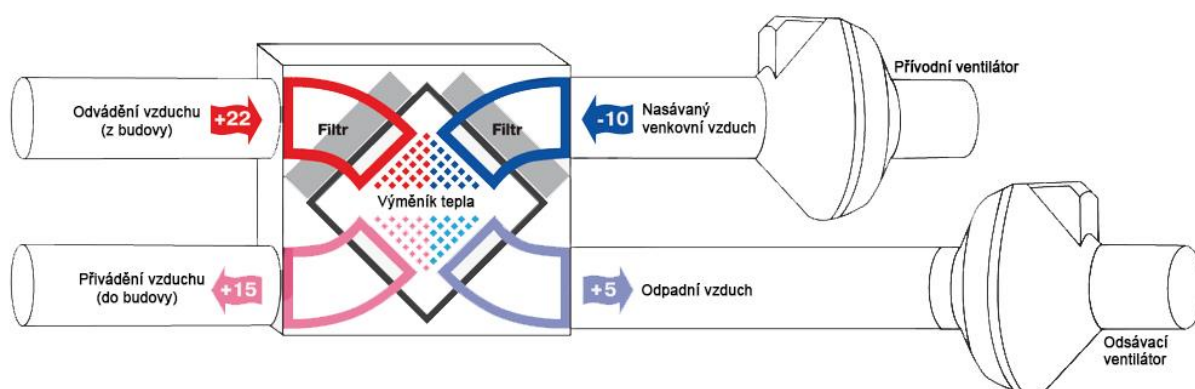


Obr. 7 Porovnání celkové tepelné ztráty objektu bez a se zpětným získáním tepla

3.1.1 Větrání se zpětným získáváním tepla (ZZT)

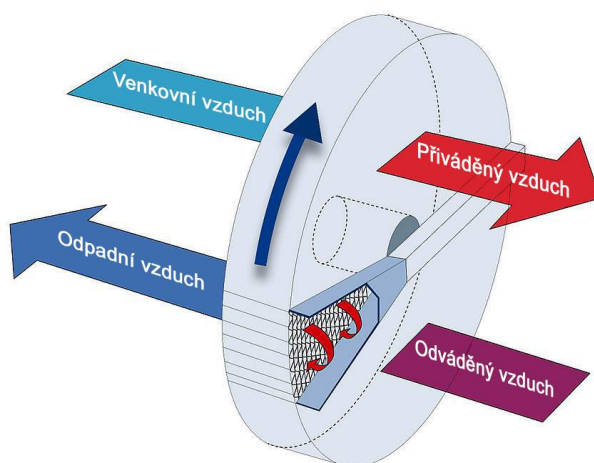
Jednotky se ZZT v zimním období využívají teplo odváděného znečištěného vzduchu a ve výměníku jej předávají přívodnímu vzduchu, který je tak předeřhříván. Podle typu výměníku je můžeme dělit na rekuperační a regenerační.

Rekuperační výměníky umožňují přenos pouze citelného tepla. Oba proudy vzduchu jsou od sebe dokonale odděleny. Patří mezi ně například deskové, trubkové a tepelné trubice. Z pohledu rodinných domů je nejrozšířenější deskový rekuperační výměník, který je znázorněn na Obr. 8. Podle směru proudění je můžeme rozdělit na křížové a protiproudé.



Obr. 8 Deskový rekuperační výměník [7]

Regenerační výměníky umožňují přenos nejenom citelného, ale i latentního tepla. Mezi ně patří například rotační, prepínací nebo membránové výměníky. Nejrozšířenějšími jsou rotační, viz Obr. 9. Rotující válec mezi proudem přiváděného a odváděného vzduchu je tvořen malými kanálky, které jsou pokryty hygroskopickou vrstvou.



Obr. 9 Rotační regenerační výměník [8]

Hlavním parametrem výměníků ZZT je jejich účinnost [9]:

- Teplotní účinnost

$$\varphi = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \quad [-], \quad (1)$$

kde t_{e1} je teplota přiváděného vzduchu před výměníkem [°C];
 t_{e2} je teplota přiváděného vzduchu za výměníkem [°C];
 t_{i1} je teplota odváděného vzduchu před výměníkem [°C].

- Vlhkostní účinnost

$$\psi = \frac{x_{e2} - x_{e1}}{x_{i1} - x_{e1}} \quad [-], \quad (2)$$

kde x_{e1} je měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem [g/(kg s.v.)];
 x_{e2} je měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem [g/(kg s.v.)];
 x_{i1} je měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem [g/(kg s.v.)].

Pro ZZT ve stávajícím konceptu je použita jednotka DUPLEX RA4-EC firmy Atrea s.r.o., popsána v kapitole 2.2. Podle technického listu [5] dosahuje teplotní účinnost až 93 %, běžnou hodnotou byla i pro výpočet tepelných ztrát objektu (viz kapitola 4) zvolena účinnost výměníku 77 %. Teplota přiváděného vzduchu u jednotky s touto účinností byla určena z rovnice (1):

$$t_{e2} = \varphi \cdot (t_{i1} - t_{e1}) + t_{e1} = 0,77 \cdot (21,5 - (-15)) + (-15) \cong 13 \text{ °C}$$

3.2 Vytápění nízkoenergetických rodinných domů

Z důvodu nižší potřeby tepla na vytápění se využívá především teplovzdušné vytápění nebo nízkoteplotní teplovodní systémy, mezi které patří například podlahové vytápění.

Teplovzdušné vytápění využívá vzduchotechnických rozvodů také k distribuci tepla, čímž jsou výrazně sníženy pořizovací náklady. Ohřev bývá tvořen elektrickými topnými tyčemi nebo teplovodním výměníkem. Nevýhodou tohoto systému je absence sálavého tepla, které je pro člověka více přirozené, avšak u nízkoenergetických domů není tato nevýhoda tak významná. Kvůli větší vrstvě izolace je vnitřní povrchová teplota vnějších stěn vyšší, než u klasické zástavby.

Oproti tomu podlahové vytápění mezi zdroje především sálavého tepla patří, což znamená, že teplota vzduchu v místnosti může být nižší pro dosažení stejné tepelné pohody. Jedná se o typ velkoplošného vytápění – teplo je sdíleno do okolí velkou plochou, nejčastěji celou podlahou. Díky tomu je rozložení teplot v celé místnosti rovnoměrné. Omezením tohoto systému je průměrná povrchová teplota podlahy, která by neměla překročit 29 °C [10], doporučené rozmezí je mezi 21,0 a 28,5 °C [10].

3.2.1 Zdroje tepla

Zdrojem tepla může být elektrická topná tyč, solární panely, tepelné čerpadlo, nízkoteplotní kondenzační kotel, kotel na biomasu aj., případně jejich kombinace.

Všechny uvedené zdroje, výjimkou elektrických topných tyčí, jsou pro nízkoenergetické domy často předimenzované a pro většinu otopného období je téměř nemožné snížit jejich výkon podle aktuální tepelné ztráty objektu při zachování jejich účinností. Pro zefektivnění použití těchto zdrojů tepla je nezbytné do otopné soustavy instalovat akumulační zásobník. Slouží k akumulaci tepla, čímž je umožněn nepřerušovaný odběr tepla a snížení počtu zátopů, respektive počtu sepnutí, za stejný časový úsek.

Tepelná čerpadla (TČ) se řadí mezi alternativní zdroje, jelikož odnímají teplo z okolního prostředí (vzduchu, vody nebo země) a převádí jej na vyšší teplotní hladinu. S rostoucím požadavkem na teplotu topné vody (kondenzační teplotu) a klesající teplotou nízkopotenciálního zdroje tepla (vypařovací teplotou), klesá jejich topný faktor a to z důvodu vyšší spotřeby elektrické energie, potřebné pro pohon kompresoru. Jako zdroj tepla se používá především kvůli nízkým provozním nákladům, avšak pořizovací náklady jsou oproti ostatním zdrojům tepla vysoké.

Kondenzační kotle využívají ke zvýšení účinnosti také tepla fázové přeměny spalin. Ty kondenzují na vstupu topné vody do tepelného výměníku. Z tohoto důvodu je výhodné navrhovat tento systém vytápění jako nízkoteplotní s co nejnižší teplotou vratné vody.

4 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Výpočet byl proveden v programu MS Excel dle normy ČSN EN 12831:2005 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu [6]. Klimatické údaje a údaje o vytápěných a nevytápěných místnostech jsou uvedeny v Tab. 4.

Celkový tepelný výkon se skládá z:

- tepelného výkonu pro tepelné ztráty prostupem,
- tepelného výkonu pro tepelné ztráty větráním,
- zátopového tepelného výkonu.

Tab. 4 Všeobecné údaje

Klimatické údaje					
Popis		Označení	Jednotka	Hodnota	
Výpočtová venkovní teplota		θ_e	[°C]	-15	
Roční průměrná teplota vzduchu		$\theta_{m,e}$	[°C]	3,4	
Korekční činitele vystavení klimatických podmínkám		e_k, e_t	[-]	1	
	Označení místnosti		Výpočtová vnitřní teplota	Plocha místnosti	Objem místnosti
			$\theta_{int,i}$	A_i	V_i
			[°C]	[m ²]	[m ³]
Údaje o vytápěných místnostech	101	Zádveří	20	7,14	17,85
	102	Obývací pokoj	20	25,00	87,50
	103	Kuchyň	20	10,91	27,28
	104	Hrací kout	20	6,08	21,28
	105	Ložnice	20	13,71	34,28
	106	Pokoj 1	20	9,96	24,90
	107	Pokoj 2	20	12,60	31,50
	108	Koupelna	24	7,41	18,53
Celkem				92,81	263,11
Údaje o nevytápěných místnostech	109	Technická místnost	–	4,98	12,45
	110	Garáž	–	25,40	63,50
	111	Chodba	–	6,52	16,30
Celkem				36,9	92,25

Vzorový výpočet návrhového tepelného výkonu bude proveden pro místnost 105. Výpočet pro všechny vytápěné místnosti je uveden v přílohách P2 a P3.

4.1 Tepelné ztráty prostupem

4.1.1 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U_k je dán celkovým tepelným odporem konstrukce R_{celk} dle vztahu:

$$U_k = \frac{1}{R_{celk}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]. \quad (3)$$

Celkový tepelný odpor konstrukce se určí ze vztahu:

$$R_{celk} = R_{\alpha,i} + \sum R_{\delta,i} + R_{\alpha,e} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}], \quad (4)$$

- kde $R_{\alpha,i}$ je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$;
 $R_{\delta,i}$ je tepelný odpor vedením $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$;
 $R_{\alpha,e}$ je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$;
 α_i je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$;
 δ_i je tloušťka konkrétní vrstvy konstrukce $[\text{m}]$;
 λ_i je součinitel tepelné vodivosti konkrétní vrstvy konstrukce $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$;
 α_e je součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$.

Podrobný výpočet součinitelů prostupu tepla pro všechny stavební části je uveden v příloze P1. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5. Hodnoty součinitelů tepelných vodivostí, případně konečných hodnot součinitelů prostupu tepla, byly převzaty z technických listů výrobců nebo z materiálového listu portálu TZB-info [11].

Tab. 5 Vypočítané hodnoty součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé stavební části

Označení	Popis	Součinitel prostupu tepla U_k $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$
A	Podlaha – průmyslová mozaika	0,129
G	Podlaha – keramická dlažba	0,130
B	Strop / střecha	0,074
C	Obvodová stěna s omítkou	0,100
E	Obvodová stěna s dřevěným obkladem	0,113
S100	Vnitřní stěna – sádrokarton	0,659
S110	Vnitřní stěna – sádrokarton	0,479
S125	Vnitřní stěna – sádrokarton	0,376
NV	Vnitřní stěna – Novatop	1,104
OK	Okna – Dafé SVT 873	0,770
D1	Vnitřní dveře	2,263
D2	Vstupní dveře	0,940

4.1.2 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

Místnost 105 sdílí s venkovním prostředím 2 stěny tvořené kombinací obvodových konstrukcí C a E, a 1 okno. Do výpočtu byl uvažován tepelný most rohu vnější stěny, horní hrany okna, parapetu okna a jeho ostění.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \psi_k \cdot l_k \cdot e_k = 4,217 \text{ W/K} \quad (5)$$

Kde A_k je plocha stavební části [m^2];
 U_k je součinitel prostupu tepla [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];
 e_k je korekční činitel vystavení povětrnostním podmínkám [-];
 ψ_k je činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
 l_k je délka lineárního tepelného mostu [m].

4.1.3 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem

Nevytápěným sousedním prostorem je chodba (místnost 111).

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \psi_k \cdot l_k \cdot b_u = 0 \text{ W/K} \quad (6)$$

Kde b_u je teplotní redukční činitel [-].

4.1.4 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy

Pro určení tepelné ztráty do přilehlé zeminy je nutné nejprve určit charakteristický parametr B' :

$$B' = \frac{2 \cdot A_g}{P} = 4,52 \text{ m} \quad (7)$$

Kde A_g je plocha uvažované podlahové konstrukce [m^2];
 P je obvod uvažované podlahové konstrukce [m].

Na základě charakteristického parametru B' jsme z tabulky 4 v ČSN EN 12831 [6] určili hodnotu $U_{equiv,k}(pro z = 0 \text{ m}) = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Tepelná ztráta do přilehlé zeminy se poté určí ze vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w = 1,603 \text{ W/K}, \quad (8)$$

kde f_{g1} je korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-];
 f_{g2} je teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou [-] a stanoví se jako: $f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$;
 $U_{equiv,k}$ je ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části [W/(m²·K)];
 G_{rw} je korekční činitel zohledňující vliv spodní vody [-].

4.1.5 Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách

Na rozdílnoú teplotu je vytápěna sousední místnost 108.

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{i,j} = -0,338 \text{ W/K} \quad (9)$$

Kde $f_{i,j}$ je redukční teplotní činitel [-] a stanoví se jako:

$$f_{i,j} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{vytápěného\ souseďního\ prostoru}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (10)$$

4.1.6 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 192 \text{ W} \quad (11)$$

4.2 Tepelné ztráty větráním

4.2.1 Infiltrace obvodovým pláštěm budovy - množství vzduchu

Infiltrace je způsobena účinkem větru a vztlaku na plášť budovy. Intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa je kvůli vysoké vzduchotěsnosti obálky budovy 0,6 h⁻¹.

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i = 0,8 \text{ m}^3/\text{h} \quad (12)$$

Kde V_i je objem vytápěné místnosti [m³];
 n_{50} je intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa [h⁻¹];
 e_i je stínící činitel [-];
 ε_i je výškový korekční činitel [-].

4.2.2 Přiváděné množství vzduchu

Do místnosti 105 je množství přiváděného vzduchu $\dot{V}_{su,i} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.2.3 Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu

Větrání je navrženo jako rovnotlaké, takže hodnota rozdílu mezi množstvím odváděného a přiváděného vzduchu $\dot{V}_{mech,inf,i}$ je rovna nule.

4.2.4 Návrhová tepelná ztráta větráním

$$\phi_{V,i} = (\dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} \cdot f_{vi} + \dot{V}_{mech,inf,i}) \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 80 \text{ W} \quad (13)$$

Kde $f_{v,i}$ je redukční teplotní činitel [-] a stanoví se jako:

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (14)$$

kde $\theta_{su,i}$ je teplota přiváděného vzduchu do vytápěného prostoru určená podle účinnosti ZZT (uvažovaná účinnost výměníku, respektive teplota přiváděného vzduchu je stejná, jako ve výpočtu v kapitole 3.1.1) [-].

4.3 Zátopový tepelný výkon

U výpočtu pro lehkou stavbu je zátopový tepelný výkon $\phi_{RH,i}$ zanedbán.

4.4 Celková tepelná ztráta

$$\phi_{HL,i} = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} + \phi_{RH,i} = 272 \text{ W} \quad (15)$$

V Tab. 6 jsou uvedeny tepelné ztráty prostupem tepla a větráním pro jednotlivé místnosti, a celkové tepelné ztráty. Celková tepelná ztráta objektu je rovna 2381 W.

Tab. 6 Celková tepelná ztráta budovy

Označení místnosti		Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	Návrhová tepelná ztráta větráním	Celková tepelná ztráta
		$\phi_{T,i}$	$\phi_{V,i}$	$\phi_{HL,i}$
		[W]	[W]	[W]
101	Zádveří	260	29	288
102	Obývací pokoj	739	172	911
103	Kuchyň	169	31	200
105	Ložnice	192	80	272
106	Pokoj 1	155	66	221
107	Pokoj 2	276	72	349
108	Koupelna	134	6	140
Celkem		1925	456	2381

5 NÁVRH OTOPNÉ SOUSTAVY

Pro teplovodní vytápění nízkoteplotními zdroji tepla bylo zvoleno velkoplošné vytápění, konkrétně podlahové.

5.1 Návrh a výpočet podlahového vytápění

Výpočet byl proveden v programu MS Excel podle metodiky Topenářské příručky [10].

- Výpočet charakteristického čísla podlahy m :

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot d_e}} \quad [\text{m}^{-1}], \quad (16)$$

kde Λ_a je tepelná propustnost vrstev nad trubkami [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];
 Λ_b je tepelná propustnost vrstev pod trubkami [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];
 λ_d je součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou trubky zalaty [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
 d_e je vnější průměr trubek [m].

- Výpočet tepelné propustnosti vrstev nad trubkami Λ_a :

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (17)$$

kde a je tloušťka jednotlivých vrstev nad osou trubek [m];
 λ_a je součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad osou trubek [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
 α_p je součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$], doporučená hodnota je $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

- Výpočet tepelné propustnosti vrstev pod trubkami Λ_b :

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha'_p}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})], \quad (18)$$

kde b je tloušťka jednotlivých vrstev pod osou trubek [m];
 λ_b je součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod osou trubek [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];

α'_p je součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy [W/(m²·K)], obvykle se volí 8 W/(m²·K).

- Výpočet šířky okraje vzdálenosti první trubky od stěny r z empirického vztahu:

$$r = \frac{2,3}{m} \text{ [m]}. \quad (19)$$

Vypočítané hodnoty pro oba druhy podlah jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7 Výpočet charakteristického parametru a šířky okraje pro jednotlivé podlahy

Označení	Skladba podlahy		Tloušťka [mm]	λ [W/mK]				
Podlaha A	A1	Průmyslová mozaika (dub)	20	0,2				
	A2	Cementová mazanina	65	1,1				
	A3	Systémová deska Vario	23	0,035				
	A4	Polystyren EPS Grey150	100	0,031				
	A5	Sádrovláknitá deska	10	0,32				
	A6	Polystyren EPS Grey150	100	0,031				
	A7	Hydroizolace + vyrovnávací podsyp 0–4	15	0,2				
	A8	Podkladní beton	75	1,23				
	Vlastnosti podlahy pro podlahové vytápění							
	d_e [mm]	d_i [mm]	a_p [W/(m ² ·K)]	α'_p [W/(m ² ·K)]	Λ_a [W/(m ² ·K)]	Λ_b [W/(m ² ·K)]	m [m ⁻¹]	r [m]
	18	14	12	8	5,455	0,135	7,56	0,30
Označení	Skladba podlahy		Tloušťka [mm]	λ [W/mK]				
Podlaha G	G1	Keramická dlažba + lepidlo + stěrková hmota	15	1,01				
	G2	Cementová mazanina	65	1,1				
	G3	Systémová deska Vario	23	0,035				
	G4	Polystyren EPS Grey150	100	0,031				
	G5	Sádrovláknitá deska	10	0,32				
	G6	Polystyren EPS Grey150	100	0,031				
	G7	Hydroizolace + vyrovnávací podsyp 0–4	15	0,2				
	G8	Podkladní beton	75	1,23				
	Vlastnosti podlahy pro podlahové vytápění							
	d_e [mm]	d_i [mm]	a_p [W/(m ² ·K)]	α'_p [W/(m ² ·K)]	Λ_a [W/(m ² ·K)]	Λ_b [W/(m ² ·K)]	m [m ⁻¹]	r [m]
	18	14	12	8	10,185	0,135	10,28	0,22

- Výpočet povrchové teploty podlahy t_p :

$$t_p = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} + t_i \quad [^\circ\text{C}], \quad (20)$$

kde t_m je střední teplota otopné vody [$^\circ\text{C}$];
 t_i je vnitřní výpočtová teplota [$^\circ\text{C}$];
 l je rozteč trubek [m].

- Výpočet poměru tepelného výkonu okrajové plochy a tepelného výkonu otopné plochy $\frac{Q_o}{Q_p}$:

$$\frac{Q_o}{Q_p} = \frac{O_p}{S_p} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)} \quad [-], \quad (21)$$

kde O_p je obvod otopné podlahové plochy [m];
 S_p je otopná podlahová plocha [m^2].

- Výpočet měrného tepelného výkonu otopné plochy q :

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad [\text{W}/\text{m}^2]. \quad (22)$$

- Výpočet celkového tepelného výkonu Q_c :

$$Q_c = \left(1 + \frac{Q_o}{Q_p}\right) \cdot (q + q') \cdot S_p \quad [\text{W}], \quad (23)$$

kde q' je měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů [W/m^2].

- Výpočet skutečného celkového tepelného výkonu $Q_{c,skut}$, který je nižší o vliv zaclonění otopné plochy nábytkem:

$$Q_{c,skut} = Q_c - S_n \cdot (q - q_n) \quad [\text{W}], \quad (24)$$

kde S_n je plocha zakrytá nábytkem [m^2];
 q_n je měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem [W/m^2].

Tab. 8 Výpočet podlahového vytápění pro místnost 105

Typ podlahy	–	–	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	4
Otopná plocha	S_p	[m ²]	9,51
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	12,53
Rozteč trubek	l	[m]	0,35
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	22,3
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,24
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	27,89
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	2,79
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	11,0
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	361
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	294

Výpočet okruhu podlahového vytápění místnosti 105 je uveden v Tab. 8. Výpočty pro všechny místnosti jsou uvedeny v příloze P4. Výsledné hodnoty tepelných výkonů podlahového vytápění jsou spolu s tepelnými ztrátami jednotlivých místností uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9 Souhrn tepelných výkonů podlahového vytápění v porovnání s jednotlivými tepelnými ztrátami

Označení místnosti		Tepelná ztráta místnosti	Tepelný výkon podlahového vytápění
		[W]	[W]
101	Zádveří	288	296
102	Obývací pokoj – prostor	350	356
	Obývací pokoj – okno	350	356
104	Obývací pokoj – hrací kout	211	206
103	Kuchyň	200	279
105	Ložnice	272	294
106	Pokoj 1	221	216
107	Pokoj 2	349	328
108	Koupelna	140	141
Celkem		2381	2473

U místnosti 102, obývací pokoj, z důvodu velké plochy místnosti byla otopná plocha rozdělena na dva samostatné okruhy podlahového vytápění.

Výkon podlahového vytápění místnosti 103 je o 79 W větší, než její tepelná ztráta i s roztečí trubek 35 cm. S větší roztečí klesá výkon okruhu, ale povrchová teplota podlahy může být nerovnoměrná. Z tohoto důvodu je zvolena rozteč trubek brána jako maximální. Tepelný výkon bude redukován snížením průtoku topné vody šroubením na rozdělovači, respektive zvětšením tlakové ztráty okruhu (viz Tab. 12 a Tab. 13).

5.2 Hydraulický výpočet

Výpočet byl proveden v programu MS Excel. Vychází z vlastností vody, které se odvíjí od její teploty. Ta se v topném okruhu mění, proto jsou vlastnosti vztaženy ke střední teplotě t_m , viz Tab. 10.

Tab. 10 Vlastnosti vody určené dle [12]

Vlastnosti vody pro $t_m = 27,8 \text{ }^\circ\text{C}$			
Hustota	ρ	[kg/m ³]	997,07
Kinematická viskozita	ν	[m ² /s]	8,54E-07
Měrná tepelná kapacita	c	[kJ/(kg·K)]	4,183
Součinitel objemové roztažnosti	α	[K ⁻¹]	2,85E-04

Do jednotlivých okruhů podlahového vytápění vstupuje topná voda o stejné teplotě, avšak o různém hmotnostním toku z důvodu pokrytí různých tepelných ztrát místností.

$$\dot{m} = \frac{Q_{c,skut}}{c \cdot \Delta t} \quad [\text{kg/s}] \quad (25)$$

Kde Δt je teplotní spád otopné vody [$^\circ\text{C}$], zvolen $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Celková tlaková ztráta okruhu Δp_z :

$$\Delta p_z = \Delta p_\lambda + \Delta p_\xi \quad [\text{Pa}], \quad (26)$$

kde Δp_λ je tlaková ztráta třením [Pa];
 Δp_ξ je tlaková ztráta místními odpory [Pa].

- Tlaková ztráta třením Δp_λ :

$$\Delta p_\lambda = R \cdot L \quad [\text{Pa}], \quad (27)$$

kde R je měrná tlaková ztráta [Pa/m];
 L je délka otopného hadu vč. přípojky [m].

- Měrná tlaková ztráta R :

$$R = \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \frac{\lambda}{d_i} \quad [\text{Pa/m}], \quad (28)$$

kde w je rychlost v potrubí [m/s];
 λ je součinitel tření [-];
 d_i je vnitřní průměr potrubí [m].

- Rychlost v potrubí w :

$$w = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot S} \quad [\text{m/s}], \quad (29)$$

kde S je průřez potrubí [m^2].

- Součinitel tření λ pro plastová potrubí podle [10] (do $Re = 2 \cdot 10^5$):

$$\lambda = 0,738 \cdot \frac{d_i^{0,068}}{Re^{0,3}} \quad [-], \quad (30)$$

kde Re je Reynoldsovo číslo [-].

- Tlaková ztráta místními odpory Δp_ξ :

$$\Delta p_\xi = \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \sum \xi \quad [\text{Pa}], \quad (31)$$

kde ξ je součinitel místního odporu [-].

Místními odpory u podlahového vytápění jsou pouze oblouky otopného hadu. Podle [10] je můžeme určit ze vztahu (32).

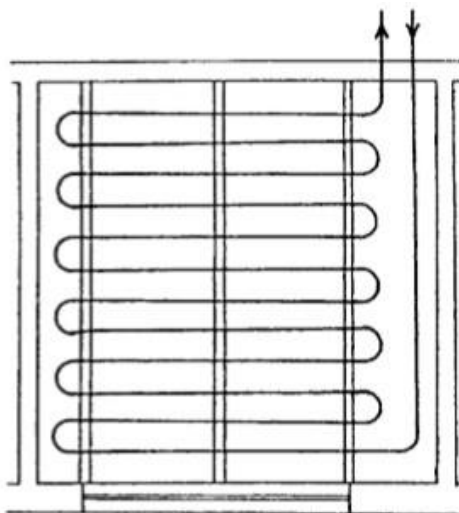
- Součinitel místního odporu pro úhel 90° ξ_{90} :

$$\xi_{90} = 0,034083 + 0,744580769 \cdot \ln \frac{r}{d} \quad [-], \quad (32)$$

kde r je rádius oblouku [m].

Počet oblouků se odvíjí také od způsobu položení otopného hadu. Mezi nejčastější patří meandrová pokládka nebo plošná spirála. Zvoleno bylo meandrové položení, které je znázorněno na Obr. 10.

Pro místnost 105 jsou vstupní a vypočítané hodnoty hydraulického výpočtu uvedeny v Tab. 11. Výpočty pro všechny místnosti jsou uvedeny v příloze P5. Výsledky hydraulických výpočtů pro všechny okruhy podlahového vytápění jsou uvedeny v Tab. 12.



Obr. 10 Meandrový způsob kladení otopného hadu [10]

Tab. 11 Hydraulické výpočty pro místnost 105

Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	50,6
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,09
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1501
Součinitel tření	λ	[-]	0,062
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	18
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	42,6
Počet ohybů	n_{90}	[-]	28
Rádus	r	[m]	0,18
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,91
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	782
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	224

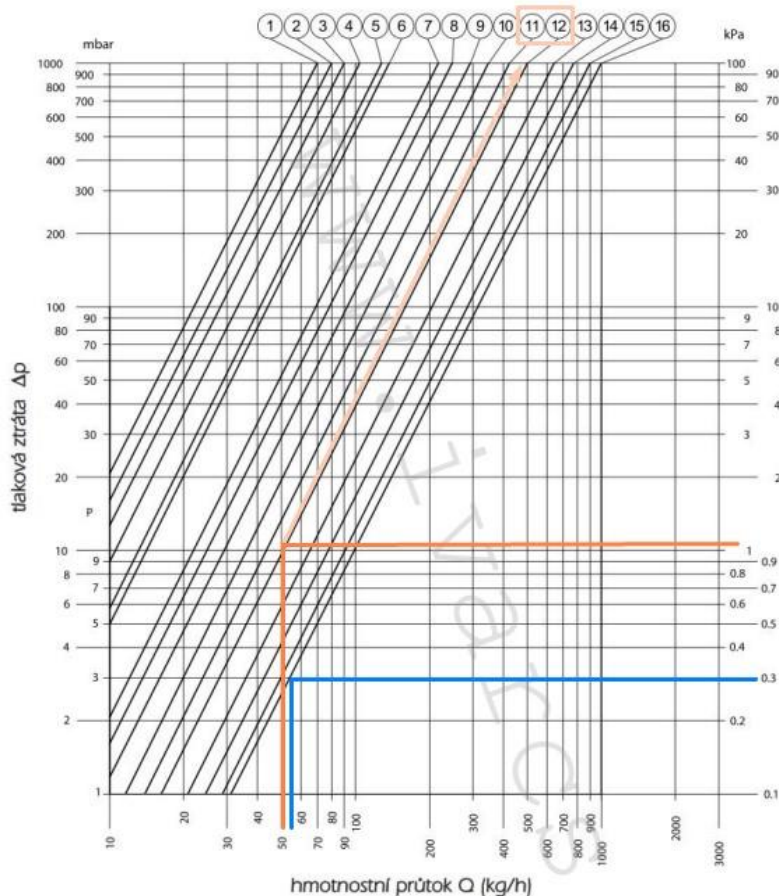
Tab. 12 Výsledky hydraulických výpočtů všech okruhů

Označení místnosti		$Q_{c,skut}$ [W]	\dot{m} [kg/h]	Rozměr potrubí [mm]	Δp_{λ} [Pa]	Δp_{ξ} [Pa]	Δp_z [Pa]
101	Zádveří	296	51,0	18 × 2	286	146	432
102	Obývací pokoj – prostor	356	61,4	18 × 2	801	177	978
	Obývací pokoj – okno	356	61,3	18 × 2	1065	235	1300
104	Obývací pokoj – hrací kout	206	35,4	18 × 2	338	73	411
103	Kuchyň	200	34,4	18 × 2	296	173	469
105	Ložnice	294	50,6	18 × 2	782	224	1006
106	Pokoj	216	37,2	18 × 2	414	106	520
107	Pokoj	328	56,5	18 × 2	1291	547	1837
108	Koupelna	141	24,3	18 × 2	171	67	238

Volba sestavy rozdělovač/sběrač a zaregulování okruhů podlahového vytápění

Pro rozvody podlahového vytápění a zaregulování jednotlivých okruhů mezi sebou byla zvolena 9cestná sestava rozdělovač/sběrač pro podlahové vytápění IVAR.CS 553 VP včetně skříně. Součástí jsou uzavírací ventily, regulační šroubení s průtokoměry, kulové uzávěry se šroubením, automatické odvzdušňovací ventily, vypouštěcí ventily a teploměry na vstupu a výstupu. Materiálem sestavy je mosaz OT 58.

Pro okruh s největší tlakovou ztrátou (místnost 107 – 1837 Pa) bude armatura rozdělovače nastavena na plné otevření. Z technického listu zvolené sestavy rozdělovač/sběrač [13] jsme v diagramu tlakových ztrát určili pro hmotnostní průtok 56,5 kg/h okruhu místnosti 107 a pro plné otevření (pozice 16) tlakovou ztrátu 300 Pa. Celková tlaková ztráta tohoto okruhu je tedy 2137 Pa. Podobným postupem se zaregulují všechny ostatní okruhy tak, aby jejich výsledná tlaková ztráta byla přibližně stejná. Hledanými hodnotami jsou pozice nastavení armatur okruhů, respektive počet otáček otevření. Postup je zobrazen na Obr. 11, kde tlakovou ztrátu pro plné otevření znázorňuje modrá barva a oranžová postup při zjišťování nastavení pozice okruhu místnosti 105. Takto určené nastavení všech okruhů je uvedeno v Tab. 13.



Obr. 11 Diagram tlakových ztrát rozdělovače [13]

Tab. 13 Nastavení regulace jednotlivých okruhů na rozdělovači

Označení místnosti	Δp_z [Pa]	$\Delta p_{rozd.}$ [Pa]	Δp_c [Pa]	Pozice	Otáčky	$K_{v,rozdělovač}$	$K_{v,sběrač}$
101 Zádveří	432	1700	2132	10–11	3,15	0,39	2,5
102 Obývací pokoj – prostor	978	1150	2128	12–13	3,60	0,57	
	1300	850	2150	13	3,75	0,65	
104 Obývací pokoj – hrací kout	411	1700	2111	8–9	2,15	0,27	
103 Kuchyň	257	1850	2107	8	2,00	0,25	
105 Ložnice	1006	1150	2156	11–12	3,35	0,46	
106 Pokoj	520	1600	2120	9	2,50	0,29	
107 Pokoj	1837	300	2137	16	Plně ot.	1,00	
108 Koupelna	238	1900	2138	6–7	1,65	0,20	

Další tlakovou ztrátou podlahového vytápění je přívodní a odvodní potrubí. Jeho výpočet je uveden v Tab. 14. Celková tlaková ztráta podlahového vytápění se skládá z tlakové ztráty rozdělovače, sběrače a potrubí, a je uvedena v Tab. 15.

Tab. 14 Tlakové ztráty potrubí

Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	412,0
Vnitřní průměr potrubí (rozměr 22x1)	$d_{vnitřní}$	[m]	0,02
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,37
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	8559
Součinitel tření	λ	[-]	0,037
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	124
Délka přípojovacího potrubí	L	[m]	15,9
Tlaková ztráta třením	Δp_λ	[Pa]	1984
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_ξ	[Pa]	1131

Tab. 15 Celková tlaková ztráta podlahového vytápění

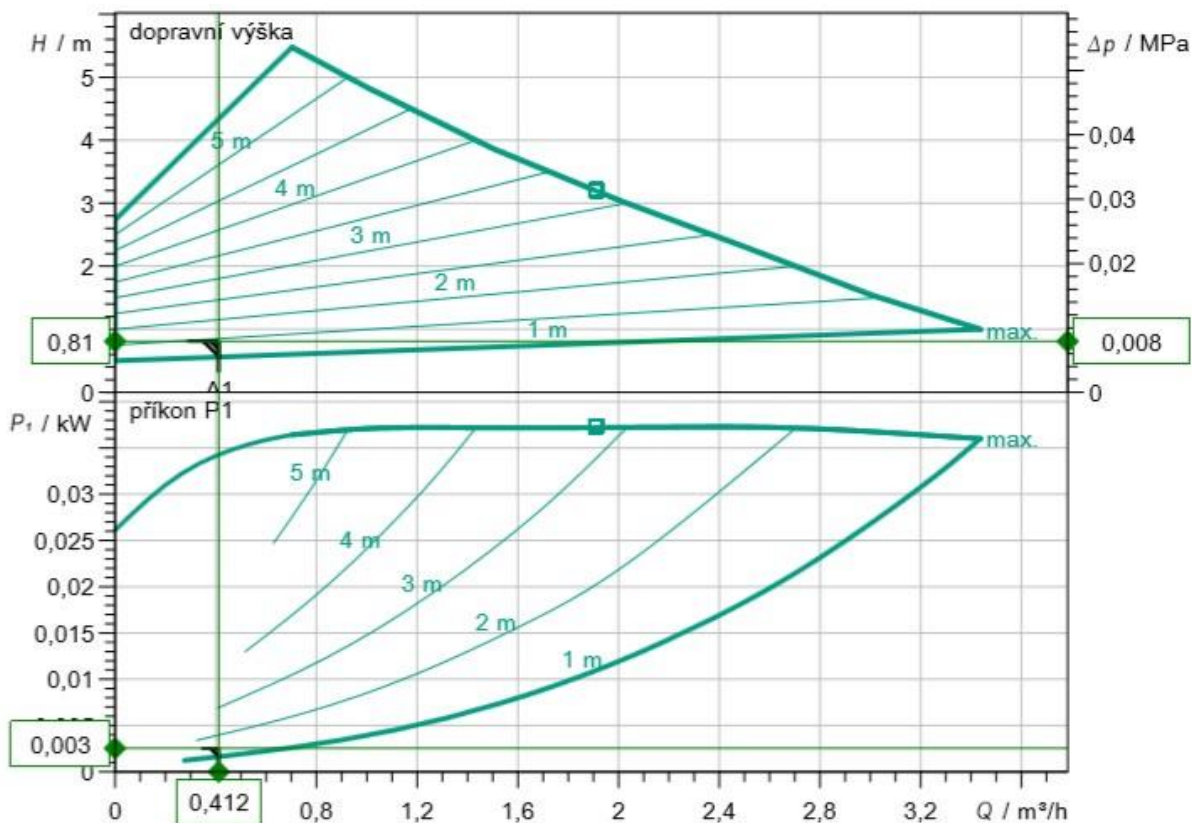
Tlaková ztráta rozdělovače	[Pa]	2156
Tlaková ztráta sběrače	[Pa]	2700
Tlaková ztráta potrubí	[Pa]	3116
Celkem	[Pa]	7972

5.3 Volba oběhového čerpadla



Pro překonání tlakových ztrát v okruhu podlahového vytápění bylo zvoleno bezucpávkové mokroběžné oběhové čerpadlo Wilo Yonos PICO 25/1-6 (ROW), viz Obr. 12. Z jeho charakteristik znázorněné v Obr. 13 byl pro tlakovou ztrátu 7972 Pa, které odpovídá dopravní výška 0,81 m, a průtok 0,412 m³/h určen pracovní bod. Zvolené oběhové čerpadlo je dostačující, jelikož pracovní bod leží v poli charakteristiky.

Obr. 12 Oběhové čerpadlo Wilo Yonos PICO 25/1-6 [14]



Obr. 13 Určení pracovního bodu z charakteristik čerpadla [14]

5.4 Zdrojem tepla tepelné čerpadlo vzduch-voda

Jak již bylo řečeno v kapitole 3.2.1, se zvyšujícím se rozdílem mezi vypařovací a kondenzační teplotou tepelných čerpadel klesá jejich topný faktor. Topný faktor (COP – Coefficient of Performance) udává poměr aktuálního výkonu TČ k jeho aktuálnímu příkonu.

$$COP = \frac{Q}{P_e} \quad [-] \quad (33)$$

Kde Q je výkon tepelného čerpadla – energie předaná topnému médiu v kondenzátoru [W];

P_e je příkon tepelného čerpadla [W].

U tepelných čerpadel typu vzduch-voda v režimu topení, kde zdrojem tepla je venkovní vzduch, se vypařovací teplota odvíjí především od teploty venkovního vzduchu. Teplota kondenzace je dána požadovanou teplotou pro otopnou soustavu nebo ohřev TV.

Požadovaná výpočtová teplota pro podlahové vytápění je 30 °C, ohřev TV uvažujeme na teplotu 55 °C. Z tohoto důvodu je patrné, že při stejné venkovní teplotě bude *COP* rozdílné.

Pro zhodnocení efektivity provozu celé soustavy s TČ v celoročním provozu slouží sezónní topný faktor. Výrobci TČ uváděný sezónní topný faktor *SCOP* (Seasonal Coefficient of Performance) je určen ve zkušebních laboratořích pro standardizované podmínky (definovaná tepelná ztráta budovy, otopná soustava, doby provozu v aktivním a neaktivním režimu, klimatické údaje, apod.) normou ČSN EN 14825. Takto určený sezónní topný faktor slouží spíše k porovnání jednotlivých výrobků. Pro reálnou aplikaci je vhodnější určit sezónní topný faktor *SPF* (Seasonal Performance Factor).

5.4.1 Výpočet SPF

Výpočtové hodnocení soustav s TČ popisuje norma ČSN EN 15316 [15]. Výpočet je založen na tzv. intervalové metodě, pro kterou je teplotní charakteristika lokality dána jednotlivými intervaly v rozlišení 1 K, charakterizovaných střední teplotou vzduchu a dobou trvání. V každém teplotním intervalu jsou bilancovány:

- potřeba tepla pro vytápění a přípravu teplé vody;
 - provozní podmínky a charakteristiky tepelného čerpadla;
 - teplo dodané tepelným čerpadlem;
 - teplo dodané bivalentním zdrojem tepla;
 - potřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo;
 - doba provozu tepelného čerpadla;
 - potřeba pomocné elektrické energie.
-

Metodika popsaná touto normou je příliš detailní a složitá pro praktické použití. Pro výpočet SPF byly použity TNI 73 0351 [16], kde je výpočet do značné míry zjednodušený:

- předpokládaný provoz TČ na konstantní výkon;
- zanedbány tepelné ztráty akumulčního zásobníku;
- nezohledňují denní a roční profil odběru TV;
- nezohledňují blokaci tarifu elektrické energie;
- uvažují paušálně potřebné zvýšení výstupní teploty z TČ nad teplotní úroveň odebíraného tepla.

Sezónní topný faktor soustavy s tepelným čerpadlem s elektricky poháněným kompresorem SPF_{sys} se určí vztahem:

$$SPF_{sys} = \frac{Q_{T\check{c}} + Q_d}{E_{T\check{c}} + E_{pom} + E_d} \quad [-], \quad (34)$$

kde $Q_{T\check{c}}$ je roční nebo měsíční dodávka tepla tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody a vytápění [kWh];

Q_d je dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem (záložním ohříváčem) [kWh];

$E_{T\check{c}}$ je roční nebo měsíční potřeba elektrické energie tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění [kWh];

E_{pom} je roční nebo měsíční potřeba pomocné elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění [kWh];

E_d je příkon doplňkového tepelného zdroje (záložního ohříváče) [kWh].

Výpočet byl proveden v programu MS Excel a je uveden v příloze 7.

Potřebnými vstupními údaji pro výpočet jsou informace o klimatických podmínkách, charakteristice tepelného čerpadla a soustavě vytápění a ohřevu TV.

Teplotní charakteristiku klimatických podmínek udávají TNI 73 0351 [16] a TNI 73 0331 [17].

Zvoleným tepelným čerpadlem je jednotka BoxAir Inverter BA22I firmy Master Therm CZ s.r.o. (viz Obr. 14) o jmenovitém tepelném výkonu 5 kW. Jedná se o inverterovou jednotku, tudíž otáčky kompresoru mohou být plynule řízeny regulací, která je lineární podle daných setpointů. Jednotka je v monoblokovém provedení.



Obr. 14 Tepelné čerpadlo Master Therm BoxAir Inverter BA22I [18]

Potřebné výkonové parametry jednotky jsou stanovené pro zkušební podmínky dané normou ČSN EN 14511, při teplotě na vstupu do výparníku t_{v1}

a teplotě na výstupu z kondenzátoru t_{k2} . Krajiní hodnoty jsou určeny z technického listu výrobce [19], ostatní jsou interpolovány, viz Tab. 16 a Tab. 17.

Tab. 16 Hodnoty výkonů TČ pro dané zkušební podmínky

Výkon tepelného čerpadla ϕ_k [kW]				
t_{k2} [°C] \ t_{v1} [°C]	-7	2	7	15
35	4,0	4,7	5,3	6,0
45	3,8	4,4	5,1	5,8
55	3,5	4,2	4,8	5,5

Tab. 17 Hodnoty topných faktorů TČ pro dané zkušební podmínky

Topný faktor tepelného čerpadla COP [-]				
t_{k2} [°C] \ t_{v1} [°C]	-7	2	7	15
35	2,9	3,9	5,0	6,0
45	2,6	3,3	4,1	4,9
55	2,2	2,7	3,3	3,8

- **Potřeba tepla na vytápění** [20]

Vytápěcí denostupně D se určí vztahem:

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [\text{K} \cdot \text{dny}], \quad (35)$$

kde d je délka otopného období [dny];
 t_{is} je vnitřní teplota [°C];
 t_{es} je průměrná teplota během otopného období [°C].

Roční potřeba tepla na vytápění $Q_{VYT,r}$ se určí vztahem:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 10^{-3} \quad [\text{MWh/rok}], \quad (36)$$

kde ε je opravný součinitel [-];
 η_o je účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [-];
 η_r je účinnost rozvodu vytápění [-];
 Q_c je tepelná ztráta objektu [kW];
 t_e je venkovní výpočtová teplota [°C].

Výsledné hodnoty výpočtu potřeby tepla na vytápění jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 18 Výpočet potřeby tepla na vytápění

Tepelná ztráta objektu	Q_c	[kW]	2,381
Průměrná vnitřní teplota	t_{is}	[°C]	20
Průměrná teplota během otopného období	t_{es}	[°C]	3,4
Délka otopného období	d	[dny]	221
Opravný součinitel	ε	[-]	0,68
Účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy	η_o	[-]	0,95
Účinnost rozvodu vytápění	η_r	[-]	0,95
Vytápěcí denostupně	D	[K·dny]	3669
Roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{VYT,r}$	[MWh/rok]	4,5

• **Potřeba tepla na ohřev TV** [20]

Denní potřeba tepla na ohřev TV:

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{kWh}], \quad (37)$$

kde z je koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TV [-];
 V_{2p} je celková potřeba TV za 1 den [m^3/den];
 t_1 je teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$];
 t_2 je teplota ohřáté vody [$^{\circ}\text{C}$].

Roční potřeba tepla na ohřev TV při rozdílných teplotách vody z řádu v létě a zimě:

$$Q_{TV,r} = \left[Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{sv,l}}{t_2 - t_{sv,z}} \cdot (N - d) \right] \cdot 10^{-3} \quad [\text{MWh/rok}], \quad (38)$$

kde $t_{sv,l}$ je teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$];
 $t_{sv,z}$ je teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$];
 N je počet pracovních dní soustavy v roce [-].

Výsledné hodnoty výpočtu potřeby tepla na TV jsou uvedeny v Tab. 19.

Tab. 19 Výpočet potřeby tepla na teplou vodu

Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TV	z	[-]	0,3
Teplota studené vody	t_1	[$^{\circ}\text{C}$]	10
Teplota ohřáté vody	t_2	[$^{\circ}\text{C}$]	50
Celková potřeba teplé vody za 1 den	V_{2p}	[m^3/den]	0,2
Počet pracovních dní soustavy v roce	N	[dny]	365
Teplota studené vody v zimě	$t_{sv,z}$	[$^{\circ}\text{C}$]	5
Teplota studené vody v létě	$t_{sv,l}$	[$^{\circ}\text{C}$]	15
Denní potřeba tepla pro ohřev TV	$Q_{TV,d}$	[kWh]	12,0
Roční potřeba tepla pro ohřev TV	$Q_{TV,r}$	[MWh/rok]	3,7

• **Režim přípravy teplé vody** [16]

Vstupní hodnoty:

- Teplota připravované TV t_{TV} 50 $^{\circ}\text{C}$.
- Příkon pomocných zařízení ohřevu TV $P_{pom,TV}$ 30 W.

Následující výpočty, (39) až (47), byly stanoveny pro jednotlivé teplotní intervaly j v každém měsíci k .

Potřeba tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,j}$:

$$Q_{p,TV,j} = Q_{p,TV} \cdot f_{TV,j} \quad [\text{kWh}], \quad (39)$$

kde $Q_{p,TV}$ je měsíční celková potřeba tepla na přípravu TV [kWh];
 $f_{TV,j}$ je podíl z celkové potřeby tepla na přípravu TV [-].

Teplota na výstupu z TČ $t_{k2,j}$:

$$t_{k2,j} = t_{TV} + \Delta t_{TV} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (40)$$

kde t_{TV} je teplota připravované teplé vody [$^{\circ}\text{C}$];
 Δt_{TV} je teplotní rozdíl na výměníku mezi přiváděnou otopnou vodou a připravovanou teplou vodou [$^{\circ}\text{C}$].

U tepelných čerpadel vzduch-voda je závislost tepelného výkonu na venkovní teplotě, respektive COP na venkovní teplotě, nelineární. Z tohoto důvodu je pro proložení dat nezbytné použít polynom vyššího řádu pomocí regrese do podoby matematického vztahu (41), pomocí kterého byly určeny tepelné výkony $Q_{TČ,TV,j}$ a $COP_{TV,j}$:

$$P_{Q,COP} = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad , \quad (41)$$

kde $P_{Q,COP}$ je obecná výkonová charakteristika;
 t_{v1} je teplota na vstupu do výparníku [$^{\circ}\text{C}$];
 t_{k2} je teplota na výstupu z kondenzátoru [$^{\circ}\text{C}$].

Tab. 20 Koeficienty polynomu tepelného výkonu a tepelného faktoru

	A	B	C	D	E	F
$Q_{TČ,TV}$	4,972	0,088	-0,003	5,82E-04	-2,50E-04	-1,05E-18
COP_{TV}	5,826	0,260	-0,058	6,76E-04	1,39E-18	-3,48E-03

Dostupné teplo z tepelného čerpadla $Q_{TČ,TV,avail}$ pro přednostní ohřev TV:

$$Q_{TČ,TV,avail} = Q_{TČ,TV} \cdot \tau_j \quad [\text{kWh}], \quad (42)$$

kde τ_j je doba trvání výpočtového intervalu j [h].

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{TČ,TV,del}$ je minimální hodnotou z potřeby tepla na přípravu teplé vody $Q_{p,TV,j}$ a dostupného tepla $Q_{TČ,TV,avail}$:

$$Q_{TČ,TV,del} = \min(Q_{p,TV,j}; Q_{TČ,TV,avail}) \quad [\text{kWh}]. \quad (43)$$

Potřeba elektrické energie $E_{T\check{C},TV}$ pro provoz TČ v režimu ohřevu TV se určí ze vztahu:

$$E_{T\check{C},TV} = \frac{Q_{T\check{C},TV,del}}{COP_{TV}} \quad [\text{kWh}]. \quad (44)$$

Doba provozu TČ $\tau_{T\check{C},TV}$ pro ohřev TV:

$$\tau_{T\check{C},TV} = \frac{Q_{T\check{C},TV,del}}{Q_{T\check{C},TV}} \quad [\text{h}]. \quad (45)$$

Potřeba tepla doplňkového zdroje tepla $Q_{d,TV}$:

$$Q_{d,TV} = Q_{p,TV,j} - Q_{T\check{C},TV,del} \quad [\text{kWh}]. \quad (46)$$

Potřeba pomocné energie $E_{pom,TV}$ soustavy s TČ:

$$E_{pom,TV} = P_{pom,TV} \cdot \tau_{T\check{C},TV} \quad [\text{kWh}]. \quad (47)$$

Hodnoty výpočtu SPF pro ohřev TV jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21 Výpočet sezónního topného faktoru SPF pro ohřev TV

Výpočet sezónního topného faktoru SPF pro ohřev TV											
Měsíc	Počet hodin	$t_{průměr}$ [°C]	$Q_{p,TV}$ [kWh]	$Q_{T\check{C},TV,del}$ [kWh]	$E_{T\check{C},TV}$ [kWh]	$\tau_{T\check{C},TV}$ [h]	$Q_{d,TV}$ [kWh]	$E_{pom,TV}$ [kWh]	COP_{TV} [-]	SPF_{TV} [-]	
Leden	744	-1,3	317	317	109	76	0	2	2,91	2,85	
Únor	672	-0,1	287	287	109	73	0	2	2,62	2,57	
Březen	744	3,7	317	317	96	69	0	2	3,32	3,25	
Duben	720	8,1	307	307	84	62	0	2	3,66	3,58	
Květen	744	13,3	317	317	77	59	0	2	4,11	4,02	
Červen	720	16,1	307	307	70	54	0	2	4,38	4,28	
Červenec	744	18,0	317	317	67	53	0	2	4,71	4,60	
Srpen	744	17,9	317	317	68	53	0	2	4,68	4,57	
Září	720	13,5	307	307	74	56	0	2	4,16	4,07	
Říjen	744	8,3	317	317	84	63	0	2	3,78	3,70	
Listopad	720	3,2	307	307	92	66	0	2	3,35	3,28	
Prosinec	744	0,5	317	317	112	77	0	2	2,83	2,78	
Ročně	8760		3738	3738	1042	760	0	23	3,59	3,51	

• **Režim vytápění** [16]

Vstupní hodnoty:

– Příkon pomocných zařízení vytápění	$P_{pom,VYT}$	30 W.
– Návrhová teplota otopné vody – topná	t_{w1}	30 °C.
– Návrhová teplota otopné vody – vratka	t_{w2}	25 °C.
– Vnitřní teplota vzduchu	t_i	20 °C.
– Venkovní výpočtová teplota	t_e	- 15 °C.
– Teplotní exponent – podlahové vytápění	m	1,1.

Následující výpočty, (48) až (58), byly stanoveny pro jednotlivé teplotní intervaly j v každém měsíci k .

Průměrná tepelná ztráta objektu ϕ_{HL} pro jednotlivé měsíce se určí přepočtem na základě tepelné ztráty při venkovní výpočtové teplotě:

$$\phi_{HL} = Q_c \cdot \frac{t_i - t_{e,průměr,k}}{t_i - t_e} \quad [\text{kW}], \quad (48)$$

kde Q_c je tepelná ztráta objektu při venkovní výpočtové teplotě [kWh];
 $t_{e,průměr,k}$ je průměrná venkovní teplota v daném měsíci [°C].

Potřeba tepla na vytápění $Q_{p,VYT,j}$:

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{p,VYT} \cdot f_{VYT,j} \quad [\text{kWh}], \quad (49)$$

kde $Q_{p,VYT}$ je měsíční celková potřeba tepla na vytápění [kWh];
 $f_{VYT,j}$ je podíl z celkové potřeby tepla na vytápění [-].

Ekvitermní teplota otopné vody $t_{w1,j}$:

$$t_{w1,j} = t_i + \frac{t_{w1} - t_{w2}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_e} + \left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_e} \right)^{\frac{1}{m}} \quad [^\circ\text{C}], \quad (50)$$

kde $t_{em,j}$ je střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [°C].

Požadovaná teplota otopné vody na výstupu z TČ $t_{k2,j}$:

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} + \Delta t_w \quad [^\circ\text{C}], \quad (51)$$

kde Δt_w je uvažované zvýšení teploty vody z důvodu nabíjení zásobníku otopné vody pro omezení cyklování tepelného čerpadla [°C].

Při kombinaci ohřevu teplé vody a vytápění je vždy přednostně dohříván zásobník TV. Proto je nezbytné nejprve určit zbývající dobu provozu tepelného čerpadla pro vytápění $\tau_{T\check{C},VYT,avail}$:

$$\tau_{T\check{C},VYT,avail} = \tau_j - \tau_{T\check{C},TV} \quad [\text{h}]. \quad (52)$$

Dostupné teplo z tepelného čerpadla $Q_{T\check{C},VYT,avail}$ pro vytápění:

$$Q_{T\check{C},VYT,avail} = Q_{T\check{C},VYT} \cdot \tau_{T\check{C},VYT,avail} \quad [\text{kWh}], \quad (53)$$

kde $Q_{T\check{C},VYT}$ je tepelný výkon TČ stanovený rovnicí (41) s koeficienty z Tab. 20 pro vytápění [kW].

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{T\check{C},VYT,del}$ je minimální hodnotou z potřeby tepla na vytápění $Q_{p,VYT,j}$ a dostupného tepla $Q_{T\check{C},VYT,avail}$:

$$Q_{T\check{C},VYT,del} = \min(Q_{p,VYT,j}; Q_{T\check{C},VYT,avail}) \quad [\text{kWh}]. \quad (54)$$

Potřeba elektrické energie TČ $E_{T\check{C},VYT}$ pro provoz TČ v režimu vytápění se určí ze vztahu:

$$E_{T\check{C},VYT} = \frac{Q_{T\check{C},VYT,del}}{COP_{VYT}} \quad [\text{kWh}]. \quad (55)$$

Doba provozu TČ $\tau_{T\check{C},VYT}$ pro vytápění:

$$\tau_{T\check{C},VYT} = \frac{Q_{T\check{C},VYT,del}}{Q_{T\check{C},VYT}} \quad [\text{h}]. \quad (56)$$

Potřeba tepla doplňkového zdroje tepla $Q_{d,VYT}$:

$$Q_{d,VYT} = Q_{p,VYT,j} - Q_{T\check{C},VYT,del} \quad [\text{kWh}]. \quad (57)$$

Potřeba pomocné energie $E_{pom,VYT}$ soustavy s TČ:

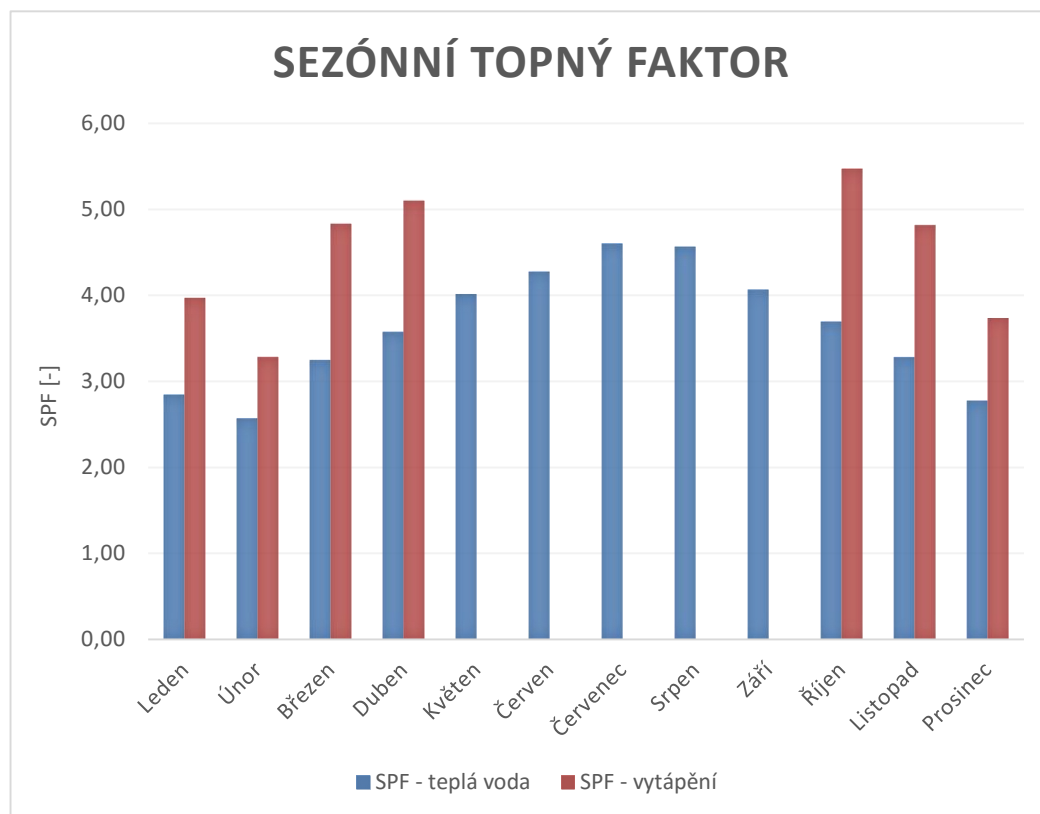
$$E_{pom,VYT} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{T\check{C},VYT} \quad [\text{kWh}]. \quad (58)$$

Hodnoty výpočtu SPF pro vytápění jsou uvedeny v Tab. 22.

Sezónní topný faktor pro ohřev TV a vytápění je pro jednotlivé měsíce znázorněn v Obr. 15.

Tab. 22 Výpočet sezónního topného faktoru *SPF* pro vytápění

Výpočet sezónního topného faktoru <i>SPF</i> pro vytápění											
Měsíc	Počet hodin	$t_{e,průměr}$ [°C]	ϕ_{HL} [kW]	$Q_{p,VYT}$ kWh	$Q_{TČ,VYT,del}$ [kWh]	$E_{TČ,VYT}$ [kWh]	$\tau_{TČ,VYT}$ [h]	$Q_{d,VYT}$ [kWh]	$E_{pom,VYT}$ [kWh]	COP_{VYT} [-]	SPF_{VYT} [-]
Leden	744	-1,3	1,45	1078	1078	264	232	0	7	4,08	3,97
Únor	672	-0,1	1,37	919	919	274	213	0	6	3,36	3,28
Březen	744	3,7	1,11	825	825	166	163	0	5	4,97	4,83
Duben	720	8,1	0,81	583	583	111	112	0	3	5,25	5,10
Květen	744	13,3	0,46	339	339	58	62	0	2	-	-
Červen	720	16,1	0,27	191	191	30	33	0	1	-	-
Červenec	744	18,0	0,14	101	101	15	17	0	1	-	-
Srpen	744	17,9	0,14	106	106	16	18	0	1	-	-
Září	720	13,5	0,44	318	318	51	56	0	2	-	-
Říjen	744	8,3	0,80	592	592	105	110	0	3	5,64	5,47
Listopad	720	3,2	1,14	823	823	166	162	0	5	4,96	4,82
Prosinec	744	0,5	1,33	987	987	258	217	0	7	3,83	3,74
Ročně	8760		9,44	6863	6863	1513	1395	0	42	4,54	4,41



Obr. 15 Sezónní topný faktor *SPF* pro ohřev TV a vytápění v průběhu roku

• **Zhodnocení návrhu soustavy a výsledný SPF**

Jak již bylo řečeno, topný faktor TČ je závislý nejen na teplotě venkovního vzduchu, ale také na požadované teplotě výstupní vody. Potvrzují to také výpočty sezónního topného faktoru SPF pro ohřev teplé vody ($SPF_{TV} = 3,51$) a pro vytápění ($SPF_{VYT} = 4,41$). Z tohoto důvodu bude pro návrh zapojení TČ do soustavy pro ohřev teplé vody a vytápění zvoleno zapojení přes třicestný ventil, který bude přepínat podle daného požadavku.

Výsledný sezónní topný faktor celého systému určíme rozepsáním vztahu (34). Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 23.

$$SPF_{sys} = \frac{Q_{TČ,TV,del} + Q_{d,TV} + Q_{TČ,VYT,del} + Q_{d,VYT}}{E_{TČ,TV} + Q_{d,TV} + E_{pom,TV} + E_{TČ,VYT} + Q_{d,VYT} + E_{pom,VYT}} \quad [-].$$

Tab. 23 Výsledný sezónní topný faktor celého systému

Měsíc	$Q_{celk,sys}$ [kWh]	$E_{celk,sys}$ [kWh]	SPF_{sys} [-]
Leden	1396	383	3,65
Únor	1206	392	3,08
Březen	1142	268	4,26
Duben	890	200	4,45
Květen	657	139	4,74
Červen	498	103	4,85
Červenec	419	85	4,95
Srpen	424	86	4,91
Září	626	128	4,88
Říjen	910	194	4,69
Listopad	1130	264	4,27
Prosinec	1304	378	3,45
Ročně	10601	2620	4,05

Podle evropské směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů 2009/28/ES [21] je minimální hodnota sezónního topného faktoru soustavy s tepelným čerpadlem definována jako:

$$SPF > 1,15 \cdot F = 1,15 \cdot \frac{1}{\eta_e} \quad [-], \quad (59)$$

kde F je faktor neobnovitelné primární energie (konverzní faktor) [-];
 η_e je celková účinnost výroby elektrické energie (energetického systému) [-].

Evropským průměrem účinnosti energetického systému je podle [22] hodnota 45,5 %, nicméně pro ČR je udávána účinnost pouze okolo 30 % [22]. Z tohoto důvodu musí SPF soustavy dosahovat minimální hodnoty 3,83, aby mohlo být TČ v dané soustavě označováno za obnovitelný zdroj energie.

V opačném případě by využití elektrické energie v soustavě s TČ bylo neekologické a energeticky nevýhodné vůči její výrobě z primárních neobnovitelných paliv.

Navrženou soustavu s TČ lze označit za soustavu s obnovitelným zdrojem energie. Účinnost využití primární energie PER (Primary Energy Ratio) určíme podle [22] jako:

$$PER = \frac{Q}{PE} = \frac{SPF}{F} \quad [-], \quad (60)$$

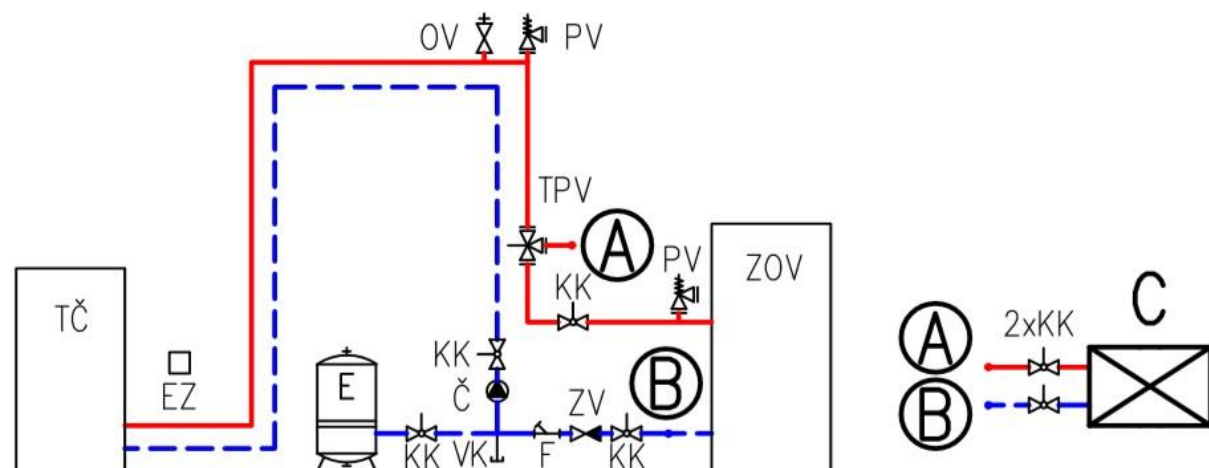
kde Q je teplo dodané soustavou [kWh];
 PE je potřeba neobnovitelné primární energie [kWh].

Soustava s TČ dosahuje účinnosti využití primární energie PER hodnoty 1,22.

5.4.2 Zapojení TČ do soustavy

Tepelné čerpadlo je zapojeno přes třicestný přepínací ventil do zásobníku na ohřev teplé vody a sestavy rozdělovač/sběrač podlahového vytápění (viz Obr. 16). Třicestný ventil je řízen řídicí jednotkou TČ. Ta vyhodnocuje požadavek přepínání na základě aktuální teploty v zásobníku TV (teplotní čidlo umístěno ve 2/3 zásobníku) a teploty v okruhu vytápění.

Teplotní spád v okruhu TČ pro ohřev TV navržen na 55/47 °C. Požadovaná teplota vody v zásobníku je 50 °C s hysterezí 5 °C.



Obr. 16 Zapojení tepelného čerpadla v soustavě

5.4.3 Návrh bezpečnostních prvků soustavy s TČ

Návrh pojistného ventilu

Pojistný ventil slouží k zabránění překročení maximálního dovoleného přetlaku v soustavě, který by mohl způsobit poškození dalších komponent.

Maximální přetlak vody udávaný v technickém listu TČ je 250 kPa [19].

Následující výpočet byl proveden dle podkladů z předmětu vytápění.

Zvolený pojistný ventil IVAR.PV 311 - 3/4" FF - 2,5 bar je znázorněn na Obr. 17.



Obr. 17 Pojistný ventil IVAR.PV 311 [23]

- Otevírací přetlak $p_{ot} = 250$ kPa.
- Výtokový součinitel $\alpha_v = 0,5$.
- Průřez sedla pojistného ventilu $S_0 = 132,7$ mm².

Minimální průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_{0,\min} = \frac{2 \cdot \dot{Q}_p}{\alpha_v \cdot p_{ot}^{0,5}} = \frac{2 \cdot 5}{0,5 \cdot 250^{0,5}} = 1,27 \text{ mm}^2. \quad (61)$$

Minimální průměr přípojného potrubí:

$$d_{\min} = 10 + 0,6 \cdot \dot{Q}_p^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 5^{0,5} = 11,34 \text{ mm}. \quad (62)$$

Z vypočítaných hodnot minimálního průřezu sedla pojistného ventilu a průměru přípojného potrubí lze říci, že zvolený pojistný ventil vyhovuje dané aplikaci.

Návrh expanzní nádoby

Expanzní nádoba vyrovnává změny objemu vody v soustavě způsobené teplotní roztažností.

Následující výpočet byl proveden dle podkladů z předmětu vytápění.

Objem vody v TČ	20 l
Objem vody v potrubí	5 l
Objem vody ve výměníku zásobníku TV	9,5 l
Objem vody v podlahovém vytápění	48 l
Celkem	82,5 l

Poměrné zvětšení objemu vody Δv 0,017

Dovolený provozní tlak A 250 kPa

Minimální provozní tlak p_1 80 kPa

Výpočet objemu expanzní nádoby:

$$V_e = 1,3 \cdot V \cdot \Delta v \cdot \frac{A}{A - p_1} = 1,3 \cdot 82,5 \cdot 0,017 \cdot \frac{250}{250 - 80} = 2,7 \text{ l}. \quad (63)$$

Na základě výpočtu minimálního objemu expanzní nádoby byla zvolena expanzní nádoba Regulus HS005 o objemu 5 l (viz Obr. 18).

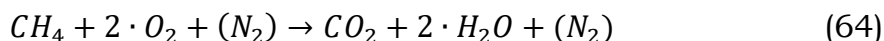


Obr. 18 Expanzní nádoba Regulus HS005 [24]

5.5 Zdrojem tepla kondenzační plynový kotel

Výhřevnost plynu je rovna spalnému teplu, poníženému o teplo uvolněné kondenzací vodní páry ze spalin.

Rovnice spalování zemního plynu:



Běžné plynové kotle nejsou schopny latentní teplo vzniklé vodní páry využít a ta odchází spolu s oxidem uhličitým ve formě spalin.

U kondenzačních kotlů je možné latentního tepla využít ochlazením spalin pod teplotu rosného bodu, kdy vodní pára ve spalinách kondenzuje. Do proudu spalin je umístěn výměník, kde se toto teplo využívá pro předehřev vratné vody. Aby bylo využito této výhody kondenzačního kotle, musí mít vratná voda nižší teplotu, než je teplota rosného bodu spalin. Proto jsou kondenzační kotle využívány především jako nízkoteplotní zdroje tepla.

Pro daný návrh byl z důvodu regulace výkonu až na 0,9 kW (udávaný výkonový rozsah 0,9 – 9,5 kW, modulace výkonu 10 – 100 % [25]) zvolen kondenzační kotel Geminox THRS 1-10C firmy Brilon a.s. (viz Obr. 19). Součástí jednotky je také oběhové čerpadlo Grundfos UPM 15-70 a expanzní nádoba o objemu 8 litrů.

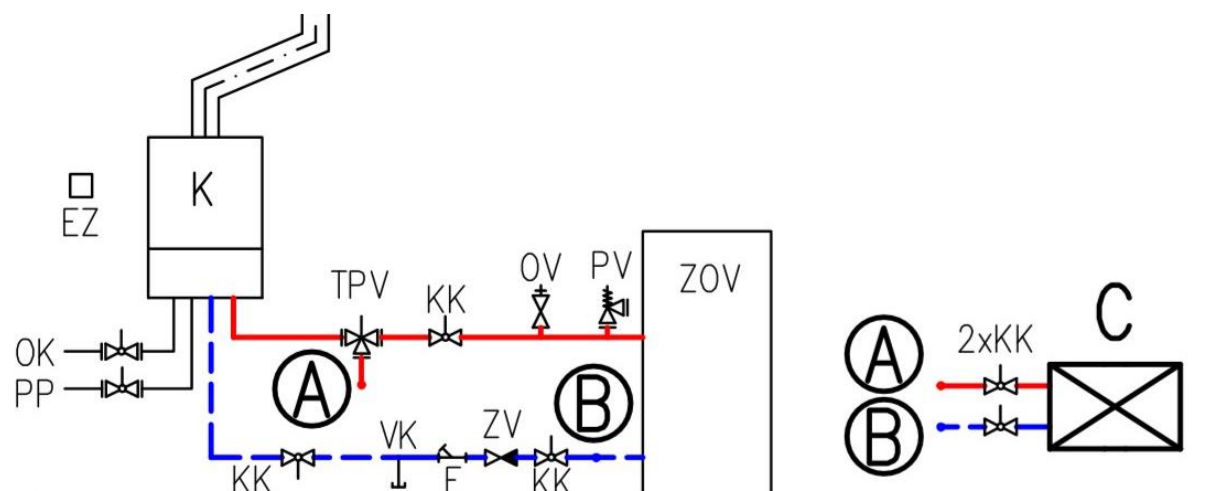


Obr. 19 Kondenzační kotel Geminox THRS 1-10C [25]

5.5.1 Zapojení kondenzačního kotle do soustavy

Zapojení kondenzačního kotle je včetně řízení třicestného ventilu totožné se zapojením TČ popsaném v kapitole 5.4.2 a je znázorněno na Obr. 20.

Teplotní spád v okruhu kotle pro ohřev TV navržen na 60/20 °C. Požadovaná teplota vody v zásobníku je 50 °C s hysterezí 5 °C.



Obr. 20 Zapojení kondenzačního kotle v soustavě

5.5.2 Návrh bezpečnostních prvků soustavy s kondenzačním kotlem

Návrh pojistného ventilu

Maximální přetlak vody udávaný v technickém listu kondenzačního kotle je 300 kPa [23].

Následující výpočet byl proveden dle podkladů z předmětu vytápění.

Zvolený pojistný ventil IVAR.PV 311 - 3/4" FF - 3 bar je znázorněn na Obr. 21.

- Otevírací přetlak $p_{ot} = 300$ kPa.
- Výtokový součinitel $\alpha_v = 0,5$.
- Průřez sedla pojistného ventilu $S_0 = 132,7$ mm².



Obr. 21 Pojistný ventil IVAR.PV 311 [23]

Minimální průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_{0,\min} = \frac{2 \cdot \dot{Q}_p}{\alpha_v p_{ot}^{0,5}} = \frac{2 \cdot 9,5}{0,5 \cdot 300^{0,5}} = 2,19 \text{ mm}^2. \quad (65)$$

Minimální průměr přípojného potrubí:

$$d_{\min} = 10 + 0,6 \cdot \dot{Q}_p^{0,5} = 10 + 0,6 \cdot 9,5^{0,5} = 11,85 \text{ mm}. \quad (66)$$

Z vypočítaných hodnot minimálního průřezu sedla pojistného ventilu a průměru přípojného potrubí lze říci, že zvolený pojistný ventil vyhovuje dané aplikaci.

Návrh expanzní nádoby

Následující výpočet byl proveden dle podkladů z předmětu vytápění.

Objem vody v kondenzačním kotli	2,5 l
Objem vody v potrubí	2 l
Objem vody ve výměníku zásobníku	9,5
TV	1
Objem vody v podlahovém vytápění	48 l
Celkem	62 l
Poměrné zvětšení objemu vody Δv	0,017
Dovolený provozní tlak A	300 kPa
Minimální provozní tlak p_1	100 kPa

Výpočet objemu expanzní nádoby:

$$V_e = 1,3 \cdot V \cdot \Delta v \cdot \frac{A}{A-p_1} = 1,3 \cdot 62 \cdot 0,017 \cdot \frac{300}{300-100} = 2,1 \text{ l.} \quad (67)$$

Na základě výpočtu minimálního objemu expanzní nádoby lze říci, že objem expanzní nádrže 8 l v kondenzačním kotli je dostatečný.

5.6 Stanovení křivky odběru a dodávky tepla, stanovení objemu zásobníku pro ohřev TV

Pro návrhové stanovení křivky odběru TV byl použit typický odběr TV podle [10].

Odběr TV v průběhu dne můžeme rozdělit do čtyř časových intervalů:

- *od 0 do 5 hodin* se neočekává prakticky žádný odběr TV,
- *od 5 do 17 hodin* je předpokládán odběr 35 % z celkového denního odběru,
- *od 17 do 20 hodin* je z důvodu hygienických potřeb uživatelů objektu předpokládán odběr až 50 %,
- *od 20 do 24 hodin* se jedná o zbytkový odběr, na který připadá zbylých 15 %.

5.6.1 Výpočet denní spotřeby tepla a ztráty tepla vedením v potrubí

Výpočet vychází z rovnice pro denní potřebu tepla na ohřev TV (37), která sestává ze součtu spotřeby tepla a ztrát vedením v potrubí.

Spotřeba tepla

$$Q_{2p} = V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{kWh/den}] \quad (68)$$

$$Q_{2p} = 0,2 \cdot 996,2 \cdot \frac{c}{3,6} \cdot (50 - 10)$$

$$Q_{2p} = 9,3 \text{ kWh/den}$$

Ztráta tepla vedením v potrubí

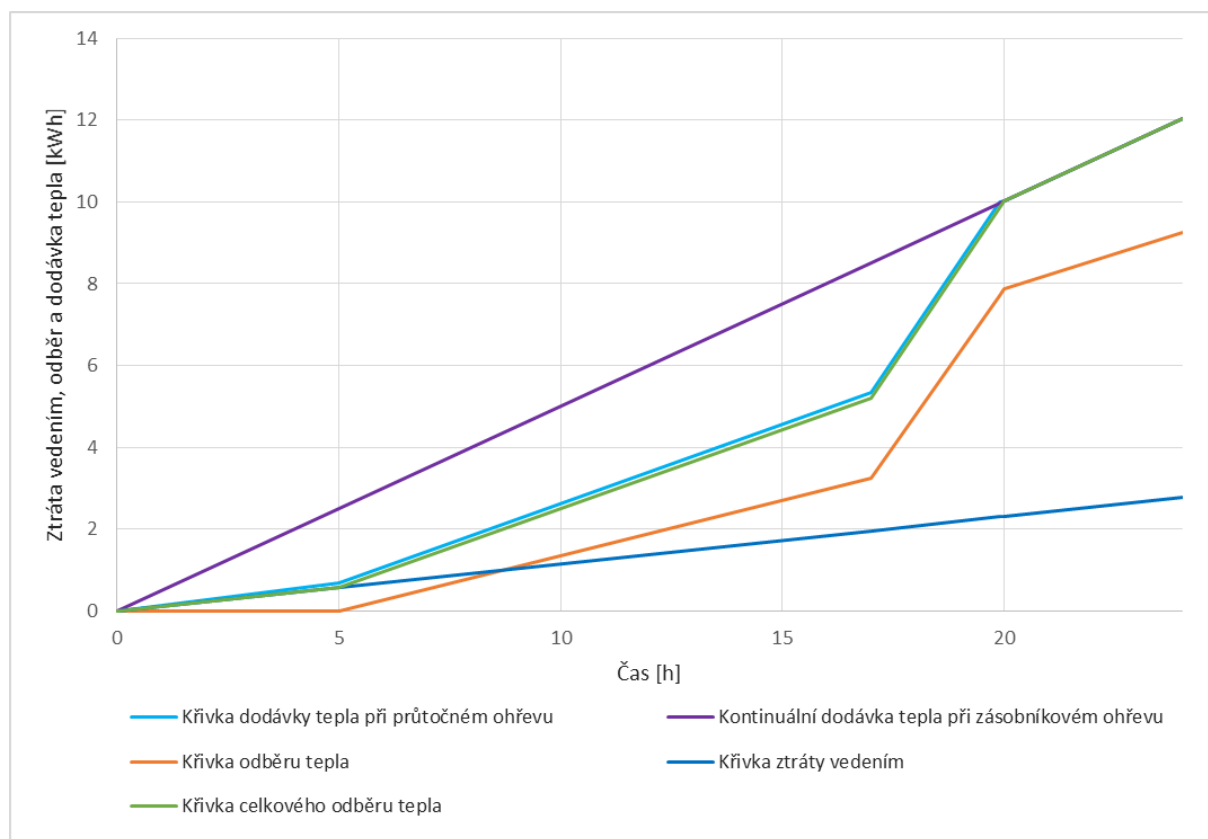
$$Q_{2z} = Q_{2p} \cdot z \quad [\text{kWh/den}] \quad (69)$$

$$Q_{2z} = 9,3 \cdot 0,3$$

$$Q_{2z} = 2,8 \text{ kWh/den}$$

5.6.2 Výsledný průběh křivek

Křivky odběru a dodávky tepla jsou znázorněny na Obr. 22.



Obr. 22 Graf průběhu ztráty tepla vedením v potrubí, odběru a dodávky tepla za den

5.6.3 Stanovení objemu zásobníku pro ohřev TV

Na Obr. 22 můžeme vidět, že největší rozdíl mezi křivkou kontinuální dodávky tepla a křivkou celkového odběru tepla je v 17 hodin, kdy tento rozdíl dosahuje hodnoty 3,3 kWh. Pro tuto hodnotu se podle [10] stanoví minimální velikost zásobníku V_z jako:



$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \quad [\text{m}^3], \quad (70)$$

kde ΔQ_{max} je největší rozdíl mezi kontinuální křivkou dodávky tepla a odběrem tepla [kWh].

$$V_z = \frac{3,3}{996,2 \cdot 4,18 \cdot (50 - 10)} \cdot 3600$$

$$V_z = 0,0717 \text{ m}^3 = 71,7 \text{ l}$$

Na základě minimální velikosti zásobníku pro ohřev TV byl zvolen zásobník Regulus RBC 200 s jedním výměníkem, elektrickým topným tělesem a užitným objemem 200 litrů (viz Obr. 23).

Obr. 23 Zásobník pro ohřev TV Regulus RBC 200 [26]

5.7 Volba třícestného ventilu

Zvolen byl 3cestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4“, znázorněný na Obr. 24. Jedná se o zónový šoupátkový ventil firmy MUT, oboustranně motorický s PN 10 a jednopólovým ovládáním.



Obr. 24 Třícestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4" [27]

5.8 Ekvitermní regulace a řízení na požadovanou teplotu TV

Ekvitermní regulace

Pro řízení tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů v režimu vytápění se často používá ekvitermní regulace. Požadované teploty v místnosti je dosaženo nastavením teploty topné vody, respektive regulací zdroje tepla, na základě venkovní teploty.

Z důvodu požadavku na nižší teplotu otopné vody se zvyšující se venkovní teplotou, se zvyšuje také účinnost navrhovaných zdrojů tepla.

Na základě různé venkovní teploty a požadované vnitřní teploty se mění tepelná ztráta objektu, tudíž i požadovaný výkon otopného systému. Pro výpočtovou venkovní teplotu -15 °C a vnitřní teplotu převážně 20 °C je v kapitole 4 vypočítána tepelná ztráta $2,381\text{ kW}$. Při návrhu otopné soustavy byl zvolen teplotní spád otopné vody $30/25\text{ °C}$.

Následujícím výpočtem z programu MS Excel stanovíme střední teplotu otopné vody pro venkovní teploty od -15 °C do 26 °C a vnitřní teploty od 20 °C do 26 °C , čímž určíme jednotlivé ekvitermní křivky.

Vzorový výpočet bude proveden pro venkovní teplotu -2 °C a vnitřní teplotu 21 °C . Výkon podlahového vytápění je navržen vždy tak, aby pokryl celou tepelnou ztrátu objektu.

Přepočítání tepelné ztráty:

$$\phi = \phi_c \cdot \frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} \quad [\text{kW}], \quad (71)$$

kde ϕ_c je výpočtová tepelná ztráta [kW];
 $t_{i,n}$ je návrhová vnitřní teplota [°C];
 $t_{e,n}$ je návrhová venkovní teplota [°C];
 $t_{i,v}$ je výpočtová vnitřní teplota [°C];
 $t_{e,v}$ je výpočtová venkovní teplota [°C].

$$\phi = 2,381 \cdot \frac{21 - (-2)}{20 - (-15)} = 1,565\text{ kW}$$

Přepočítání Δt na vodě:

$$\Delta t = (t_{w1} - t_{w2}) \cdot \frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} \quad [^\circ\text{C}], \quad (72)$$

kde t_{w1} je návrhová teplota otopné vody – topná [°C];
 t_{w2} je návrhová teplota otopné vody – vratka [°C].

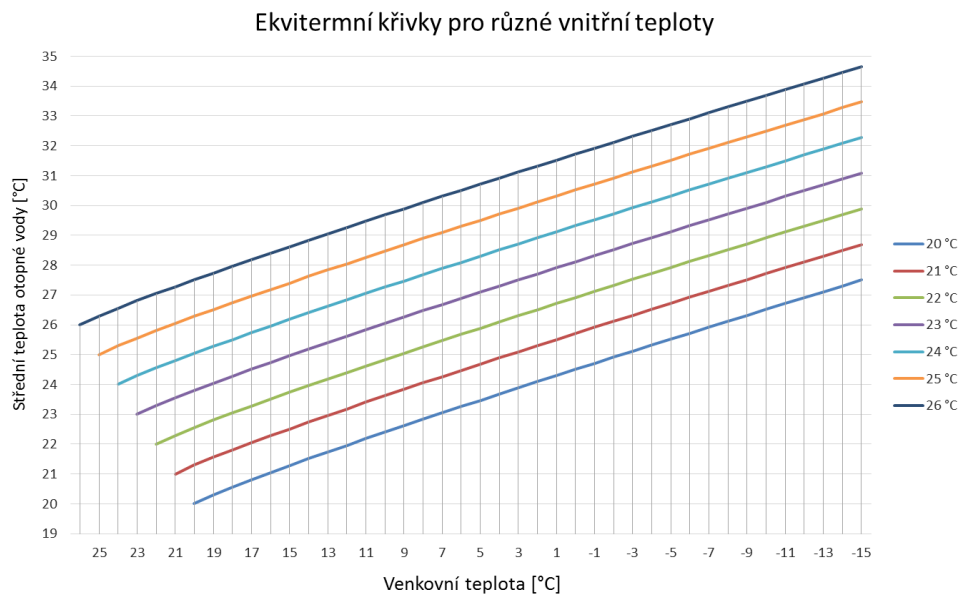
$$\Delta t = (30 - 25) \cdot \frac{21 - (-2)}{20 - (-15)} = 3,29\text{ °C}$$

Střední teplota otopné vody se podle [28] určí jako:

$$t_m = t_{i,n} + \left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_{i,v} \right) \cdot \left(\frac{t_{i,n} - t_{e,n}}{t_{i,v} - t_{e,v}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad [^\circ\text{C}], \quad (73)$$

kde m je teplotní exponent otopného tělesa [-].

$$t_m = 21 + \left(\frac{30 + 25}{2} - 20 \right) \cdot \left(\frac{21 - (-2)}{20 - (-15)} \right)^{\frac{1}{1,1}} = 26,12\text{ °C}$$



Obr. 25 Ekvitermní křivky

Výsledné ekvitermní křivky jsou zobrazeny v Obr. 25. Vypočítané hodnoty pro jednotlivé křivky jsou uvedeny v příloze P6.

Samotná ekvitermní regulace je závislá od měřené venkovní teploty, avšak není schopna reagovat na vnější nebo vnitřní tepelné zisky objektu. Pro dokonalejší regulaci se z tohoto důvodu používá ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu, která je měřena v referenční místnosti. Výše popsaný systém ekvitermní regulace je poté korigován paralelním posunutím otopné křivky. Korekce žádané teploty v prostoru $t_{i,wk}$ je podle [29] popsána vztahem:

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{KOR}{2} \cdot (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (74)$$

kde $t_{i,w}$ je žádaná teplota v prostoru [$^{\circ}\text{C}$];
 $t_{i,x}$ je aktuální teplota prostoru [$^{\circ}\text{C}$];
 KOR je faktor vlivu prostorové teploty [-], kterým je možno přímo zvětšit, resp. snížit vliv teploty prostoru.

Uvedený vztah slouží především pro korekci krátkodobou. Pro vhodnější regulaci z dlouhodobého pohledu se používají tzv. samoadaptivní regulátory se schopností „učit se“. Tyto regulátory zaznamenávají a vyhodnocují data, na základě kterých jsou schopny nejenom korigovat otopnou křivku, ale také předjímat časový vývoj teplot. Aktuální měřené teplotě poté přizpůsobuje predikované nastavení.

Regulátor by měl umožňovat nastavení například časového programu, nočního útlumového režimu, letního intervalového protáčení oběhových čerpadel a intervalového pohybu regulačních armatur.

Řízení na požadovanou teplotu TV

Regulace na základě měření teploty vody ve 2/3 výšky zásobníku zajištěna zapínáním a vypínáním oběhového čerpadla okruhu a zdroje tepla.

6 Pořizovací náklady

Pro variantu teplovzdušného vytápění (stávající druh vytápění), navržené soustavy s tepelným čerpadlem, navržené soustavy s kondenzačním kotlem a vytápění elektrokotlem byly v Tab. 24, Tab. 25, Tab. 26 a Tab. 27 z kalkulovány pořizovací náklady. Varianta vytápění elektrokotlem je uvedena pro srovnání. Uvedené ceny jsou převzaty z ceníků výrobců nebo internetového obchodu www.etzbshop.cz/.

Tab. 24 Pořizovací náklady soustavy teplovzdušného vytápění

Číslo položky	Popis	Množství	Jednotka	Cena za jednotku	Cena vč. DPH
1	Vzduchotechnická jednotka Duplex RA4-EC	1	ks	98010	98010
2	Integrovaný zásobník tepla IZT-U-TS 650 L	1	ks	69974	69974
3	Oběhové čerpadlo Grundfos UPS 25-25	1	ks	4845	4845
4	Třicestný směšovací ventil	1	ks	2977	2977
5	Expanzní nádoba 80 l	1	ks	4731	4731
6	Ventil pro expanzní nádobu	1	ks	571	571
7	Napouštěcí a vypouštěcí kulový kohout 3/4"	1	ks	83	83
8	Kulový kohout 3/4"	4	ks	159	636
9	Zpětná klapka 3/4"	1	ks	288	288
10	Y - filtr 3/4"	1	ks	223	223
11	Pojistný ventil - 3 bar	2	ks	273	546
12	CU potrubí 22x1	10	m	33	330
13	Izolace Tubolit DG 22-13	10	m	8	80
20	Solární kolektor FSC 21	2	ks	11000	22000
21	Oběhové čerpadlo Grundfos UPS 25-40	1	ks	2408	2408
22	Expanzní nádoba 18 l	1	ks	1258	1258
23	Ventil pro expanzní nádobu	1	ks	571	571
24	Kulový kohout 3/4"	1	ks	159	159
25	Kulový kohout 1/2"	2	ks	103	206
26	Zpětná klapka 3/4"	1	ks	288	288
27	Pojistný ventil - 6 bar	1	ks	202	202
28	CU potrubí 18x1	20	m	27	540
29	Izolace Tubolit DG 18-13	20	m	6	120
30	Trubkové otopné těleso Korado KL 1820/600	1	ks	3068	3068
31	CU potrubí 15x1	30	m	20	600
32	Izolace Tubolit DG 15-9	30	m	4	120

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
MARIO JANKOLA

40	Krbová kamna Polar 10 Aqua	1	ks	33000	33000
41	Oběhové čerpadlo Grundfos UPS 25-25	1	ks	4845	4845
42	Třicestný směšovací ventil	1	ks	2977	2977
43	Kulový kohout 3/4"	5	ks	159	795
44	Y - filtr 3/4"	1	ks	223	223
45	CU potrubí 22x1	15	m	33	495
46	Izolace Tubolit DG 22-13	15	m	8	120
50	Komín	1	ks	50000	50000
Celkem					307 289 Kč

Tab. 25 Pořizovací náklady soustavy s TČ

Číslo položky	Popis	Množství	Jednotka	Cena za jednotku	Cena vč. DPH
1	TČ Master Therm BoxAir 22I	1	ks	177749	177749
2	Zásobník TV Regulus RBC 200	1	ks	21030	21030
3	Oběhové čerpadlo Wilo Yonos Pico 25/1-6	1	ks	4054	4054
4	Třicestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4"	1	ks	3328	3328
5	Expanzní nádoba Regulus HS005	1	ks	629	629
6	Ventil pro expanzní nádobu 3/4"	1	ks	571	571
7	Napouštěcí a vypouštěcí kulový kohout 3/4"	1	ks	83	83
8	Kulový kohout 1500 3/4"	6	ks	159	954
9	Zpětná klapka 3/4" s kovovou membránou	1	ks	288	288
10	Pojistný ventil IVAR.PV 311 - 3/4" - 3 bar	2	ks	273	546
11	Automat. odvzdušňovací ventil 1/2"	1	ks	155	155
12	Y - filtr 3/4" s vyměnitelným sítkem	1	ks	223	223
13	CU potrubí 22x1	17	m	33	561
14	Izolace Tubolit DG 22-13	17	m	8	136
20	Sestava rozdělovač/sběrač IVAR.CS 553 VP - 9cestný	1	ks	12053	12053
21	Trubka PE-X 18x2	320	m	34	10880
22	Systémová deska Rehau Vario 23	95	m ²	256	24320
30	Trubkové otopné těleso Korado KRCE 1220.600	1	ks	3068	3068
40	Vzduchotechnická jednotka Duplex 205 Easy	1	ks	33759	33759
Celkem					294 387 Kč

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Tab. 26 Pořizovací náklady soustavy s kondenzačním kotlem

Číslo položky	Popis	Množství	Jednotka	Cena za jednotku	Cena vč. DPH
1	Kondenzační kotel Geminox THRS 1-10C	1	ks	71378	71378
2	Ekvitermní regulace kotle QAA74.611/101	1	ks	6412	6412
3	Sada pro ohřev TV W07.43804	1	ks	6049	6049
4	Web server pro dálkové ovládání OZW672.01.101	1	ks	10889	10889
5	Zásobník TV Regulus RBC 200	1	ks	21030	21030
6	Třícestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4"	1	ks	3328	3328
7	Napouštěcí a vypouštěcí kulový kohout 3/4"	1	ks	83	83
8	Kulový kohout 1500 3/4"	6	ks	159	954
9	Kulový kohout plyn 3/4"	1	ks	213	213
10	Zpětná klapka 3/4" s kovovou membránou	1	ks	288	288
11	Pojistný ventil IVAR.PV 311 - 3/4" - 3 bar	1	ks	273	273
12	Automat. odvzdušňovací ventil 1/2"	1	ks	155	155
13	Y - filtr 3/4" s vyměnitelným sítkem	1	ks	223	223
14	CU potrubí 22x1	5	m	33	165
15	Izolace Tubolit DG 22-13	5	m	8	40
20	Sestava rozdělovač/sběrač IVAR.CS 553 VP - 9cestný	1	ks	12053	12053
21	Trubka PE-X 18x2	320	m	34	10880
22	Systémová deska Rehau Vario 23	95	m ²	256	24320
30	Trubkové otopné těleso Korado KRCE 1220.600	1	ks	3068	3068
40	Komín	1	ks	50000	50000
41	Plynová přípojka	1	ks	20000	20000
50	Vzduchotechnická jednotka Duplex 205 Easy	1	ks	33759	33759
Celkem					275 559 Kč

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Tab. 27 Pořizovací náklady soustavy s elektrokotlem

Číslo položky	Popis	Množství	Jednotka	Cena za jednotku	Cena vč. DPH
1	Elektrokotel Thermona Therm EL 5	1	ks	24079	24079
2	Ekvitermní set PT 59	1	ks	2892	2892
3	Vnitřní čidlo teploty CT02-10K	1	ks	363	363
4	Teplotní sonda s kabelem	1	ks	218	218
5	Zásobník TV Regulus RBC 200	1	ks	21030	21030
6	Expanzní nádoba Regulus HS005	1	ks	629	629
7	Ventil pro expanzní nádobu 3/4"	1	ks	571	571
8	Třicestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4"	1	ks	3328	3328
9	Napouštěcí a vypouštěcí kulový kohout 3/4"	1	ks	83	83
10	Kulový kohout 1500 3/4"	6	ks	159	954
11	Zpětná klapka 3/4" s kovovou membránou	1	ks	288	288
12	Pojistný ventil IVAR.PV 311 - 3/4" - 3 bar	1	ks	273	273
13	Automat. odvzdušňovací ventil 1/2"	1	ks	155	155
14	Y - filtr 3/4" s vyměnitelným sítkem	1	ks	223	223
15	CU potrubí 22x1	5	m	33	165
16	Izolace Tubolit DG 22-13	5	m	8	40
20	Sestava rozdělovač/sběrač IVAR.CS 553 VP - 9cestný	1	ks	12053	12053
21	Trubka PE-X 18x2	320	m	34	10880
22	Systémová deska Rehau Vario 23	95	m ²	256	24320
30	Trubkové otopné těleso Korado KRCE 1220.600	1	ks	3068	3068
40	Vzduchotechnická jednotka Duplex 205 Easy	1	ks	33759	33759
Celkem					139 371 Kč

7 Provozní náklady a porovnání

Pro vytápění a ohřev TV tepelným čerpadlem, kondenzačním kotlem a elektrokotlem byly určeny jednotlivé provozní náklady (viz Tab. 28). Porovnání jednotlivých variant je uvedeno v Tab. 29.

Ceny elektrické energie a plynu jsou převzaty z [30] a [31]. Zvoleným dodavatelem je společnost E.ON. Cena elektrické energie je určena váženým průměrem podle počtu hodin v nízkém a vysokém tarifu za den. Na tepelné čerpadlo se vztahuje sazba D 56d s 22 hodinami v nízkém tarifu, na elektrokotel pak sazba D 57d s 20 hodinami v nízkém tarifu.

Tab. 28 Provozní náklady

Provozní náklady - TČ	
Roční spotřeba el. energie	2,6 MWh/rok
Cena elektrické energie	2457,7 Kč/MWh
Cena za el. energii za rok	6439,2 Kč/rok

Provozní náklady - kondenzační kotel	
Celková roční potřeba tepla	8,3 MWh/rok
Cena plynu	1336,1 Kč/MWh
Cena za plyn za rok	11024,3 Kč/rok

Provozní náklady - elektrokotel	
Celková roční potřeba tepla	8,3 MWh/rok
Cena elektrické energie	2547,6 Kč/MWh
Cena za el. energii za rok	21020,5 Kč/rok

Tab. 29 Porovnání jednotlivých variant mezi sebou a určení doby návratnosti

Porovnání TČ a kondenzačního kotle	
Celková pořizovací cena soustavy s TČ	294387 Kč
Celková pořizovací cena soustavy kondenzačního kotle	275559 Kč
Rozdíl pořizovacích nákladů	18828 Kč
Rozdíl mezi cenami za energie za rok	4585,1 Kč/rok
Návratnost investice vč. provozních nákladů	4,1 roků

Porovnání návratnosti TČ vůči elektrokotli	
Celková pořizovací cena soustavy s TČ	294387 Kč
Celková pořizovací cena soustavy s elektrokotlem	139371 Kč
Rozdíl pořizovacích nákladů	155016 Kč/rok
Rozdíl mezi cenami za energie za rok	14581,3 Kč/rok
Návratnost investice vč. provozních nákladů	10,6 roků

Porovnání návratnosti kondenzačního kotle vůči elektrokotli	
Požizovací cena pouze kondenzačního kotle	275559 Kč
Celková pořizovací cena soustavy s elektrokotlem	139371 Kč
Rozdíl pořizovacích nákladů	136188 Kč
Rozdíl mezi cenami za energie za rok	9996,2 Kč/rok
Návratnost investice vč. provozních nákladů	13,6 roků

8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout vytápění konkrétního nízkoenergetického rodinného domu tepelným čerpadlem a nízkoteplotním kondenzačním kotlem.

V první části práce byla vypočítána celková tepelná ztráta domu podle normy ČSN EN 12831, sestávající z tepelné ztráty prostupem, tepelné ztráty větráním a ze zátopového tepelného výkonu. Pro výpočtovou venkovní teplotu oblasti Olomouc -15 °C a stanovené vnitřní teploty místností je celková tepelná ztráta objektu 2,381 kW.

K pokrytí tepelných ztrát bylo navrženo podlahové vytápění do většiny obytných místností. Z důvodu velikosti podlahové plochy v obývacím pokoji byla otopná plocha rozdělena na dva samostatné okruhy. Podlahové vytápění bylo navrženo na 100 % tepelné ztráty objektu při teplotním spádu 30/25 °C. Rozdělení a zaregulování jednotlivých podlahových okruhů je tvořeno 9cestnou sestavou rozdělovač/sběrač firmy IVAR s.r.o.

Pro variantu tepelného čerpadla, jako zdroje tepla, byl vypočítán sezónní topný faktor *SPF*, který posuzuje celou soustavu s tepelným čerpadlem, nikoliv jen samotné tepelné čerpadlo, jako je tomu u topného faktoru *COP*. *SPF* zohledňuje například tepelnou ztrátu domu, potřebu tepla na ohřev TV a klimatické údaje o jeho umístění. Pro ohřev TV je sezónní topný faktor 3,51, pro vytápění 4,41. Při kombinovaném zapojení tepelného čerpadla, kdy je různý požadavek na teplotu topné vody a teplotu vody v zásobníku pro ohřev TV vychází *SPF* systému 4,05. Takto zapojené TČ můžeme označit za obnovitelný zdroj tepla. Zvolenou jednotkou je tepelné čerpadlo BoxAir Inverter BA22I od firmy Master Therm CZ s.r.o. se jmenovitým tepelným výkonem 5 kW s možností regulace otáček kompresoru.

Efektivita kondenzačního kotle je také závislá od požadované teploty vody, proto bylo zvoleno kombinované zapojení, jako u předchozí varianty. Vybraným kondenzačním kotlem je jednotka Geminox THRS 1-10C firmy Brilon a.s. s udávaným tepelným výkonem 0,9 - 9,5 kW.

Zapojení obou zdrojů tepla do systému je přes třicestný rozdělovací ventil, který přepíná podle požadavku do okruhu se zásobníkem na ohřev TV nebo okruhu podlahového vytápění. Potřebná akumulace tepla kvůli cyklování obou zdrojů je zajištěna 200 l zásobníkem pro ohřev TV a objemem vody a cementovou mazaninou o tloušťce 6,5 mm u podlahového vytápění. Tato akumulace je také dostatečná při obrácení cyklu pro odtávání TČ.

Regulace na požadovanou teplotu vody v zásobníku je závislá od měřené teploty ve 2/3 výšky zásobníku. Řízení na teplotu topné vody v okruhu podlahového vytápění je tvořeno ekvitermní regulací se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Jednotlivé ekvitermní křivky byly na základě venkovních a vnitřních teplot v práci vypočítány.

V poslední části práce byly vypočítány pořizovací náklady pro stávající variantu teplovzdušného vytápění (307 289 Kč), navržený otopný systém s tepelným čerpadlem (294 387 Kč), kondenzačním kotlem (275 559 Kč) a elektrokotlem (139 371 Kč). Návrh soustavy s elektrokotlem slouží pouze pro porovnání provozních nákladů soustavy s TČ a kondenzačním kotlem k vytápění elektřinou.

Pro porovnání provozních nákladů jednotlivých variant byla uvažována cena plynu 1336,1 Kč/MWh, cena elektrické energie pro tepelné čerpadlo, ke kterému se vztahuje sazba D 56d, 2457,7 Kč/MWh a cena elektrické energie pro elektrokotel se sazbou D 57d 2547,6 Kč/MWh.

Při porovnání rozdílu investičních nákladů 18 828 Kč a rozdílu cen za energii 4585,1 Kč/rok pro TČ a kondenzační kotel, vychází návratnost soustavy s TČ včetně provozních nákladů na 4,1 roků. Porovnáním TČ vůči vytápění elektrokotlem, vychází návratnost investice včetně provozních nákladů 10,6 roků. Při porovnání kondenzačního kotle s elektrokotlem pak 13,6 roků.

Se 7letou zárukou výrobce tepelného čerpadla můžeme návratnost vůči návrhu s kondenzačním kotlem uvažovat za dostatečnou a tuto variantu považovat za vhodnější. Někteří výrobci uvádějí, že životnost tepelných čerpadel dosahuje až 25 let, nicméně tato informace může být diskutabilní. Odvíjí se především od životnosti kompresoru, která je závislá na počtu startů.

U nízkoenergetických staveb je celková potřeba tepla výrazně nižší, než u klasické zástavby. Potřeba tepla na ohřev TV je stejná, ale z důvodu snižování tepelných ztrát těchto objektů se snižuje potřeba tepla na vytápění. Tím je prodlužována doba návratnosti investice. Větší důraz než na návratnost, může být kladen na komfort, jednoduchost a spolehlivost systému. Z tohoto pohledu je vhodnou volbou vytápění a ohřev TV elektrokotlem.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Podlahové vytápění. *Tzb-info* [online]. 2016 [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>
 - [2] ZAMAZAL, Martin. *RD Doloplazy: Perspektiva 1*. Jiřice u Miroslavi, 2011.
 - [3] *Novatop* [online]. 2015 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.novatop-system.cz/system-novatop/co-je-novatop/>
 - [4] KLÍČ, Jan. *Řezy domem A-A'; B-B'*. 2012.
 - [5] DUPLEX RA4-EC. *Atrea* [online]. 2016 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://www.atrea.cz/cz/d3_duplex-ra
 - [6] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
 - [7] Plate heat exchangers. *Vents* [online]. 2015 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://www.ventilation-system.com/cat/507/>
 - [8] Rotary heat exchanger. *Klingenburg energy recovery* [online]. [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://www.klingenburg-usa.com/en/products/rotary-heat-exchangers/rotors-for-heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-hvac/purge-sector/>
 - [9] Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I) Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>. In: LAIN, Miloš. *TZB-info* [online]. 2006, 6.11.2006 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
 - [10] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách a na Moravě*. 1. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-83-5.
 - [11] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicевrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
 - [12] Vybrané výpočetní vztahy pro vlastnosti vody. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/41-vybrane-vypocetni-vztahy-pro-vlastnosti-vody>
 - [13] ROZDĚLOVAČE A SBĚRAČE. *IVAR CS* [online]. 2016 [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/rozdelovace-a-sberace>
 - [14] Hydraulický výběr. *Wilo* [online]. 2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <https://www.wilo-select.com/AppRange.aspx>
 - [15] ČSN EN 15316. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla*. Praha: ÚNMZ, 2011.
-

- [16] TNI 73 0351. *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup*. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [17] TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [18] Lucht-Water warmtepompen. *ClimaPro* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.climaproducts.be/warmtepompen-lucht-water.html#boxairinverter>
- [19] JIRÁNEK, Jiří. Technické údaje BA22I. In: *Master Therm tepelná čerpadla* [online]. 2012 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.mastertherm.cz/_data/Docs/technicke_listy/BoxAir_Inverter/MTTC_ba22i_bldc_14511_ehpa.pdf
- [20] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [21] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES: o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES. In: *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské Unie* [online]. 2009 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>
- [22] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity soustav s tepelnými čerpadly: SPF a PER. In: *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13272-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-soustav-s-tepelnymi-cerpadly-spf-a-per>
- [23] Pojistný ventil pro topení IVAR.PV 311. *IVAR CS* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/pojistny-ventil-pro-topeni-ivar-pv-311>
- [24] Expanzní nádoba HS005. *Regulus* [online]. 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/expanzni-nadoba-hs005>
- [25] THRS 1-10C. *Geminox* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.geminox.cz/produkty/kotle-thrs-spickove-reseni-narocnych-aplikaci/kondenzacni-kotel-thrs-jednookruhovy/solo/thrs-1-10c-s469099759>
- [26] Zásobník RBC 200. *Regulus* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/zasobnik-rbc-200>
- [27] Zónové třicestné ventily s elektrickým pohonem. *Mut* [online]. 2010 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.mcztrade.cz/katalog/ventily/zonove-tricestne-ventily-s-elektrickym-pohonem/>
-

- [28] MILAN, Šmarda. *Vytápění panelového domu tepelným čerpadlem*. Brno, 2015, 55 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
- [29] BAŠTA, Jiří. *Regulace vytápění*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02582-9.
- [30] Přehled cen elektrické energie. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie#d56.cz/katalog/ventily/zonove-tricestne-ventily-s-elektrickym-pohonem/>
- [31] Přehled cen zemního plynu. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

10 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Č	Čerpadlo	
E	Expanzní nádoba	
EZ	Elektrická zásuvka	
F	Filtr	
K	Kotel	
KK	Kulový kohout	
OK	Odvod kondenzátu	
OV	Odvzdušňovací ventil	
PP	Prívod plynu	
PV	Pojistný ventil	
TČ	Tepelné čerpadlo	
TPV	Třícestný přepínací ventil	
TV	Teplá voda	
VK	Vypouštěcí/napouštěcí kohout	
ZOV	Zásobníkový ohřivač vody	
ZV	Zpětná ventil	
ZZT	Zpětné získávání tepla	
\dot{m}	Hmotnostní tok	[kg/s]
Δp_z	Celková tlaková ztráta okruh	[Pa]
Δp_λ	Tlaková ztráta třením	[Pa]
Δp_ξ	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
ΔQ_{max}	Největší rozdíl mezi kontinuální křivkou dodávky tepla a odběrem tepla	[kWh]
Δt_{TV}	Teplotní rozdíl na výměníku mezi přiváděnou otopnou vodou a připravovanou teplou vodou	[°C]
Δt_w	Uvažované zvýšení teploty vody z důvodu nabíjení zásobníku otopné vody pro omezení cyklování TČ	[°C]
Δv	Poměrné zvětšení objemu vody	[-]
a	Tloušťka jednotlivých vrstev nad osou trubek	[m]
A	Dovolený provozní tlak	[kPa]
A_g	Plocha uvažované podlahové konstrukce	[m ²]
A_i	Plocha místnosti	[m ²]
A_k	Plocha stavební části	[m ²]
b	Tloušťka jednotlivých vrstev pod osou trubek	[m]
B'	Charakteristický parametr	[m]
b_u	Teplotní redukční činitel	[-]
c	Měrná tepelná kapacita	[kJ/(kg·K)]
COP	Topný faktor	[-]
COP_{TV}	Topný faktor pro ohřev TV	[kWh]
d	Délka otopného období	[počet dnů]
D	Denostupně	[K·dny]
d_e	Vnější průměr trubek	[m]
d_i	Vnitřní průměr potrubí	[m]
E_d	Příkon doplňkového tepelného zdroje (záložního ohřivače)	[kWh]
e_i	Stínící činitel	[-]
e_k, e_t	Korekční činitele vystavení klimatických podmínkám	[-]

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

E_{pom}	Roční nebo měsíční potřeba pomocné elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění	[kWh]
$E_{pom,TV}$	Potřeba pomocné energie soustavy s TČ	[kWh]
$E_{pom,VYT}$	Potřeba pomocné energie soustavy s TČ	[kWh]
$E_{TČ}$	Roční nebo měsíční potřeba elektrické energie tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění	[kWh]
$E_{TČ,TV}$	Potřeba elektrické energie pro provoz TČ v režimu ohřevu TV	[kWh]
$E_{TČ,VYT}$	Potřeba elektrické energie TČ pro provoz v režimu vytápění	[kWh]
F	Faktor neobnovitelné primární energie (konverzní faktor)	[-]
f_{g1}	Korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	[-]
f_{g2}	Teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou	[-]
$f_{i,j}$	Redukční teplotní činitel	[-]
$f_{TV,j}$	Podíl z celkové potřeby tepla na přípravu TV	[-]
$f_{v,i}$	Redukční teplotní činitel	[-]
$f_{VYT,j}$	Podíl z celkové potřeby tepla na vytápění	[-]
G_w	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$H_{T,ie}$	Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	Tepelné ztráty do přilehlé zeminy	[W/K]
$H_{T,ij}$	Tepelné ztráty do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách	[W/K]
$H_{T,iue}$	Tepelné ztráty nevytápěným prostorem	[W/K]
KOR	Faktor vlivu prostorové teploty	[-]
K_v	Průtokový součinitel	[-]
l	Rozteč trubek	[m]
L	Délka otopného hadu vč. Přípojky	[m]
l_k	Je délka lineárního tepelného mostu	[m]
m	Charakteristické číslo podlahy	[m ⁻¹]
m	Teplotní exponent – podlahové vytápění	[-]
N	Počet pracovních dní soustavy v roce	[-]
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa	[h ⁻¹]
O_p	Obvod otopné podlahové ploch	[m]
P	Obvod uvažované podlahové konstrukce	[m]
p_1	Minimální provozní tlak	[kPa]
P_e	Příkon tepelného čerpadla	[W]
PE	Potřeba neobnovitelné primární energie	[kWh]
PER	Účinnost využití primární energie	[-]
p_{ot}	Otevírací přetlak	[kPa]
$P_{pom,TV}$	Příkon pomocných zařízení ohřevu TV	[W]
$P_{pom,VYT}$	Příkon pomocných zařízení vytápění	[W]
$P_{Q,COP}$	Obecná charakteristika výkonu, resp. COP	[kWh], resp. [-]
q	Měrný tepelný výkon otopné plochy	[W/m ²]
Q	Teplo dodané soustavou	[kWh]
q'	Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	[W/m ²]
Q_{2p}	Spotřeba tepla	[kWh/den]

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Q_{2z}	Ztráta tepla vedením v potrubí	[kWh/den]
Q_c	Celkový tepelný výkon	[W]
$Q_{c,skut}$	Skutečný celkový tepelný výkon	[W]
Q_d	Dodávka tepla doplňkovým tepelným zdrojem (záložním ohřivačem)	[kWh]
$Q_{d,TV}$	Potřeba tepla doplňkového zdroje tepla	[kWh]
$Q_{d,VYT}$	Potřeba tepla doplňkového zdroje tepla	[kWh]
q_n	Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	[W/m ²]
Q_o	Tepelný výkon okrajové plochy	[W]
Q_p	Tepelný výkon otopné plochy	[W]
$Q_{p,TV}$	Měsíční celková potřeba tepla na přípravu TV	[kWh]
$Q_{p,TV,j}$	Potřeba tepla na přípravu TV	[kWh]
$Q_{p,VYT}$	Měsíční celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{p,VYT,j}$	Potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{TČ}$	Roční nebo měsíční dodávka tepla tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody a vytápění	[kWh]
$Q_{TČ,TV}$	Tepelný výkon TČ pro ohřev TV	[kWh]
$Q_{TČ,TV,avail}$	Dostupné teplo z tepelného čerpadla pro přednostní ohřev TV	[kWh]
$Q_{TČ,TV,del}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem	[kWh]
$Q_{TČ,VYT}$	Tepelný výkon TČ pro vytápění	[kWh]
$Q_{TČ,VYT,avail}$	Dostupné teplo z TČ pro vytápění	[kWh]
$Q_{TČ,VYT,del}$	Teplo dodané TČ	[kWh]
$Q_{TV,d}$	Denní potřeba tepla na ohřev TV	[kWh]
$Q_{TV,r}$	Roční potřeba tepla na ohřev TV	[MWh/rok]
$Q_{VYT,r}$	Roční potřeba tepla na vytápění	[MWh/rok]
r	Šířka okraje vzdálenosti první trubky od stěny	[m]
R	Měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
R_{celk}	Celkový tepelný odpor konstrukce	[(m ² ·K)/W]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
$R_{a,e}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[(m ² ·K)/W]
$R_{a,i}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[(m ² ·K)/W]
$R_{\delta,i}$	Tepelný odpor vedením	[(m ² ·K)/W]
S	Je průřez potrubí	[m ²]
S_0	Průřez sedla pojistného ventilu	[mm ²]
$SCOP, SPF$	Sezónní topný faktor	[-]
S_n	Plocha zakrytá nábytkem	[m ²]
S_p	Otopná podlahová plocha	[m ²]
SPF_{sys}	Sezónní topný faktor celého systému	[-]
t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota ohřáté vody	[°C]
$t_{e,n}$	Návrhová venkovní teplota	[°C]
$t_{e,průměr,k}$	Průměrná venkovní teplota v daném měsíci	[°C]
$t_{e,v}$	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
t_{e1}	Teplota přiváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_{e2}	Teplota přiváděného vzduchu za výměníkem	[°C]
$t_{em,j}$	Střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu	[°C]
t_{es}	Průměrná teplota během otopného období	[°C]

t_i	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$t_{i,n}$	Návrhová vnitřní teplota	[°C]
$t_{i,v}$	Výpočtová vnitřní teplota	[°C]
$t_{i,w}$	Žádaná teplota v prostoru	[°C]
$t_{i,wk}$	Korekce žádané teploty v prostoru	[°C]
$t_{i,x}$	Aktuální teplota prostoru	[°C]
t_{i1}	Teplota odváděného vzduchu před výměníkem	[°C]
t_{is}	Vnitřní tepla	[°C]
t_{k2}	Teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]
$t_{k2,j}$	Teplota na výstupu z TČ	[°C]
t_m	Střední teplota otopné vody	[°C]
t_m	Střední teplota otopné vody	[°C]
t_p	Povrchová teplota podlahy	[°C]
$t_{su,l}$	Teplota studené vody v létě	[°C]
$t_{su,z}$	Teplota studené vody v zimě	[°C]
t_{TV}	Teplota připravované TV	[°C]
t_{v1}	Teplota na vstupu do výparníku	[°C]
t_{w1}	Návrhová teplota otopné vody – topná	[°C]
$t_{w1,j}$	Ekvitermní teplota otopné vody	[°C]
t_{w2}	Návrhová teplota otopné vody – vratka	[°C]
$U_{equiv,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části	[W/(m ² ·K)]
U_k	Součinitel prostupu tepla	[W/(m ² ·K)]
V_{2p}	Celková potřeba TV za 1 den	[m ³ /den]
V_e	Objem expanzní nádoby	[l]
V_i	Objem místnosti	[m ³]
$V_{inf,i}$	Infiltrace obvodovým pláštěm budovy	[m ³ /h]
$V_{mech,inf,i}$	Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduch	[m ³ /h]
$V_{su,i}$	Přiváděné množství vzduchu	[m ³ /h]
V_z	Minimální velikost zásobníku	[m ³]
w	Rychlost v potrubí	[m/s]
x_{e1}	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem	[g/(kg s.v.)]
x_{e2}	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem	[g/(kg s.v.)]
x_{i1}	Měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem	[g/(kg s.v.)]
z	Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TV	[-]
a	Součinitel objemové roztažnosti	[K ⁻¹]
a'_p	Součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy	[W/(m ² ·K)]
a_e	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[W/(m ² ·K)]
a_i	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[W/(m ² ·K)]
a_p	Součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy	[W/(m ² ·K)]
a_v	Výtokový součinitel	[-]
δ_i	Tloušťka konkrétní vrstvy konstrukce	[m]
ε	Opravný součinitel	[-]
ε_i	Výškový korekční činitel	[-]

η_e	Celková účinnost výroby elektrické energie (energetického systému)	[-]
η_o	Účinnost obsluhy resp. Možnosti regulace soustavy	[-]
η_r	Účinnost rozvodu vytápění	[-]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_{int,i}$	Výpočtová vnitřní teplota	[°C]
$\theta_{m,e}$	Průměrná roční venkovní teplota	[°C]
$\theta_{su,i}$	Teplota přiváděného vzduchu do vytápěného prostoru	[°C]
λ	Součinitel tření	[-]
Λ_a	Tepelná propustnost vrstev nad trubkami	[W/(m ² ·K)]
λ_a	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad osou trubek	[W/(m·K)]
Λ_b	Tepelná propustnost vrstev pod trubkami	[W/(m ² ·K)]
λ_b	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod osou trubek	[W/(m·K)]
λ_d	Součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou trubky zality	[W/(m·K)]
λ_i	Součinitel tepelné vodivosti konkrétní vrstvy konstrukce	[W/(m·K)]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
ξ	Součinitel místního odporu	[-]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
τ_j	Doba trvání výpočtového intervalu j	[h]
$\tau_{T\check{C},TV}$	Doba provozu TČ pro ohřev TV	[h]
$\tau_{T\check{C},VYT}$	Doba provozu TČ pro vytápění	[h]
$\tau_{T\check{C},VYT,avail}$	Zbývající doba provozu TČ pro vytápění	[h]
ϕ_{HL}	Průměrná tepelná ztráta objektu	[kW]
$\phi_{HL,i}$	Celková tepelná ztráta	[W]
$\phi_{RH,i}$	Zátopový tepelný výkon	[W]
$\phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	[W]
$\phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním	[W]
ψ_k	Činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu	[W/(m·K)]

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Perspektiva objektu [2].....	12
Obr. 2 Novostavba rodinného domu	12
Obr. 3 Půdorys objektu.....	13
Obr. 4 Příčný řez domem [4]	15
Obr. 5 Podélný řez domem [4]	16
Obr. 6 Vzduchotechnická jednotka DUPLEX RA4-EC [5]	16
Obr. 7 Porovnání celkové tepelné ztráty objektu bez a se zpětným získáním tepla	18
Obr. 8 Deskový rekuperační výměník [7].....	19
Obr. 9 Rotační regenerační výměník [8].....	19
Obr. 10 Meandrový způsob kladení otopného hadu [10]	33
Obr. 11 Diagram tlakových ztrát rozdělovače [13].....	34
Obr. 12 Oběhové čerpadlo Wilo Yonos PICO 25/1-6 [14]	36
Obr. 13 Určení pracovního bodu z charakteristik čerpadla [14]	36
Obr. 14 Tepelné čerpadlo Master Therm BoxAir Inverter BA22I [18]	38
Obr. 15 Sezónní topný faktor <i>SPF</i> pro ohřev TV a vytápění v průběhu roku	45
Obr. 16 Zapojení tepelného čerpadla v soustavě.....	47
Obr. 17 Pojistný ventil IVAR.PV 311 [23].....	48
Obr. 18 Expanzní nádoba Regulus HS005 [24].....	49
Obr. 19 Kondenzační kotel Geminox THRS 1-10C [25]	49
Obr. 20 Zapojení kondenzačního kotle v soustavě	50
Obr. 21 Pojistný ventil IVAR.PV 311 [23].....	50
Obr. 22 Graf průběhu ztráty tepla vedením v potrubí, odběru a dodávky tepla za den	52
Obr. 23 Zásobník pro ohřev TV Regulus RBC 200 [26]	53
Obr. 24 Třícestný ventil VMR 20E SPST C - 3/4" [27].....	53
Obr. 25 Ekvitermní křivky	55

12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Označení jednotlivých místností	13
Tab. 2 Označení a rozpis jednotlivých skladeb obálky budovy.....	14
Tab. 3 Klimatické údaje [5].....	17
Tab. 4 Všeobecné údaje.....	22
Tab. 5 Vypočítané hodnoty součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé stavební části.....	23
Tab. 6 Celková tepelná ztráta budovy	26
Tab. 7 Výpočet charakteristického parametru a šířky okraje pro jednotlivé podlahy.....	28
Tab. 8 Výpočet podlahového vytápění pro místnost 105	30
Tab. 9 Souhrn tepelných výkonů podlahového vytápění v porovnání s jednotlivými tepelnými ztrátami	30
Tab. 10 Vlastnosti vody určené dle [12]	31
Tab. 11 Hydraulické výpočty pro místnost 105	33
Tab. 12 Výsledky hydraulických výpočtů všech okruhů	33
Tab. 13 Nastavení regulace jednotlivých okruhů na rozdělovači.....	35
Tab. 14 Tlakové ztráty potrubí.....	35
Tab. 15 Celková tlaková ztráta podlahového vytápění	35
Tab. 16 Hodnoty výkonů TČ pro dané zkušební podmínky	39
Tab. 17 Hodnoty topných faktorů TČ pro dané zkušební podmínky	39
Tab. 18 Výpočet potřeby tepla na vytápění	39
Tab. 19 Výpočet potřeby tepla na teplou vodu	40
Tab. 20 Koeficienty polynomu tepelného výkonu a tepelného faktoru.....	41
Tab. 21 Výpočet sezónního topného faktoru <i>SPF</i> pro ohřev TV.....	42
Tab. 22 Výpočet sezónního topného faktoru <i>SPF</i> pro vytápění.....	45
Tab. 23 Výsledný sezónní topný faktor celého systému.....	46
Tab. 24 Pořizovací náklady soustavy teplovzdušného vytápění.....	56
Tab. 25 Pořizovací náklady soustavy s TČ	57
Tab. 26 Pořizovací náklady soustavy s kondenzačním kotlem	58
Tab. 27 Pořizovací náklady soustavy s elektrokotlem	59
Tab. 28 Provozní náklady	60
Tab. 29 Porovnání jednotlivých variant mezi sebou a určení doby návratnosti	60

13 SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Výpočet součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce	74
P2 – Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem.....	77
P3 – Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním.....	91
P4 – Výpočet podlahového vytápění – výkony otopných ploch	95
P5 – Výpočet podlahového vytápění – hydraulický výpočet.....	98
P6 – Výpočet ekvitermních křivek.....	101
P7 – Výpočet SPF	
P8 – Výkresová dokumentace	
P8.1 Stavební výkres	
P8.2 Výkres vytápění	
P8.3 Rozvinuté schéma	
P8.4 Stavební výkres	
P8.5 Výkres vytápění	
P8.6 Rozvinuté schéma	

P1 – Výpočet součinitelů prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce

Kód		Označení stavebních částí	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	U [W/m ² K]
Stav. částí	Materiál					
Kód	Označení stavebních částí					
	Kód	Název vnitřní laminární vrstvy			R_{si}	
	Kód	Název materiálu	d_1	λ_1	$R_1 = d_1 / \lambda_1$	
	
	Kód	Název materiálu	d_n	λ_n	$R_n = d_n / \lambda_n$	
	Kód	Název vnější laminární vrstvy			R_{se}	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U			Σd_i		ΣR_i
C400	Teplně izolovaná vnější stěna (omítka)					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	C5	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	C4	NOVATOP	0,0840	0,130	0,646	
	C3	Grafitový polystyren	0,3000	0,033	9,091	
	C1	Tenkovrstvá omítka	0,0050	0,870	0,006	
	62	Odpor při přestupu tepla na vnější straně (vodorovný tepelný tok)			0,040	
Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U			0,4015		9,970	0,100
E400	Teplně izolovaná vnější stěna (dřevěný obklad)					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	E6	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	E5	NOVATOP	0,0840	0,130	0,646	
	E4	PIR izolace s přelepením spár	0,2400	0,031	7,742	
	E2	Dřevěný rošt	0,0400	0,220	0,182	
	E1	Dřevěný obklad	0,0200	0,220	0,091	
62	Odpor při přestupu tepla na vnější straně (vodorovný tepelný tok)			0,040		
Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U			0,3965		8,888	0,113
S100	Nezateplená vnitřní stěna					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	S100.1	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	S100.2	Akustická izolace	0,0400	0,035	1,143	
	S100.4	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U			0,0650		1,516	0,659

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

S110	Nezateplená vnitřní stěna					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	S110.1	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	S110.2	Akustická izolace	0,0600	0,035	1,714	
	S110.4	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,0850		2,088	0,479
S125	Nezateplená vnitřní stěna					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	S125.1	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	S125.2	Akustická izolace	0,0800	0,035	2,286	
	S125.4	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,1050		2,659	0,376
NV	Nezateplená vnitřní stěna					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	NV1	NOVATOP	0,0840	0,130	0,646	
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,0840		0,906	1,104
B	Strop					
	63	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru)			0,100	
	B4	Sádrokarton	0,0125	0,220	0,057	
	B2	OSB 3 P+D	0,0150	0,130	0,115	
	B1	Foukaná celulóza 20kg/m ²	0,5000	0,038	13,158	
	63	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem nahoru)			0,100	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,5275		13,530	0,074
A	Podlaha					
	64	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem dolů)			0,170	
	A1	Průmyslová mozaika	0,02	0,200	0,100	
	A2	Cementová mazanina	0,065	1,100	0,059	
	A3	Systémová deska Vario	0,023	0,035	0,657	
	A4	Polystyren EPS Grey150	0,1	0,031	3,226	
	A5	Sádrovláknitá deska	0,01	0,320	0,031	
	A6	Polystyren EPS Grey150	0,1	0,031	3,226	
	A7	Hydroizolace	0,015	0,200	0,075	
	A8	Podkladní beton	0,075	1,230	0,061	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

	64	Odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu (tepelný tok směrem dolů)			0,170	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,4080		7,775	0,129
G	Podlaha					
	64	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (tepelný tok směrem dolů)			0,170	
	G1	Keramická dlažba	0,015	1,010	0,015	
	G2	Cementová mazanina	0,065	1,100	0,059	
	G3	Systémová deska Vario	0,023	0,035	0,657	
	G4	Polystyren EPS Grey150	0,1	0,031	3,226	
	G5	Sádrovláknitá deska	0,01	0,320	0,031	
	G6	Polystyren EPS Grey150	0,1	0,031	3,226	
	G7	Hydroizolace	0,015	0,200	0,075	
	G8	Podkladní beton	0,075	1,230	0,061	
	64	Odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu (tepelný tok směrem dolů)			0,170	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,4030		7,690	0,130
OK	Okna					
	Součinitel prostupu tepla U		-		-	0,770
D1	Vnitřní dveře					
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	D1	Vnitřní dveře - dřevo	0,0400	0,220	0,182	
	61	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (vodorovný tepelný tok)			0,130	
	Celková tloušťka a součinitel prostupu tepla U		0,0400		0,442	2,263
D2	Vstupní dveře					
	Součinitel prostupu tepla U		-		-	0,940

P2 – Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem

101 Zádveří					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	0,99	0,113	1,00	0,11
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	0,45	0,100	1,00	0,05
D2	Vstupní dveře	2,31	0,940	1,00	2,17
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					2,33
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
6A	Vstupní dveře, práh	0,13	1,05	1,00	0,137
6B	Vstupní dveře, nadpraží	0,12	1,05	1,00	0,126
6C	Vstupní dveře, ostění	0,12	4,40	1,00	0,528
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					0,79
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					3,118
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S125	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	4,33	0,376	0,40	0,65
NV	NOVATOP	1,56	1,104	0,40	0,69
D1	Vnitřní dveře	1,38	2,263	0,40	1,25
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	10,30	0,100	0,60	0,62
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					3,21
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,13	0,70	0,40	0,04
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,12	0,70	0,40	0,03
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,12	3,94	0,40	0,19
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,26
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					3,469
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

		129,71	57,43	4,52		
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$	
		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]	
G	Podlaha (keramická dlažba)	0,130	0,170	7,14	1,21	
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}$ [W/K]					1,21	
Korekční činitele		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					0,835	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
-	Žádná	-	-	-	-	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]					0	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]					7,422	
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota		θ_e	[°C]	-15		
Vnitřní výpočtová teplota		$\theta_{int,i}$	[°C]	20		
Výpočtový rozdíl teplot		$\theta_{int,i} - \theta_e$	[°C]	35		
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ [W]					260	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
MARIO JANKOLA

102 Obývací pokoj + 104 Hrací kout					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	3,98	0,113	1,00	0,45
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	7,03	0,100	1,00	0,71
OK	Okno	14,80	0,770	1,00	11,39
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					12,55
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
01A	Roh vnější stěny	0,01	3,50	1,00	0,035
7A	Okno, parapet	0,12	5,48	1,00	0,658
7B	Okno, horní hrana	0,12	5,48	1,00	0,658
7C	Okno, ostění	0,12	5,40	1,00	0,648
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					2,00
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					14,545
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	9,47	0,100	0,60	0,57
NV	NOVATOP	6,04	1,104	0,40	2,67
NV	NOVATOP	11,37	1,104	0,00	0,00
D1	Vnitřní dveře	1,58	2,263	0,00	0,00
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					3,23
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,03	0,80	0,00	0,00
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,03	3,94	0,00	0,00
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,03	0,80	0,00	0,00
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					3,235
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]	
A	Podlaha (průmyslová mozaika)	0,129	0,170	31,08	5,28	
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$ [W/K]					5,28	
Korekční činitelé		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					3,634	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
NV	NOVATOP	-0,11	2,35	1,104	-0,30	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]					-0,296	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]					21,117	
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota			θ_e	[°C]	-15	
Vnitřní výpočtová teplota			$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	20	
Výpočtový rozdíl teplot			$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	[°C]	35	
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$ [W]					739	

103 Kuchyň					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	3,75	0,113	1,00	0,42
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	3,67	0,100	1,00	0,37
OK	Okno	1,53	0,770	1,00	1,18
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					1,97
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
7A	Okno, parapet	0,12	1,70	1,00	0,204
7B	Okno, horní hrana	0,12	1,70	1,00	0,204
7C	Okno, ostění	0,12	1,80	1,00	0,216
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					0,62
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					2,592
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S125	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	2,19	0,376	0,40	0,33
S100	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	5,44	0,479	0,40	1,04
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					1,37
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
-	Žádné	-	-	-	0,000
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkový tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					1,371
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$
		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]
G	Podlaha (keramická dlažba)	0,130	0,170	10,91	1,85
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}$ [W/K]					1,85

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Korekční činitelé		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]						1,276
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
S110	Vnitřní střena, nezateplená (sádrokarton)	-0,11	7,63	0,479	-0,42	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]						-0,417
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]						4,821
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota			θ_e	[°C]	-15	
Vnitřní výpočtová teplota			$\theta_{int,i}$	[°C]	20	
Výpočtový rozdíl teplot			$\theta_{int,i} - \theta_e$	[°C]	35	
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$ [W]						169

105 Ložnice					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	4,30	0,113	1,00	0,48
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	13,43	0,100	1,00	1,35
OK	Okno	2,10	0,770	1,00	1,62
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					3,45
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
01A	Roh vnější stěny	0,01	2,50	1,00	0,025
7A	Okno, parapet	0,12	2,10	1,00	0,252
7B	Okno, horní hrana	0,12	2,10	1,00	0,252
7C	Okno, ostění	0,12	2,00	1,00	0,240
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					0,77
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					4,217
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S125	Vnitřní stěna, nezateplená (sádkokarton)	0,95	0,376	0,00	0,00
D1	Vnitřní dveře	1,58	2,263	0,00	0,00
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,13	0,80	0,00	0,00
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,12	0,80	0,00	0,00
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,12	3,94	0,00	0,00
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,000
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$
		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

A	Podlaha (průmyslová mozaika)	0,129	0,170	13,71	2,33	
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$ [W/K]					2,33	
Korekční činitele		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					1,603	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
S125	Vnitřní střena, nezateplená (sádrokarton)	-0,11	7,88	0,376	-0,34	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]					-0,338	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]					5,482	
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota		θ_e	[°C]	-15		
Vnitřní výpočtová teplota		$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	20		
Výpočtový rozdíl teplot		$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	[°C]	35		
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$ [W]					192	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

106 Pokoj					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	6,19	0,113	1,00	0,70
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	2,07	0,100	1,00	0,21
OK	Okno	2,10	0,770	1,00	1,62
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					2,52
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
7A	Okno, parapet	0,12	2,10	1,00	0,252
7B	Okno, horní hrana	0,12	2,10	1,00	0,252
7C	Okno, ostění	0,12	2,00	1,00	0,240
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					0,74
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					3,265
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S100	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	3,75	0,659	0,00	0,00
S125	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	0,92	0,376	0,00	0,00
D1	Vnitřní dveře	1,58	2,263	0,00	0,00
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,13	0,80	0,00	0,00
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,12	0,80	0,00	0,00
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,12	3,94	0,00	0,00
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,000
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]	
A	Podlaha (průmyslová mozaika)	0,129	0,170	9,96	1,69	
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$ [W/K]					1,69	
Korekční činitelé		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					1,603	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
-	Žádné	-	-	-	0	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]					0,000	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]					4,430	
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota			θ_e	[°C]	-15	
Vnitřní výpočtová teplota			$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	20	
Výpočtový rozdíl teplot			$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	[°C]	35	
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$ [W]					155	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
MARIO JANKOLA

107 Pokoj					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	2,83	0,113	1,00	0,32
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	16,16	0,100	1,00	1,62
OK	Okno	3,86	0,770	1,00	2,97
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					4,91
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
01A	Roh vnější stěny	0,01	5,00	1,00	0,050
7A	Okno, parapet	0,12	2,90	1,00	0,348
7B	Okno, horní hrana	0,12	2,90	1,00	0,348
7C	Okno, ostění	0,12	6,40	1,00	0,768
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					1,51
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					6,425
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S100	Vnitřní stěna, nezateplená (sádkokarton)	2,91	0,659	0,00	0,00
D1	Vnitřní dveře	1,58	2,263	0,00	0,00
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,13	0,80	0,00	0,00
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,12	0,80	0,00	0,00
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,12	1,97	0,00	0,00
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,000
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$
		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

A	Podlaha (průmyslová mozaika)	0,129	0,170	12,60	2,14	
Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$ [W/K]					2,14	
Korekční činitele		f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
		[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
		1,450	0,474	1,00	0,688	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]					1,473	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty						
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$	
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]	
-	Žádné	-	-	-	0	
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]					0,000	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]					4,430	
Teplotní údaje						
Venkovní výpočtová teplota		θ_e	[°C]	-15		
Vnitřní výpočtová teplota		$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	20		
Výpočtový rozdíl teplot		$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	[°C]	35		
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$ [W]					276	

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

108 Koupelna					
Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	e_k	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
E400	Vnější stěna, izolovaná (dřevěný obklad)	4,15	0,113	1,00	0,47
C400	Vnější stěna, izolovaná (omítka)	1,24	0,100	1,00	0,12
OK	Okno	0,81	0,770	1,00	0,62
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k$ [W/K]					1,22
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	e_k	$\Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
7A	Okno, parapet	0,12	0,90	1,00	0,108
7B	Okno, horní hrana	0,12	0,90	1,00	0,108
7C	Okno, ostění	0,12	1,80	1,00	0,216
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					0,43
Celkový součinitel tepelné ztráty, přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot e_k$ [W/K]					1,647
Tepelné ztráty přes nevytápěné prostory					
Kód	Stavební část	A_k	U_k	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
		[m ²]	[W/m ² ·K]	[na jedn.]	[W/K]
S100	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	3,05	0,659	0,00	0,00
D1	Vnitřní dveře	1,38	2,263	0,00	0,00
Celkem stavební části $\sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Kód	Tepelný most	Ψ_k	l_k	b_u	$\Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$
		[W/m·K]	[m]	[na jedn.]	[W/K]
65A	Vnitřní dveře, práh	0,13	0,70	0,00	0,00
65B	Vnitřní dveře, nadpraží	0,12	0,70	0,00	0,00
65C	Vnitřní dveře, ostění	0,12	1,97	0,00	0,00
Celkem tepelné mosty $\sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,00
Celkové tepelné ztráty přes nevytápěné prostory $H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_k \cdot l_k \cdot b_u$ [W/K]					0,000
Tepelné ztráty zeminou					
Výpočet B'		A_g	P	$B' = 2 \cdot A_g / P$	
		[m ²]	[m]	[m]	
		129,71	57,43	4,52	
Kód	Stavební část	U_k	$U_{equiv,k}$	A_k	$A_k \cdot U_{equiv,k}$
		[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[m ²]	[W/K]
G	Podlaha (keramická dlažba)	0,130	0,170	7,41	1,26

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Celkem ekvivalentní stavební část $\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}$ [W/K]				1,26	
Korekční činitele	f_{g1}	f_{g2}	G_w	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$	
	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	[na jedn.]	
	1,450	0,528	1,00	0,766	
Celkový součinitel tepelné ztráty zeminou $H_{T,ig} = (\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k}) \cdot f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w$ [W/K]				0,965	
Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na rozdílné teploty					
Kód	Stavební část	f_{ij}	A_k	U_k	$f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$
		[na jedn.]	[m ²]	[W/m ² ·K]	[W/K]
S110	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	0,10	7,63	0,479	0,37
S125	Vnitřní stěna, nezateplená (sádrokarton)	0,10	7,63	0,376	0,29
NV	NOVATOP	0,10	1,40	1,104	0,16
Celkový součinitel tepelné ztráty přes prostory s rozdílnými teplotami $H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k$ [W/K]				0,827	
Celkový součinitel tepelné ztráty prostupem $H_{T,i} = H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}$ [W/K]				3,439	
Teplotní údaje					
Venkovní výpočtová teplota		θ_e	[°C]	-15	
Vnitřní výpočtová teplota		$\theta_{\text{int},i}$	[°C]	24	
Výpočtový rozdíl teplot		$\theta_{\text{int},i} - \theta_e$	[°C]	39	
Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i} = H_{T,i} \cdot (\theta_{\text{int},i} - \theta_e)$ [W]				134	

P3 – Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním

Větrání se ZZT											
Označení místností			Zádveří	Obyvací pokoj	Kuchyň	Ložnice	Pokoj	Pokoj	Koupelna	Celkem	
Objem místnosti	V_i	[m ³]	17,9	108,8	27,3	34,3	24,9	31,5	18,5	263	
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	[°C]	-15								
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	[°C]	20	20	20	20	20	20	24		
Teplotní rozdíl	$\theta_{int,i} - \theta_e$	[°C]	35	35	35	35	35	35	39		
Množství vzduchu infiltrací	Nechráněné otvory	-	[na jedn.]	1	1	1	1	1	2	1	
	Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	n_{50}	[h ⁻¹]	0,6							
	Činitel zaclonění	e	[na jedn.]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
	Výškový korekční činitel	ε	[na jedn.]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Množství vzduchu infiltrací $V'_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon$	$V'_{inf,i}$	[m ³ /h]	0,4	2,6	0,7	0,8	0,6	1,1	0,4	6,7
Množství vzduchu, teploty a korekční činitelé	Odváděný vzduch	$V'_{ex,i}$	[m ³ /h]	10	0	90	0	0	0	60	160
	Priváděný vzduch	$V'_{su,i}$	[m ³ /h]	10	60	10	30	25	25	0	160
	Teplota priváděného vzduchu	θ_{su}	[°C]	13							
	Redukční činitel	$f_{v,i}$	[na jedn.]	0,20	0,20	-	0,20	0,20	0,20	-	
	Vzduch dodávaný ze sousedních místností	$V'_{ex,i} - V'_{su,i}$	[m ³ /h]	0	-	80	-	-	-	60	
	Redukční činitel	$f_{v,i}$	[na jedn.]	0,20	-	0,20	-	-	-	0,28	
	Přebytek odváděného vzduchu	$V'_{mech,inf}$	[m ³ /h]	0,0							

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

	pro celou budovu $V_{mech,inf} = \sum V_{ex,i} - \sum V_{SU,i}$											
	Přebytek odváděného vzduchu pro jednotlivé místnosti	$V_{mech,inf,i}$	[m ³ /h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Výpočet tepelné ztráty větráním	Celkové korigované množství vzduchu $V_i = V_{inf,i} + V_{SU,i} \cdot f_{v,i} + V_{mech,int,i}$	V_i	[m ³ /h]	2,4	14,4	2,6	6,7	5,5	6,1	0,4		
	Návrhový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{V,i}$	[W/K]	0,8	4,9	0,9	2,3	1,9	2,1	0,2		
	Návrhové tepelné ztráty větráním $\phi_{v,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$	$\phi_{v,i}$	[W]	29	172	31	80	66	72	6		456

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

Větrání bez ZZT											
Označení místností			Záďveří	Obývací pokoj	Kuchyň	Ložnice	Pokoj	Pokoj	Koupelna	Celkem	
Objem místnosti	V_i	[m ³]	17,9	108,8	27,3	34,3	24,9	31,5	18,5	263	
Výpočtová venkovní teplota	θ_e	[°C]	-15								
Výpočtová vnitřní teplota	$\theta_{int,i}$	[°C]	20	20	20	20	20	20	24		
Teplotní rozdíl	$\theta_{int,i} - \theta_e$	[°C]	35	35	35	35	35	35	39		
Množství vzduchu infiltrací	Nechráněné otvory	-	[na jedn.]	1	1	1	1	1	2	1	
	Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa	n_{50}	[h ⁻¹]	0,6							
	Činitel zaclonění	e	[na jedn.]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
	Výškový korekční činitel	ε	[na jedn.]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Množství vzduchu infiltrací $V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon$	$V_{inf,i}$	[m ³ /h]	0,4	2,6	0,7	0,8	0,6	1,1	0,4	6,7
Množství vzduchu, teploty a korekční činitelé	Odváděný vzduch	$V_{ex,i}$	[m ³ /h]	10	0	90	0	0	0	60	160
	Priváděný vzduch	$V_{su,i}$	[m ³ /h]	10	60	10	30	25	25	0	160
	Teplota priváděného vzduchu	θ_{su}	[°C]	-15							
	Redukční činitel	$f_{v,i}$	[na jedn.]	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	-	
	Vzduch dodávaný ze sousedních místností	$V_{ex,i} - V_{su,i}$	[m ³ /h]	0	-	80	-	-	-	60	
	Redukční činitel	$f_{v,i}$	[na jedn.]	1,00	-	1,00	-	-	-	1,00	
	Přebytek odváděného vzduchu pro celou budovu $V_{mech,inf} = \sum V_{ex,i} - \sum V_{su,i}$	$V_{mech,inf}$	[m ³ /h]	0,0							

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

	Přebytek odváděného vzduchu pro jednotlivé místnosti	$V_{mech,inf,i}$	[m ³ /h]	0	0	0	0	0	0	0	0
Výpočet tepelné ztráty větráním	Celkové korigované množství vzduchu $V_i = V_{inf,i} + V_{SU,i} \cdot f_{v,i} + V_{mech,int,i}$	V_i	[m ³ /h]	10,4	62,6	10,7	30,8	25,6	26,1	0,4	
	Návrhový součinitel tepelné ztráty větráním	$H_{v,i}$	[W/K]	3,5	21,3	3,6	10,5	8,7	8,9	0,2	
	Návrhové tepelné ztráty větráním $\phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e)$	$\phi_{v,i}$	[W]	124	745	127	367	305	311	6	1984

P4 – Výpočet podlahového vytápění – výkony otopných ploch

101 Zádveří			
Typ podlahy	-	-	G
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	1
Otopná plocha	S_p	[m ²]	4,77
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	10,73
Rozteč trubek	l	[m]	0,35
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	23,5
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,37
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	41,81
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	4,18
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	37,1
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	301
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	296

102 Obývací pokoj - prostor			
Typ podlahy	-	-	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	1,5
Otopná plocha	S_p	[m ²]	9,24
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	13,42
Rozteč trubek	l	[m]	0,3
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	22,5
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,24
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	30,47
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,05
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	12,1
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	384
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	356

102 Obývací pokoj - okno			
Typ podlahy	-	-	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	2,5
Otopná plocha	S_p	[m ²]	9,10
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	13,36
Rozteč trubek	l	[m]	0,25
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	22,8
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,22
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	33,20
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,32
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	13,1
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	406
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	356

103 Kuchyň			
Typ podlahy	–	–	G
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	1
Otopná plocha	S_p	[m ²]	5,11
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	9,10
Rozteč trubek	l	[m]	0,35
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	23,5
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,30
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	41,81
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	4,18
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	16,6
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	304
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	279

104 Obývací pokoj - hrací kout			
Typ podlahy	–	–	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	1
Otopná plocha	S_p	[m ²]	4,32
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	8,31
Rozteč trubek	l	[m]	0,15
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	23,2
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,25
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	38,50
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,85
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	15,2
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	229
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	206

105 Ložnice			
Typ podlahy	–	–	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	4
Otopná plocha	S_p	[m ²]	9,51
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	12,53
Rozteč trubek	l	[m]	0,35
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	22,3
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,24
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	27,89
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	2,79
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	11,0
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	361
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	294

VUT BRNO, FSI EÚ OTTP
 NÁVRH VYTÁPĚNÍ NÍZKOENERGETICKÉHO RODINNÉHO DOMU
 MARIO JANKOLA

106 Pokoj			
Typ podlahy	-	-	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	3
Otopná plocha	S_p	[m ²]	6,33
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	10,65
Rozteč trubek	l	[m]	0,3
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	22,5
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,28
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	30,47
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,05
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	12,1
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	271
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	216

107 Pokoj			
Typ podlahy	-	-	A
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	3
Otopná plocha	S_p	[m ²]	7,91
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	14,55
Rozteč trubek	l	[m]	0,2
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	20
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	23,0
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,26
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	35,94
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,59
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	14,2
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	393
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	328

108 Koupelna			
Typ podlahy	-	-	G
Plocha zakrytá nábytkem	S_n	[m ²]	0
Otopná plocha	S_p	[m ²]	2,98
Obvod otopné plochy	O_p	[m]	9,30
Rozteč trubek	l	[m]	0,15
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	[°C]	24
Střední teplota otopné vody	t_m	[°C]	27,8
Povrchová teplota podlahy	t_p	[°C]	26,7
Poměr tepelného výkonu okrajové a topné plochy	Q_o/Q_p	[-]	0,32
Měrný tepelný výkon otopné plochy	q	[W/m ²]	32,51
Měrný tepelný výkon otopné plochy směrem dolů	q'	[W/m ²]	3,25
Měrný tepelný výkon plochy zacloněné nábytkem	q_n	[W/m ²]	12,9
Celkový tepelný výkon otopné plochy	Q_c	[W]	141
Skutečný celkový tepelný výkon otopné plochy	$Q_{c,skut}$	[W]	141

P5 – Výpočet podlahového vytápění – hydraulický výpočet

101 Zádveří			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	51,0
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,09
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1514
Součinitel tření	λ	[-]	0,061
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	19
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	15,3
Počet ohybů	n_{90}	[-]	18
Rádus	r	[m]	0,18
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,91
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	286
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	146

102 Obývací pokoj - prostor			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	61,4
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,11
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1821
Součinitel tření	λ	[-]	0,058
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	25
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	31,4
Počet ohybů	n_{90}	[-]	16
Rádus	r	[m]	0,15
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,80
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	801
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	177

102 Obývací pokoj - okno			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	61,3
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,11
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1819
Součinitel tření	λ	[-]	0,058
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	25
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	41,8
Počet ohybů	n_{90}	[-]	23
Rádus	r	[m]	0,13
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,66
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	1065
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	235

103 Kuchyň			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	34,4
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,06
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1022
Součinitel tření	λ	[-]	0,069
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	10
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	17,6
Počet ohybů	n_{90}	[-]	24
Rádus	r	[m]	0,18
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,91
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	168
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	89

104 Obývací pokoj – hrací kout			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	35,4
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,06
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1050
Součinitel tření	λ	[-]	0,068
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	10
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	33,7
Počet ohybů	n_{90}	[-]	28
Rádus	r	[m]	0,08
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,28
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	338
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	73

105 Ložnice			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	50,6
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,09
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1501
Součinitel tření	λ	[-]	0,062
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	18
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	42,6
Počet ohybů	n_{90}	[-]	28
Rádus	r	[m]	0,18
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,91
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	782
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	224

106 Pokoj			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	37,2
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,07
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1103
Součinitel tření	λ	[-]	0,067
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	11
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	38,1
Počet ohybů	n_{90}	[-]	26
Rádus	r	[m]	0,15
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,80
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	414
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	106

107 Pokoj			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	56,5
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,10
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	1677
Součinitel tření	λ	[-]	0,060
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	22
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	58,3
Počet ohybů	n_{90}	[-]	70
Rádus	r	[m]	0,10
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,50
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	1291
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	547

108 Koupelna			
Hmotnostní tok	\dot{m}	[kg/h]	24,3
Rychlost v potrubí	w	[m/s]	0,04
Reynoldsovo číslo	Re	[-]	721
Součinitel tření	λ	[-]	0,077
Měrná tlaková ztráta	R	[Pa/m]	5
Délka otopného hadu vč. přípojky	L	[m]	32,4
Počet ohybů	n_{90}	[-]	54
Rádus	r	[m]	0,08
Součinitel místních ztrát	ξ_{90}	[-]	1,28
Tlaková ztráta třením	Δp_{λ}	[Pa]	171
Tlaková ztráta místními odpory	Δp_{ξ}	[Pa]	67

