

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**VYUŽITÍ ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA
U RODINNÉHO DOMU**

SOUHRN

Koncept pasivního stavitelství *Optimalizmus* se snaží o vyvrácení představy, že pro pasivní bydlení jsou nutné vysoké počáteční náklady. Koncept navrhuje rodinný dům, který má zajistit dosažení pasivního standardu při předpokládaných nízkých pořizovacích nákladech. Koncept využívá běžná i nekonvenční řešení v oblasti zpětného získávání tepla.

Vzhledem k tomu, že koncept není podložen výpočtem po stránce energetické náročnosti, zabývá se tato diplomová práce vytvořením studie bilancí energetických toků v objektu. Zároveň prověřuje jednotlivé systémy budovy z hlediska energetické a nákladové efektivity, taktéž prověřuje aspekty technické proveditelnosti systémů. Práce prověřuje případné nahrazení některých systémů alternativními řešeními. Práce optimalizuje tepelně-technické parametry obalových konstrukcí budovy při zachování pasivního standardu.

Práce navrhla úpravu konceptu, která při nahrazení jednoho ze systémů zpětného získávání tepla za alternativu umožňuje výrazně snížit objem tepelně-izolačního materiálu v obvodových konstrukcích, při srovnatelné spotřebě energie jako výchozí varianta. Je doporučeno na tuto práci dále navázat a provést podrobné simulace provozu jednotlivých systémů.

SUMMARY

The concept of passive construction *Optimalizmus* seeks to disprove the notion that high initial costs are essential for passive housing. The concept presents a family house that is designed to achieve a passive standard at an assumed low initial cost. The concept uses both conventional and unconventional heat recovery solutions.

Since the concept is not based on energy performance calculations, the thesis deals with the development of an energy flow balance study of the building. At the same time, it examines the individual building systems in terms of energy and cost efficiency, as well as examining the technical feasibility aspects of the systems. The thesis checks the possible replacement of some systems with alternative solutions. The work optimizes the thermal-technical parameters of the building envelope while maintaining the passive standard.

The thesis suggests a modification of the concept which, by replacing one of the heat recovery systems with an alternative, allows a significant reduction of the amount of thermal insulation material in the envelope with comparable energy consumption as the baseline option. It is recommended to follow up the conclusions of the thesis and carry out detailed simulations of each system operation.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „*VYUŽITÍ ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA U RODINNÉHO DOMU*“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 30. 6. 2021

Bc. Jáchym Jirásek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval mé rodině a mé přítelkyni za veškerou podporu při studiu, vedoucímu této diplomové práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za veškeré odborné konzultace a vedení při zpracování této bakalářské práce, Ing. arch. Janu Soukupovi za možnost spolupráce a RNDr. Jiřímu Svobodovi, CSc., DSc. spolu s celým týmem konceptu *Optimalizmus* za podklady.

OBSAH

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ	3
1. ÚVOD	6
2. KONCEPT OPTIMALIZMUS	6
2.1. Vize konceptu	6
2.2. Stavební konstrukce	7
2.2.1. Vzorový projekt <i>Optimalizmus</i>	7
2.2.2. Řešený projekt.....	8
2.3. Technická zařízení budovy	9
2.3.1. Tepelné čerpadlo	9
2.3.2. Plošný zemní kolektor pod objektem	10
2.3.3. Splaškovodní výměník.....	11
2.3.4. Podlahové vytápění a chlazení.....	12
2.3.5. Kombinovaný zásobník teplé vody	12
2.3.6. Řízení systémů vytápění, přípravy teplé vody a chlazení.....	13
2.3.7. Zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda.....	14
2.3.8. Systém využití šedé vody	15
3. ENERGETICKÉ POSOUZENÍ NAVRŽENÉ BUDOVY	16
3.1. Účel posouzení	16
3.2. Okrajové podmínky.....	16
3.3. Metodika výpočtu.....	17
3.4. Energetické toky	18
4. METODIKA VÝPOČTU ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI.....	19
4.1. Výpočet součinitelů prostupu tepla.....	19
4.2. Tepelné ztráty.....	22
4.2.1. Tepelné ztráty větráním	22
4.2.2. Tepelné ztráty prostupem	22
4.3. Tepelné zisky	24
4.3.1. Vnější tepelné zisky.....	24
4.3.2. Vnitřní tepelné zisky	26
4.3.3. Využitelnost tepelných zisků.....	26
4.4. Potřeba tepla.....	27
4.4.1. Potřeba tepla na vytápění.....	27
4.4.2. Potřeba tepla na přípravu teplé vody	27
4.5. Potřeba chladu	28
4.6. Verifikace a porovnání metodik výpočtu	28
5. POSOUZENÍ PROVEDITELNOSTI TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ BUDOVY.....	28

5.1.	Plošný zemní kolektor pod objektem	29
5.1.1.	Experimentální dům Hlinsko	29
5.1.2.	Vyjádření odborníků	30
5.1.3.	Teplotní pole v zemině pod podlahou	31
5.1.4.	Zhodnocení poznatků	32
5.2.	Tepelné čerpadlo	33
5.3.	Splaškovodní výměník	35
5.3.1.	Realizované instalace	36
5.3.2.	Experimentální systém ZZT z šedé vody pomocí TČ	37
5.3.3.	Zhodnocení poznatků	40
5.4.	Podlahové vytápění	41
5.5.	Podlahové chlazení	43
5.6.	Zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda	44
5.7.	Systém využití šedé vody	45
5.8.	Zohlednění systémů ZZT ve výpočetním modelu	48
6.	ENERGETICKÉ POSOUZENÍ NAVRŽENÉ BUDOVY	49
6.1.	Účel posouzení	49
6.2.	Tepelné ztráty	49
6.3.	Potřeba tepla	50
6.4.	Potřeba chladu	50
6.5.	Spotřeba elektrické energie	52
6.6.	Náklady na elektrickou energii	52
7.	MODIFIKACE KONCEPTU BUDOVY	53
7.1.	Vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla	53
7.2.	Zemní vzduchový výměník	54
7.3.	Porovnání jednotlivých řešení	57
7.4.	Optimalizace tepelně-technických parametrů	60
8.	ZÁVĚR	62
	POUŽITÁ LITERATURA A DALŠÍ ZDROJE	65
	SEZNAM PŘÍLOH	70
	PŘÍLOHY	71

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

A	plocha stavební části	[m ²]
$A_{poh,np}$	pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce	[m ²]
$A_{poh,p}$	pohledová plocha průhledné konstrukce	[m ²]
A_{sol}	solární sběrná plocha	[m ²]
$A_{sol,np}$	solární sběrná plocha neprůhledné stavební konstrukce	[m ²]
$A_{sol,p}$	solární sběrná plocha průhledné stavební konstrukce	[m ²]
B'	charakteristický parametr	[m]
COP	topný faktor	[-]
F	konverzní faktor primární neobnovitelné energie	[-]
$H_{T,e}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]
$H_{T,g}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
I_{sol}	intenzita solárního záření	[kWh/m ²]
O	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]
P_{SFP}	měrný elektrický příkon ventilátorů systému nuceného větrání	[W.s/m ³]
$Q_{H,gn}$	tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,tr}$	tepelná ztráta prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	tepelná ztráta větráním	[kWh]
Q_{os}	tepelné zisky na osobu	[W/os]
Q_r	sálání vůči obloze	[kWh]
Q_{sol}	tepelné zisky z oslunění	[kWh]
Q_{sp}	tepelné zisky na bytovou jednotku	[W]
$Q_{TV/měsíc}$	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² .K/W]
R_{se}	tepelný odpor na vnější straně konstrukce	[m ² .K/W]

R_{si}	tepelný odpor na vnitřní straně konstrukce	[m ² .K/W]
S	plocha podlahy	[m ²]
$SCOP$	sezonní topný faktor	[-]
U	součinitel prostupu tepla stavební konstrukce	[W/m ² .K]
U_{equiv}	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí v kontaktu se zemí	[W/m ² .K]
U_{np}	součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce	[W/m ² .K]
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu tepla podlahou	[W/m ² .K]
V	vnitřní objem vytápěného prostoru	[m ³]
V_p	potřeba teplé vody na osobu	[l/den]
a_H	bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy	[-]
c	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg.K]
c_{vody}	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
f_e	teplotní opravný součinitel	[-]
f_{GW}	teplotní činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
f_g	teplotní opravný činitel	[-]
f_{int}	korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu	[-]
f_f	podíl plochy rám	[-]
f_R	redukční činitel součinitele prostupu tepla	[-]
f_r	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
f_{sh}	korekční stínění na externí překážky	[-]
$f_{sh,gl}$	korekční činitel zasklení	[-]
f_{tann}	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu	[-]
f_U	opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovení příslušných hodnot U	[-]
f_w	korekční činitel pro nerozptylové zasklení	[-]
g_n	solární faktor zasklení	[-]
h_r	součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	[W/m ² .K]
$n_{dnů}$	počet dnů v měsíci	[den]

n_{hod}	počet hodin za den (resp. den dle kroku výpočtu)	[h]
n_{min}	minimální intenzita větrání	[1/h]
n_{osob}	počet členů domácnosti	[os]
nPE	primární neobnovitelná energie	[kWh]
t_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
$t_{e,m}$	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
t_{int}	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_j	venkovní teplota	[°C]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
w	celková tloušťka obvodových stěn	[m]
z	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody	[-]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření	[-]
γ_H	bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
$\Delta t_{e,r}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[K]
ΔU_{TB}	přirážka zohledňující vliv tepelných vazeb	[W/m ² .K]
$\eta_{H,gn}$	využitelnost tepelných zisků	[-]
η_t	účinnost systému zpětného získávání tepla	[-]
λ_{zeminy}	součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W/m.K]
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{vody}	hustota vody	[kg/m ³]

1. ÚVOD

Trendem posledních několika desítek let je snaha o snížení energetických nároků na bydlení. Zlepšování tepelně-izolačních vlastností obvodových konstrukcí a zvyšování účinností zdrojů vedlo k zásadnímu snížení spotřeby energie novostaveb. Při aktuálním vědeckém poznání se ovšem technické možnosti dalšího zlepšování těchto parametrů blíží svým limitům.

Proto je vhodné se zabývat mimo jiné systémy zpětného získávání tepla (ZZT) a dále je rozvíjet. Tyto rozličné systémy spojuje to, že využívají odpadní teplo a využívají ho tam, kde je potřeba. Systémy ZZT chytře redistribuují teplo tam, kde je právě potřeba.

Tato práce si klade za cíl zhodnotit možnosti ZZT navrženého experimentálního domu. U těchto systémů vyhodnocuje nejen energetické, ale i ekonomické hledisko. Krom toho se zabývá i dalšími technickými aspekty jednotlivých řešení.

2. KONCEPT OPTIMALIZMUS

Snaha o koncept pasivního rodinného domu, který kromě nízkých provozních nákladů přináší i nízké investiční náklady v porovnání s konvenční výstavbou, vedla k vytvoření Konceptu *Optimalizmus*. Autoři se rozhodli tento koncept volně sdílet a zároveň poskytovat konzultace pro zájemce o výstavbu domu dle tohoto konceptu. Projektová dokumentace je open-source, tedy je volně ke stažení a umožňující modifikace. [1, 2]

Koncept byl vytvořen díky spolupráci multioborového týmu. Ten je složen z vědeckého pracovníka Ústavu fyziky materiálů AV ČR RNDr. Jiřího Svobody, CSc., DSc., architektů Ing. arch. Petra Čáslavy a Ing. arch. Romana Ženatého a společnosti *Komplextherm* Zdeňka Šabrňáka. Ve spolupráci mimo jiné vyvinuli pro potřeby *Optimalizmu* vlastní kompaktní tepelné čerpadlo země-voda. [1, 2, 5]

V rámci této práce se vychází z projektu pasivního rodinného domu modifikovaného ing. arch. Janem Soukupem ve spolupráci s jeho klienty. [6]

2.1. Vize konceptu

Ústřední myšlenkou konceptu *Optimalizmus* je optimalizace návrhu rodinného domu vedoucího k dosažení pasivního standardu při nízkých pořizovacích nákladech a zaručení vysoké životnosti a nadstandardního komfortu bydlení. Konstrukce domu taktéž umožňuje případnou výstavbu svépomocí. [1, 2]

Autoři zdůrazňují, že „*Optimalismus* je a zůstane volně přístupným stavebním konceptem otevřený všem konstruktivním návrhům a kritickým připomínkám zaručujícím jeho zdravý rozvoj“.
[1, 2]

2.2. Stavební konstrukce

2.2.1. Vzorový projekt *Optimalismus*

Navržený rodinný dům je dvoupodlažní, kompaktního tvaru. Střecha je domu je sedlová, s velmi malým sklonem. *Optimalismus* upřednostňuje využití přírodních materiálů, pokud to technické či ekonomické hledisko umožňují. Proto v nosné konstrukci obvodového pláště, střechy i stropů dominuje využití dřeva. Tyto konstrukce jsou tvořeny příhradovými vazníky vyplněnými minerální vatou. Prostor mezi vazníky jsou taktéž vyplněny minerální vatou. Tloušťka minerální vaty v obvodových stěnách je 500 mm, v případě střechy jde o 660 mm. [1, 3, 6]

Obvodové stěny jsou opláštěny OSB deskami, které jsou zakryty modřínovými palubkami natřenými minerálním olejem. Vnitřní strana je opět zakryta OSB deskami a přetmelena lepidlem a natřena akrylátovým emailem. Pro zlepšení stability objektu je středová stěna zděná z pórobetonu. [1, 3, 6]

Střecha domu se skládá taktéž z dřevěných vazníků a minerální vaty, stejně jako u obvodových stěn. Vnitřní záklop je z OSB desek, vnější strana je pokryta trapézovým plechem. [1, 3, 6]

Objekt je založen na železobetonových základových pasech. Základová železobetonová deska je zateplena pomocí EPS. V betonových podlahách jsou zalita potrubí podlahového vytápění. [1, 3, 6]



Obr. 1: Výchozí návrh domu dle konceptu *Optimalismus* [2]

2.2.2. Řešený projekt

Jak již bylo řečeno, tato diplomová práce se nezabývala přímo vzorovým návrhem autorů konceptu *Optimalizmus*, ale modifikovaným projektem Ing. arch. Jana Soukupa ve spolupráci s jeho klienty. Zároveň byl výchozí návrh upraven dle požadavků na požární ochranu. [1, 3, 6]

Dům je taktéž dvoupodlažní, kompaktního tvaru. Rozmístění oken a dveří je též obdobné. Mírná změna proběhla v provedení střechy, její sklon se oproti výchozímu návrhu zvýšil a je sedlového typu s polovalbou. K domu přiléhá zastřešené parkovací stání a v blízkosti se nachází dílna se sklepem. Ta ovšem přímo k domu nepřiléhá. [1, 3, 6]

Obvodové stěny jsou ve směru z interiéru tvořeny sádkartonovými deskami s minerálním nátěrem, izolační předstěnou s vloženou dřevovláknitou izolací *STEICOflex*, protipožárním záklopem deskami *Fermacell Vapor*, nosnou konstrukcí s pásnicemi z lepených OSB profilů s vloženou minerální vlnou, protipožárním záklopem deskami *Fermacell Vapor*, dřevovláknité fasádní izolace *STEICOProtect* a vnějším prodyšným omítkovým systémem. Vnitřní nosná stěna je zděná z keramického zdiva *Heluz AKU 25*. [1, 3, 6]

Skladba střechy je ve směru od interiéru následující: protipožární podhled ze sádkartonových desek uchycených na nosném roštu z pozinkovaných profilů s vloženou minerální izolací, ztužující a parotěsná vrstva z OSB desek, nosná konstrukce z lepených OSB nosníků s vloženou minerální vlnou, pojistná hydroizolace, prostor krovu vymezený krokviemi se sklonem 30 °, střešní latě a trapézový vlnitý plech. [1, 3, 6]

Dle návrhu *Optimalizmus* je objekt založen na základových železobetonových pasech. Nosná vrstva podlahy je železobetonová deska, jež je pokryta hydroizolací a tepelně izolovaná EPS. Následuje separační vrstva PE fólie, nad níž se nachází systémové desky podlahového vytápění zalité v anhydritovém potěru. Pochozí vrstva je dle typu místnosti buď z vinylových šablon nebo keramické dlažby. [1, 3, 6]

Podlaha v 2. NP se skládá z pohledové nosné konstrukce stropních dřevěných trámů a palubkového zákopu, jako roznášecí vrstva slouží dvojitý záklop OSB desek, lisované minerální vaty jako kročejové izolace. Nad ní se nachází separační PE fólie a systému podlahového vytápění zalitého anhydritovým potěrem s obdobnými pochozími vrstvami jako v 1. NP. [1, 3, 6]



Obr. 2: Vizualizace návrhu Ing. arch. Jana Soukupa [6]

2.3. Technická zařízení budovy

Autoři konceptu se snažili v návrhu systému TZB co nejefektivněji pracovat s energií dodanou do objektu a minimalizovat spotřebu energie. Zároveň je cílem zajistit vysoký komfort bydlení pro obyvatele objektu. [1, 3, 4]

Návrh objektu zahrnuje vytápění pomocí tepelného čerpadla země-voda, jenž zajišťuje taktěž ohřev teplé vody. V letním provozu tepelné čerpadlo taktěž slouží k chlazení. Větrání rodinného domu je nucené. Spotřeba energie je snížena díky využití několika systémů zpětného získávání tepla (ZZT). [1, 3, 4]

V následujících podkapitolách jsou podrobněji rozebrána jednotlivá zařízení a systémy dle výchozího návrhu *Optimalizmu*. Případné úpravy konceptu a systémů pro projekt Ing. arch. Jana Soukupa vychází z výpočtů uvedených dále v této diplomové práci. Doporučení k jednotlivým systémům a zařízením se nachází v kapitole 6. [1, 3, 4, 6]

2.3.1. Tepelné čerpadlo

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept Optimalizmus. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Přímo pro potřeby konceptu *Optimalizmus* byla ve spolupráci RNDr. Jiřího Svobody, CSc., DSc. a společnosti *Komplextherm* vyvinuta kompaktní jednotka s tepelným čerpadlem *KCT5-C22GW ZR22* o výkonu 5 kW. Čerpadlo je osazeno kompresorem *Copeland ZR22K3E* a oběhovými čerpadly *Grundfos*. [4, 5, 7]

Tepelné čerpadlo umožňuje taktéž letní chlazení objektu pomocí tzv. freecoolingu, chlazení tedy probíhá pouze za pomoci čerpadel a kompresor je mimo provoz. [4, 5, 7]

2.3.2. Plošný zemní kolektor pod objektem

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept Optimalizmus. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Pro potřeby vytápění a přípravy teplé vody je navržen jako primární zdroj tepla plošný zemní kolektor. Nejde ovšem o konvenční řešení, při kterém je kolektor umístěn pod volným terénem. Kolektor je totiž uložen ve ztuhlé zemině pod základovou deskou objektu (viz foto níže). Blíže jsou technické a fyzikální aspekty tohoto konceptu rozebrány v kapitole 5.2. této práce. [4, 8]

Doporučené je použití PEHD potrubí 25x2,3 mm o délce minimálně 250 m. Rozteč jednotlivých potrubí je 600 mm. Hloubka uložení je minimálně 300 mm pod základovou deskou. Náplň smyček plošného kolektoru je nemrznoucí kapalina na bázi glykolu. [4]

Toto řešení má v zimním období využívat vyšší teplotu pod základovou deskou pro dosažení vyššího faktoru COP tepelného čerpadla, který vede k lepší efektivitě. To je sice v rozporu s představami konvenčních výpočetních modelů (např. ČSN EN ISO 10211 a ČSN EN ISO 13370), ovšem experimentální zkoumání (Ing. Vladan Panovec, *Fakulta stavební VŠB–TU Ostrava*) teplotních polí pod podlahou objektu s obdobnými tepelně-izolačními parametry ukazuje, že myšlenka autorů *Optimalizmu* má oporu v reálném fyzikálním fungování. [4, 9, 10, 11]

V letním provozu je při potřebě chlazení teplo z objektu předáváno do plošného kolektoru. Tím také dochází k tepelné regeneraci zeminy pod objektem. Výhodou je taktéž menší objem výkopových prací v porovnání s běžným řešením, které také na zahradě snižuje potenciální plochu pro případnou výsadbu stromů či drobnou výstavbu. [4]



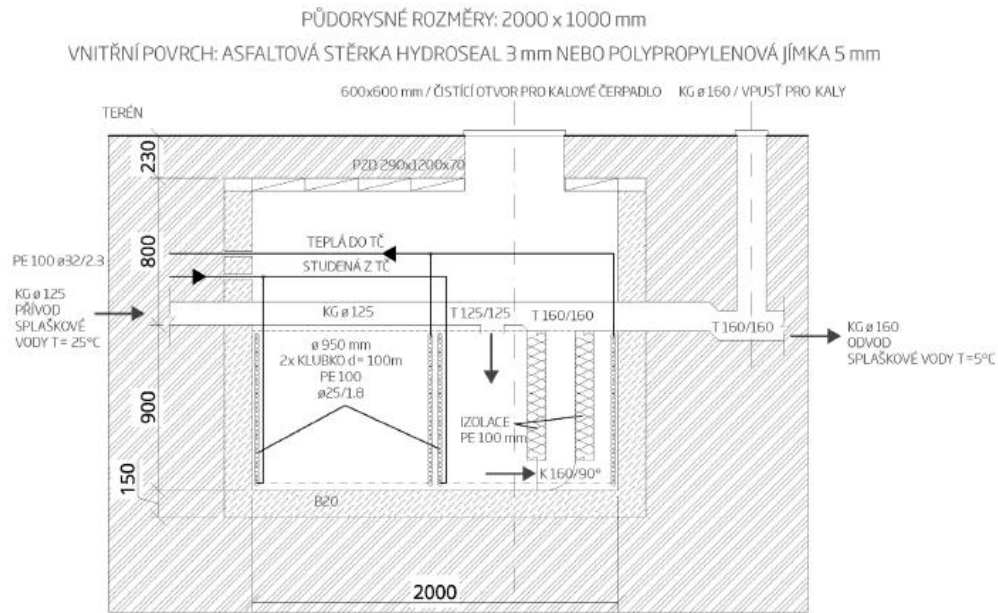
Obr. 3: Instalace plošného zemního kolektoru pod objektem [8]

2.3.3. Splaškovodní výměník

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept Optimalizmus. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Jako druhý zdroj tepla pro tepelné čerpadlo je v rámci Konceptu navržen tzv. splaškovodní výměník. Jde o jednoduchou obetonovanou plastovou jímku, v níž je uložen druhý primární okruh TČ a je do něj přiváděna odpadní voda. TČ odebírá teplo z výměníku a umožňuje jeho využití v objektu. Výhodou je možnost využití tohoto tepla na ohřev teplé vody v průběhu celého roku. [4]

Následující obrázek představuje řešení splaškovodního výměníku dle příručky konceptu *Optimalizmus*. V příručce není přímo vysvětleno, co je přesně pojmem „splaškovodní“ myšleno, resp. s jakou vodou na vstupu se uvažuje, zda jde pouze o tzv. šedou vodu nebo veškerou odpadní vodu. Šedou vodou se rozumí dle ČSN EN 12056 odpadní vody neobsahující fekálie a moč, které odtékají z umyvadel, van, sprch, dřezů apod. [4, 12, 13]



2.3.4. Podlahové vytápění a chlazení

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept *Optimalismus*. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Pro vytápění rodinného domu je navrženo využití podlahového vytápění konvenčního typu. Potrubí podlahového vytápění je zalito v betonové vrstvě podlahy. Je doporučeno použít potrubí dimenze 16x2 mm z materiálu Al-Pert nebo PE-X. Teplonosná látka je voda. [4]

Koncept *Optimalismus* udává pouze přibližné rozvržení jednotlivých smyček. Přesný návrh je potřeba upřesnit. Od tepelného čerpadla je voda vedena ke dvěma rozvaděčům, pro každé patro jeden. [4]

Systém podlahového vytápění slouží taktéž k chlazení v letním období. Tepelné čerpadlo fungující v režimu tzv. freecoolingu odvádí skrz podlahy do plošného zemního kolektoru. V návrhu podlahového vytápění je nutné myslet na nebezpečí kondenzace, pokud by povrchová teplota stropu byla pod teplotou rosného bodu. V tom případě by hrozilo riziko vzniku plísní. [4]

2.3.5. Kombinovaný zásobník teplé vody

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept *Optimalismus*. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé

systemy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Pro potřeby využívání teplé vody v objektu je navrženo využití primárně nepřímo vyhřívaného zásobníku teplé vody. *Optimalizmus* doporučuje využít zásobníku 160÷200 l. Primárním zdrojem tepla je kompaktní jednotka tepelného čerpadla. Jako sekundární záložní zdroj tepla je uvažováno s elektrickou topnou spirálou v zásobníku. [4]

2.3.6. Řízení systémů vytápění, přípravy teplé vody a chlazení

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept Optimalizmus. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

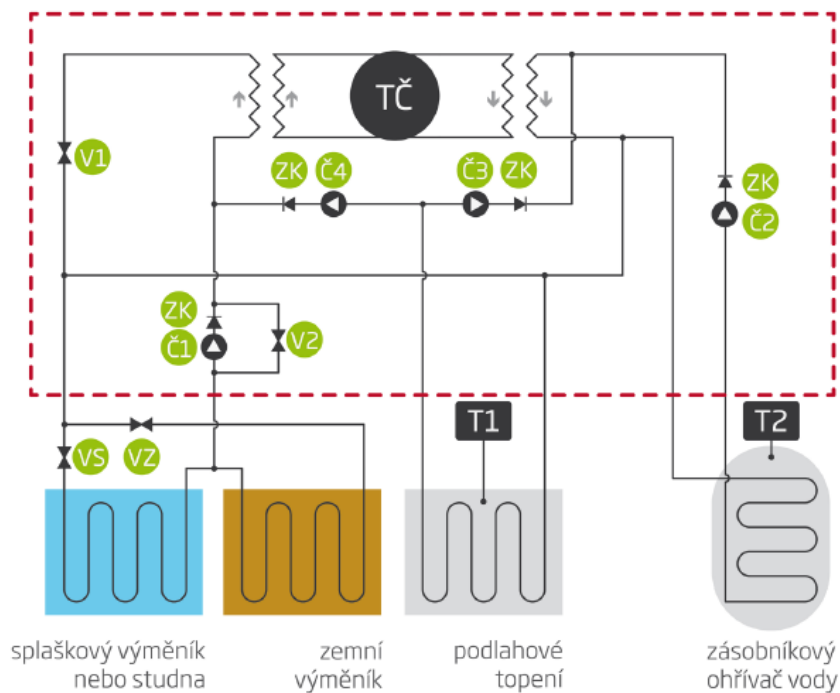
Vstupní data do systému řízení získává jednotka tepelného čerpadla pomocí termostatů *T1* (podlahové vytápění) a *T2* (zásobník teplé vody). Schéma zapojení se nachází na obrázku níže. V návrhu *Optimalizmu* se uvažuje s řízením teploty v místnostech pomocí jedné referenční místnosti. [4]

Jednotlivé režimy provozu přepíná uživatel objektu manuálně přímo na jednotce TČ. Zároveň je nutné uzavřít kulové kohouty v technické místnosti dle příslušného režimu. [4]

Při režimu *Letní provoz* je uzavřen kulový kohout *VS* (okruh splaškovodního výměníku) a otevřen kohout *VZ* (okruh zemního kolektoru). Pomocí jednotky TČ umožňující freecooling dochází k předávání tepla z místností pomocí rozvodů podlahového vytápění do zemního výměníku. V tomto režimu je kompresor TČ mimo provoz a oběh kapalin zajišťují oběhová čerpadla. [4]

Je uvažováno s tím, že k přepnutí na režim *Zimní provoz I* dojde v září/říjnu podle klimatických podmínek. V tomto režimu dojde k otevření kulového kohoutu *VS* a uzavření kohoutu *VZ*. Jednotka TČ tedy odebírá teplo pouze ze splaškovodního výměníku a „šetří“ zemní kolektor. [4]

Když teplota kapaliny přicházející ze splaškovodního výměníku klesne pod 5 °C, je nutné otevřít kohout *VZ* a tím pádem zahájit režim *Zimní provoz II*. Tepelné čerpadlo začne odebírat teplo i ze zemního kolektoru. [4]



Obr. 5: Schéma zapojení jednotky TČ [4]

2.3.7. Zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept *Optimalizmus*. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

Koncept *Optimalizmus* navrhuje využít nekonvenčního systému pro využití tepla z odpadního vzduchu. Nevyužívá běžné větrací rekuperační jednotky se zpětným získáváním tepla (dále ZZT) a označuje je jako složitý a nákladný. [4]

Místo toho větrání zajišťuje odtahový ventilátor napojený na vzduchotechnický rozvod. Přívod je zajištěn pomocí mikroventilace. Odpadní vzduch je v tomto případě využit na přehřívání vody před vstupem do kombinovaného zásobníku teplé vody. K tomu slouží výměník vzduch-voda o objemu 165 l vody. [4]

Ventilátor vhání vzduch svrchu dolů v mezeře kolem nerezové tlakové nádoby a díky nalepeným hliníkovým žebřům účinně předává teplo vodě v nádobě přes její stěnu. Ochlazený vzduch vystupuje z výměníku v jeho spodní části a s případným kondenzátem je vypouštěn ven. Tím, že je vzduch hnán mezerou svrchu dolů, studená voda je přiváděna na spodku nádoby a přehřívá voda je odváděna na vrchu nádoby, výměník funguje protiproudým způsobem. [4]

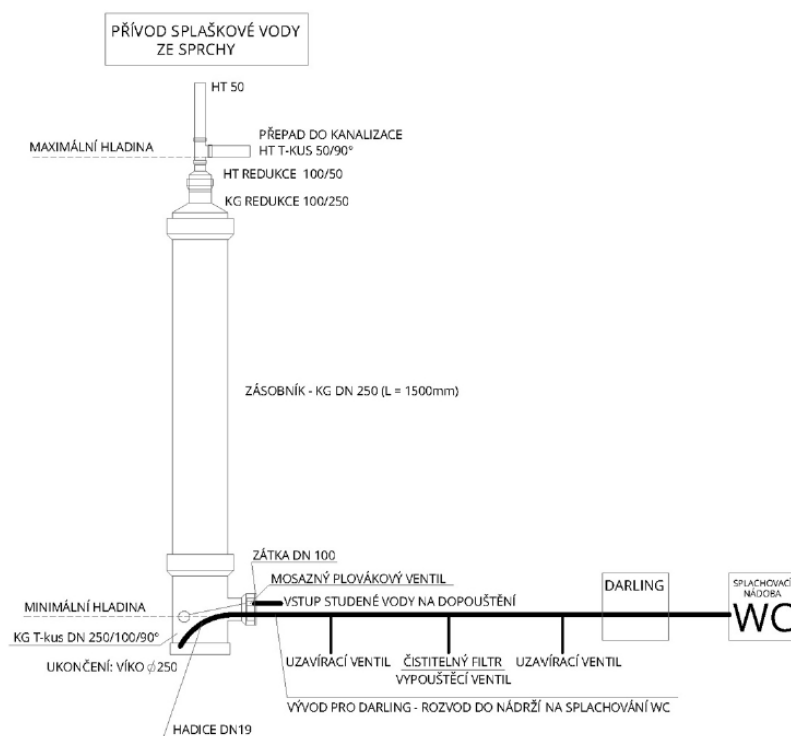


Obr. 6: Zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda [4]

2.3.8. Systém využití šedé vody

(Pozn: Tato subkapitola popisuje provoz a efekty jednotlivých systémů, tak jak o nich uvažuje koncept Optimalizmus. Nejde o posouzení na základě provedené rešerše, ani nejsou jednotlivé systémy podloženy výpočtem. Tomu se tato práce věnuje v kapitole 5. Posouzení proveditelnosti technických systémů.)

V rámci minimalizace spotřeby vody koncept *Optimalizmus* navrhuje využití zařízení, jenž využívá šedou vodu vznikající při sprchování. Tato šedá voda je bez dalších úprav vhodná ke splachování WC. *Optimalizmus* uvažuje se spotřebou vody při sprchování na zhruba 30 l/den.člověk. Navrhuje jednoduchý systém jímání vody ze sprchování (viz obrázek níže), doplněný o samočinnou domácí vodárnu, jenž vodu rozvádí do nádržek WC. Objem zásobníku je cca 75 l. [4]



Obr. 7: Systém využití šedé vody [4]

3. ENERGETICKÉ POSOUZENÍ NAVRŽENÉ BUDOVY

3.1. Účel posouzení

Posouzení objektu bylo provedeno z důvodu stanovení očekávané energetické náročnosti pro potřeby investora rodinného domku. Jeho požadavkem bylo získat konkrétnější představu o celkové energetické náročnosti objektu při zahrnutí všech systémů ZTZ dle konceptu *Optimalismus* a blíže vyčíslit ekonomický přínos jednotlivých řešení.

Požadavkem investora bylo dosáhnout v rámci spotřeby energie standardu pasivní budovy (spotřeba energie na vytápění $Q_H \leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$). Zájmem investora bylo těchto hodnot dosáhnout za reálných podmínek, proto byly některé okrajové podmínky upraveny oproti normovaným výpočtům energetické náročnosti. [19]

Pokud by nějaké z původně navržených řešení mělo ekonomický přínos nevýrazný, přinášelo riziko výrazných technických komplikací, či bylo po finanční stránce náročné, tak by investor zvažoval v rámci minimalizace nákladů vypuštění či optimalizaci tohoto řešení z projektu.

3.2. Okrajové podmínky

Pro co nejvyšší přesnost byly okrajové podmínky výpočtu upraveny s přihlédnutím k lokalitě, plánovaném provozu a zkušenostech z praxe.

V rámci klimatických dat (teploty vzduchu) byly použity průměrné denní hodnoty teplot za roky 2004–2019 veřejně dostupné z ČHMI pro obec Radovesnice (okres Kolín), jenž se nachází 5 km od lokality plánovaného objektu. V rámci verifikačního výpočtu byly použity standardní průměrné měsíční teploty uvedené v ČSN EN ISO 52016-1. [16, 20]

Spotřeba teplé vody dle ČSN 73 0331-1 je udávána na 35–55 l/osoba.den při teplotě teplé vody 55 °C. V navrženém domě se počítá s moderními zařízeními – energeticky i spotřebou úsporná myčka, pračka, vodovodní baterie vybavené perlátory, atd.. Proto by byla hodnota spotřeby teplé vody snížena na cca 30 l/osoba.den. Z téhož důvodu byla celková denní spotřeba vody stanovena na 80l/osoba.den. Standardně je při ohřevu teplé vody uvažováno s teplotou teplé vody 55 °C. S ohledem na použití tepelného čerpadla byla teplota teplé vody uvažována 50 °C (při nižší by hrozilo riziko množení bakterie legionelly) a denní spotřeba teplé vody stanovena na 35 l/osoba.den. Zároveň je z hygienického důvodu nutné vodu pravidelně přehřívát (za pomoci elektrické topné patrony) na alespoň 70 °C, aby došlo k tzv. tepelné dezinfekci. Energie nutná na tuto dezinfekci nebyla v energetické bilanci zahrnuta. [15, 20]

Teplota studené vody na vstupu do objektu byla uvažována na základě konzultace s vedoucím této diplomové práce vyšší, než je obvyklé, např. dle ČSN 06 0320 (10 °C po celý rok) a sice v 15 °C v letním období a 11 °C po zbytek roku. [14, 20]

3.3. Metodika výpočtu

Součinitele prostupu tepla byly stanoveny pomocí ČSN EN ISO 6946. Tepelné ztráty větráním a prostupem tepla byly vypočteny za využití ČSN EN 12 831-1. [17, 18]

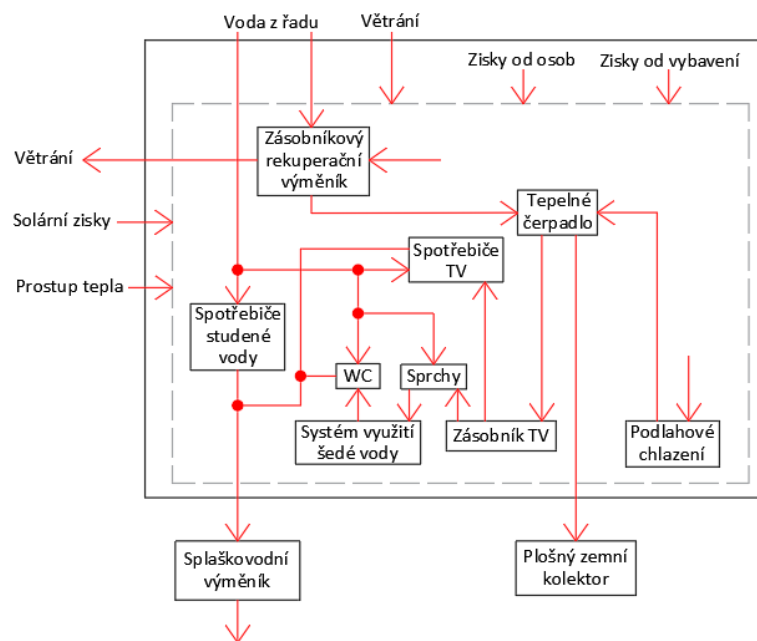
Stanovení potřeby tepla na vytápění bylo provedeno dle ČSN EN ISO 52016-1. Tento výpočet byl pro větší přesnost modifikován, jak již bylo výše zmíněno. Byl použit denní krok, klimatická data vychází z 15letého průměru poskytnutého ČHMI pro obec Radovesnice. Výpočet byl proveden souběžně pro situaci bez všech systémů ZZT a zároveň i při zahrnutí systémů ZZT. To z důvodu, že pro tyto systémy nebyly k dispozici standardizované výpočetní postupy. Výsledné hodnoty pro případ bez ZZT byly verifikovány dle měsíčního kroku výpočtu ČSN EN ISO 52016-1 viz subkapitola 5.7. Výpočetní postup pro systémy ZZT je blíže popsán v kapitole 6. [16, 20]

Pro stanovení potřeby chladu v letním období byl využit program *DesignBuilder*. Ten umožňuje výpočet s hodinovým krokem výpočtu, což ze své podstaty zajišťuje větší přesnost, než výpočet s měsíčním krokem dle ČSN EN ISO 52016-1. Profily užívání v *DesignBuilderu* byly tvořeny tak, aby co nejdříveji reprezentovaly očekávaný provoz. Pro ověření byl proveden součet hodnot

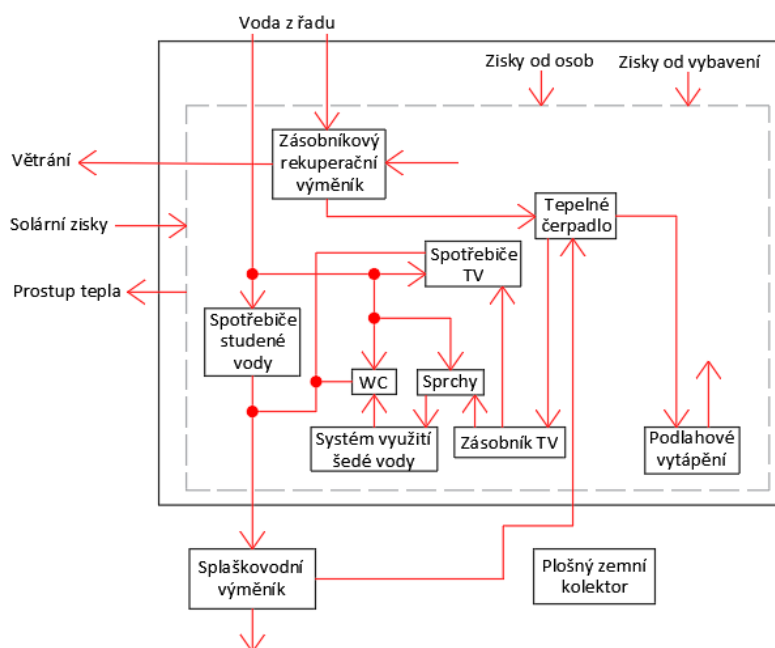
z *DesignBuilderu* po měsících a porovná s výstupy z ČSN EN ISO 52016-1. Blíže je verifikace popsána v subkapitole 5.7.. [16, 20]

3.4. Energetické toky

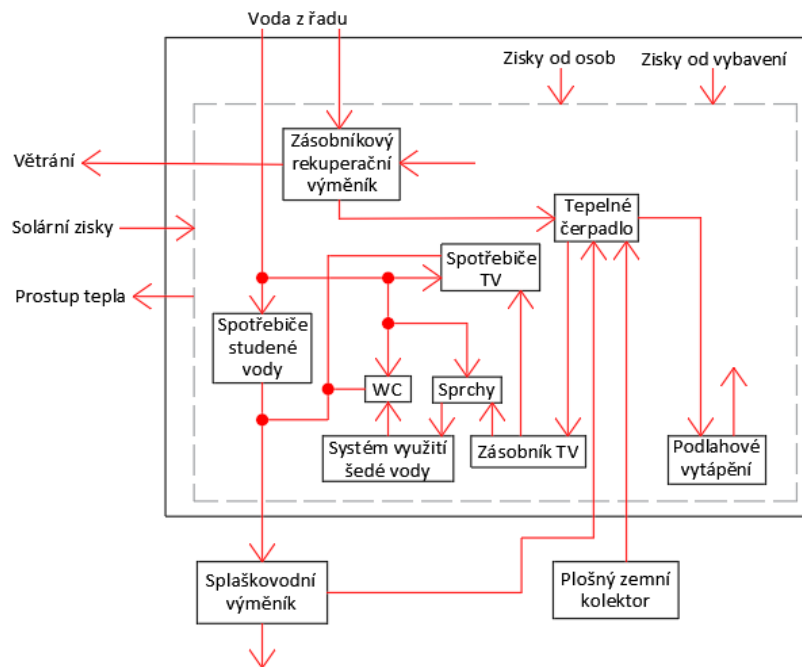
Systémy zpětného získávání tepla v navrženém konceptu jsou vzájemně propojeny, proto pro přehlednost byla vytvořena zjednodušená schémata energetických (resp. tepelných) toků v objektu. A to pro všechny 3 provozní režimy tepelného čerpadla *KCT*. Schémata jsou vyobrazena na následujících obrázcích. [4]



Obr. 8: Zjednodušené schéma energetických toků – režim Létu



Obr. 9: Zjednodušené schéma energetických toků – režim Zima I



Obr. 10: Zjednodušené schéma energetických toků – režim Zima II

4. METODIKA VÝPOČTU ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

4.1. Výpočet součinitelů prostupu tepla

Výpočet pro neprůsvitné části na styku s vnějším prostředím byl proveden dle ČSN EN ISO 6946. Výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla U pro jednotlivé stavební konstrukce jsou uvedeny v následujících subkapitolách. [18]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

kde

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$],

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$],

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$],

s_n – tloušťka n -té stavební konstrukce [m],

λ_n – součinitel tepelné vodivosti n -té stavební konstrukce [$\text{W/m} \cdot \text{K}$].

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla na styku rovinných ploch se vzduchem.

Tab. 1: Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla [18]

Tepelný odpor při přestupu tepla [m ² .K/W]	Směr tepelného toku		
	nahoru	Vodorovně	dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Pro plochy přilehlé k zemině (podlahy) byl výpočet proveden dle ČSN EN ISO 13 370. [11] Pro každou z místností byl samostatně vypočítán charakteristický parametr:

$$B' = \frac{S}{0,5 \cdot O} [m] \quad (2)$$

kde

B' – charakteristický parametr [m],

S – plocha podlahy [m²],

O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m].

Dále bylo nutné vypočítat ekvivalentní tloušťku podlahy.

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) [m] \quad (3)$$

kde

d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m],

w – celková tloušťka obvodových stěn [m],

λ_{zeminy} – součinitel tepelné vodivosti zeminy [W/m.K],

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m².K/W],

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m².K/W],

R_f – tepelný odpor podlahy [m².K/W].

Hodnota součinitele tepelné vodivosti zeminy pro potřeby výpočtu byla uvažována jako $\lambda_{zeminy} = 2$ W/m, a to odpovídající kategorii šterky a písky. [11]

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla konkrétní místnosti se vypočítá pro

$d_t < B'$ pomocí vztahu

$$U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) [W/m^2 \cdot K] \quad (4)$$

kde

$U_{podlahy}$ – součinitel prostupu tepla podlahou [W/m².K].

Případně pro $d_t \geq B'$ pomocí vztahu

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (5)$$

Tab. 2: Parametry neprůsvitných konstrukcí [6]

Název stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]
obvodová stěna	0,063
střecha	0,052

Tab. 3: Parametry neprůsvitných konstrukcí – podlahy [6]

Označení místnost	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]
1.1. Chodba a schodiště	0,102
1.2. Jídelna	0,111
1.3. Pokoj	0,113
1.4. Šatna	0,114
1.6. Technická místnost	0,113

V případě průsvitných částí (oken a dveří) nebyly v době tvorby této práce určeny konkrétní výrobky. Příručka *Optimalismus* pouze doporučuje využít výrobky s trojitým zasklením. Jako referenční byly zvoleny okna a dveře se zasklením trojsklem od výrobce *Vekra*. Pro výpočet byly užity hodnoty udávané v technických listech výrobce. Parametry průsvitných částí jsou uvedeny v následující tabulce. Pro všechny výpočtové varianty byly použity stejná okna a dveře. [54, 55, 56]

Tab. 4: Parametry průsvitných konstrukcí [54, 55, 56]

Název stavební konstrukce	Součinitel prostupu tepla U_w [W/m ² .K]	Solární faktor g [-]
dveře (<i>Vekra Komfort</i>)	0,9	0,52
okna (<i>Vekra Premium</i>)	0,7	0,52
HS-portál (<i>Vekra HS Portál</i>)	0,8	0,52

4.2. Tepelné ztráty

4.2.1. Tepelné ztráty větráním

Pro provedení výpočtu tepelné ztráty větráním bylo využito ČSN EN 12 831-1. [17]

$$Q_{V,i} = n_{hod} \cdot H_V \cdot (t_{int} - t_e) \cdot (1 - \eta_t) = n_{hod} \cdot V \cdot n_{min} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{int} - t_e) (1 - \eta_t) \text{ [kWh]} \quad (6)$$

kde

$Q_{V,i}$ – tepelná ztráta větráním [kWh],

n_{hod} – počet hodin za den (resp. den dle kroku výpočtu) [h],

H_V – měrný tepelný tok větráním [W/K],

t_{int} – vnitřní výpočtová teplota [°C],

t_e – venkovní výpočtová teplota [°C],

V – vnitřní objem vytápěného prostoru [m³],

n_{min} – minimální intenzita větrání [h⁻¹],

ρ – hustota vzduchu [kg/m³],

c – měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg.K],

η_t – účinnost systému zpětného získávání tepla [-].

Pro vzduch o teplotě 20 °C odpovídají hodnoty $\rho = 1,188 \text{ kg/m}^3$ a $c = 1010 \text{ J/kg.K}$. [36]

Ve výchozím výpočtu dle konceptu Optimalizmus bylo uvažováno s $\eta_t = 0$, vzhledem k absenci systému ZZT zajišťující předání tepla přiváděnému vzduchu.

4.2.2. Tepelné ztráty prostupem

Výpočty byly provedeny dle ČSN EN 12 831-1. [17]

$$Q_{H,tr} = n_{hod} \cdot (H_{T,e} + H_{T,g}) \cdot (t_{int} - t_e) \text{ [kWh]} \quad (7)$$

kde

$Q_{H,tr}$ – tepelná ztráta prostupem [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

$H_{T,e}$ – měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy [W/K],

$H_{T,g}$ – měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venk. prostředí [W/K],

t_{int} – vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C],

t_e – venkovní výpočtová teplota [°C].

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí:

$$H_{T,e} = A \cdot (U + \Delta U_{TB}) \cdot f_U \cdot f_e \text{ [W/K]} \quad (8)$$

kde

A – plocha stavební části [m^2],

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

ΔU_{TB} – přírážka zohledňující vliv tepelných vazeb [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

$f_{U,k}$ – opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovení příslušných hodnot U [-],

$f_{e,k}$ – teplotní opravný součinitel [-].

Pro výpočet bylo uvažováno s $f_{U,k} = 1$, $f_{e,k} = 1$ a $\Delta U_{TB} = 0,05 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ pro stěny. ΔU_{TB} odpovídá použití stavebních konstrukcí s mírnými tepelnými mosty a optimalizovanými tepelnými vazbami v souladu s obecně uznávanou a doporučovanou praxí. [17]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy:

$$H_{T,g} = f_{tann} \cdot [A_n \cdot U \cdot f_{ig} \cdot f_{GW}] \text{ [W/K]} \quad (9)$$

kde

f_{tann} – opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu [-],

A – plocha stavební části [m^2],

U_{equiv} – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební konstrukcí v kontaktu se zeminou [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$],

f_{ig} – teplotní opravný činitel [-],

f_{GW} – teplotní činitel zohledňující vliv spodní vody [-].

Hodnoty činitelů použité ve výpočtu:

$$f_{tann} = 1,45,$$

$$f_{GW,k} = 1 \text{ (hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky)}. \text{ [36]}$$

Teplotní opravný činitel:

$$f_{ig,k} = \frac{t_{f,i} - t_{e,m}}{t_{f,i} - t_e} \text{ [-]} \quad (10)$$

kde

$t_{e,m}$ – průměrná venkovní teplota za otopné období [$^{\circ}\text{C}$].

Výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou:

$$U = \frac{a}{b + (c_1 + Br)^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (11)$$

kde hodnoty činitelů pro podlahu

$$a = 0,9671 \quad [-],$$

$$b = -7,455 \quad [-],$$

$$c_1 = 10,76 \quad [-],$$

$$c_2 = 9,773 \quad [-],$$

$$c_3 = 0,0265 \quad [-],$$

$$n_1 = 0,5531 \quad [-],$$

$$n_2 = 0,6027 \quad [-],$$

$$n_3 = -0,9296 \quad [-],$$

$$d = -0,0203 \quad [-],$$

$$z = 0 \quad [-].$$

4.3. Tepelné zisky

4.3.1. Vnější tepelné zisky

Tepelné zisky z oslunění hrají důležitou roli v navrhování moderních objektů s obálkou s dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [17]

$$Q_{H,sol} = f_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} - f_r \cdot Q_r \quad [\text{kWh}] \quad (12)$$

kde

$Q_{H,sol}$ – tepelné zisky z oslunění [kWh],

f_{sh} – korekční stínění na externí překážky [-],

A_{sol} – solární sběrné plochy [m²],

I_{sol} – intenzita solárního záření [kWh/m²],

f_r – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [-],

Q_r – sálání vůči obloze [Wh].

f_r je roven 0,5 pro vertikální prvky a 1 pro horizontální prvky.

$$Q_r = R_{se} \cdot U_n \cdot A_{poh,np} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} [W] \quad (13)$$

kde

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K/W$],

U – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W/m^2 \cdot K$],

$A_{poh,np}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2],

h_r – součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně [$W/m^2 \cdot K$],

$\Delta t_{e,r}$ – faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou [K].

Výpočet A_{sol} se provádí pro průhledné a neprůhledné konstrukce zvlášť dle následujících vzorců.

$$A_{sol,p} = f_{sh,gl} \cdot f_w \cdot g_n \cdot (1 - f_f) \cdot A_{poh,p} [m^2] \quad (14)$$

kde

$A_{sol,p}$ – solární sběrná plocha průhledné konstrukce [m^2],

$f_{sh,gl}$ – korekční činitel zasklení [-],

f_w – korekční činitel pro nerozptylové zasklení [-],

g_n – solární faktor zasklení [-],

f_f – podíl plochy rám [-],

$A_{poh,p}$ – pohledová plocha průhledné konstrukce [m^2].

Hodnoty korekcí byly uvažovány $f_{sh,gl} = 0,7$ a $f_w = 0,9$. [36]

$$A_{sol,np} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{poh,np} [m^2]$$

(15)

kde

$A_{sol,np}$ – solární sběrná plocha neprůhledné konstrukce [m^2],

$\alpha_{s,c}$ – pohltivost slunečního záření [-],

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K/W$],

U_{np} – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W/m^2 \cdot K$],

$A_{poh,np}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2].

Pro potřeby výpočtů byla použita hodnota $\alpha_{s,c} = 0,6$. [36]

4.3.2. Vnitřní tepelné zisky

Jde o zisky od domácích spotřebičů, z umělého osvětlení a od osob, které dům obývají. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [16]

$$Q_{H,int} = n_{hod} \cdot (n_{osob} \cdot Q_{os} \cdot f_{int} + Q_{sp}) \text{ [kWh]} \quad (16)$$

kde

$Q_{H,int}$ – vnitřní tepelné zisky [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

n_{osob} – počet členů domácnosti [os],

Q_{os} – tepelné zisky na osobu [W/os],

f_{int} – korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu [-],

Q_{sp} – tepelné zisky na bytovou jednotku [W].

Bylo uvažováno s přítomností osob 70 % času, 100 W na bytovou jednotku a 100 W na osobu. [36]

4.3.3. Využitelnost tepelných zisků

Využitelnost tepelných zisků závisí především na tepelně-akumulačních vlastnostech objektu. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. [16]

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \text{ [-]}, \quad (17)$$

kde

γ_H – bilanční poměr pro režim vytápění [-],

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky [kWh],

$Q_{H,ht}$ – celková potřeba tepla na vytápění [kWh].

V případě že $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \text{ [-]}, \quad (18)$$

pokud $\gamma_H = 1$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \text{ [-]}, \quad (19)$$

a za situace, že $\gamma_H < 0$, tak

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} [-], \quad (20)$$

kde

$\eta_{H,gn}$ – využitelnost tepelných zisků [-],

a_H – bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy [-].

4.4. Potřeba tepla

4.4.1. Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění bez zahrnutí systémů ZTT byla vypočtena dle ČSN EN ISO 52016-1. Modifikace výpočtu po zahrnutí systémů ZTT je popsána v příslušných subkapitolách kapitoly *Posouzení proveditelnosti technických systémů budovy*. Po zohlednění tepelných zisků se potřeba tepla získá z následujícího vztahu. [16]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - n_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \text{ [kWh]} \quad (21)$$

kde

$Q_{H,nd}$ – potřeba tepla na vytápění [kWh]

4.4.2. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba teplé vody na dne ve výchozím výpočtu bez zahrnutí systémů ZTT byla stanovena na základě následujícího výpočtu. Modifikace výpočtu při zahrnutí systémů ZTT konceptu *Optimalizmus* je uvedena v příslušných subkapitolách kapitoly *Posouzení proveditelnosti technických systémů budovy*. [16]

$$Q_{TV/den} = n_{osob} \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho_{vody} \cdot c_{vody} \text{ [kWh]} \quad (22)$$

kde

$Q_{TV/den}$ – potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh],

$n_{dnů}$ – počet dnů v měsíci [den],

n_{osob} – počet členů domácnosti [osob],

V_p – potřeba teplé vody na osobu [$\text{m}^3/\text{osob} \cdot \text{den}$],

t_1 – teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$],

t_2 – teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$],

ρ_{vody} – hustota vody [kg/m^3],

c_{vody} – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$],

Jak již bylo popsáno v subkapitole *Okrajové podmínky*, bylo uvažováno se spotřebou na osobu 30 l/den. Pro rodinné domy uvádí ČSN 73 0331-1 typickou hodnotu měrné spotřeby teplé vody 35 až 55 l na osobu a den. Pro měsíce červenec a srpen byla měrná potřeba snížena z 30 l na den a osobu o 25 % vzhledem k tomu, že jde o období prázdnin a dovolených, kdy se lidé často vyskytují mimo domov. [15]

4.5. Potřeba chladu

Pro stanovení potřeby chladu v letním období byl využit simulační program *DesignBuilder*, neboť umožňuje přesné výpočty s hodinovým krokem a taktéž přesné nastavení profilů užívání. Výsledné hodnoty z výpočtu s hodinovým krokem byly následně po dnech sečteny a dále využity ve výpočtu potřeb a spotřeb daného objektu.

Profilů užívání jsou dostupné v příloženém souboru programu *DesignBuilder*. Program neumožňuje využít uživatelsky zadané teploty, součet teplot v letním období má oproti součtu teplot dodaných ČHMÚ pro blízkou lokalitu nižší. Proto byla potřeba chladu navýšena o konstantu 1.14, která odpovídá průměrnému rozdílu teplot. [20]

4.6. Verifikace a porovnání metodik výpočtu

Vzhledem k upraveným okrajovým podmínkám bylo provedeno porovnání hodnot potřeby tepla stanovených denním krokem s upravenými okrajovými podmínkami s hodnotami pro měsíční krok získanými standardním výpočtem dle ČSN EN ISO 52016. [16]

V případě potřeby chladu z programu *DesignBuilder* bylo vzhledem k uživatelským profilům užívání využito verifikace hodnot pomocí výpočtu s měsíčním krokem dle ČSN EN ISO 52016. U tohoto postupu bylo očekáváno s dosažením nižších hodnot než u *DesignBuilderu*, neboť využití průměrné měsíční teploty vnáší do měsíčního kroku výpočtu nepřesnost. [16]

5. POSOUZENÍ PROVEDITELNOSTI TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ BUDOVY

Koncept *Optimalismus* nebyl v příručce a podkladech podložen výpočtem, proto bylo nutné provést alespoň zevrubné posouzení konceptu z hlediska jednotlivých systémů budovy. Bylo provedeno technické posouzení obecné, a tam kde to rozsah práce umožňoval, i výpočtem podložený vliv na spotřebu energie a provozní náklady.

5.1. Plošný zemní kolektor pod objektem

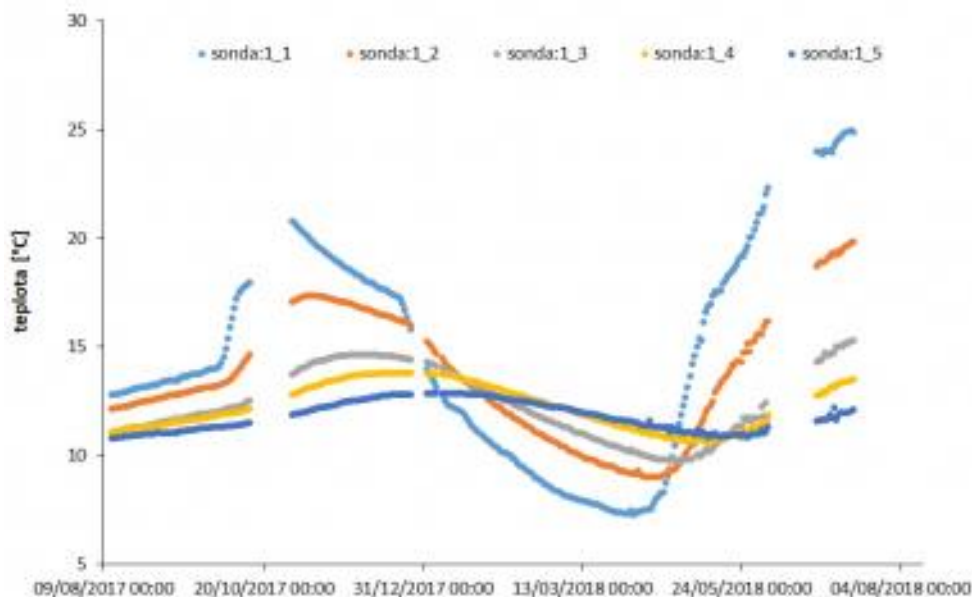
Posouzení všech technických aspektů plošného kolektoru pod objektem bylo komplikované, neboť jde o nekonvenční řešení, s minimem realizací. Veřejně dohledatelné jsou pouze realizace od společnosti *Komplextherm* – např. pasivní halová dřevostavba Přísnotice a rodinný dům Medlánský. Podle vyjádření společnosti je toto řešení funkční a bezproblémové. [4, 8, 21]

Vzhledem k tomu, že neproběhlo komplexní měření, bylo nutné toto řešení rozebrat po fyzikální technické stránce. Rozsah této práce bohužel neumožňuje provést podrobnou simulaci provozu kolektoru, proto nejsou vlivy jednotlivých činitelů kvantifikovány.

5.1.1. Experimentální dům Hlinsko

Kromě výše zmíněných realizací se v ČR nachází také experimentální dům v Hlinsku využívající akumulaci tepla v podzákladí. Zde výzkumný ústav *UCEEB* a společnost *Regulus* provádí dlouhodobé měření chování domu a zeminy pod ním. Systém dosahuje sezónní topný faktor *SCOP* přibližně hodnoty 6. Přestože monitoring zatím není plně vyhodnocen, je patrné relativně stabilní chování zemního zásobníku během provozu. Ovšem tato data nejsou zcela přenositelná, neboť koncept řešení není zcela totožný. [22]

Zemní výměník je u tohoto domu umístěn mezi základovými pasy, které jsou hluboké 1,5 m a jsou z vnější strany opatřeny tepelnou izolací. Instalované tepelné čerpadlo je zde kombinované, umožňující odebírat teplo buď z venkovního vzduchového chladiče, nebo z centrálního zásobníkového uzlu, do kterého může být požadované teplo dodáváno ze zemního zásobníku nebo, v případě jeho nedostatečné teploty, ze záložní zemní smyčky. Systém je také doplněn fotovoltaickou instalací. Na následujícím obrázku je znázorněn průběh teplot v zemině pod objektem. Označení sond se vztahuje k hloubce měření (1, 2, 3, 4 a 5 m). [22, 23]



Obr. 11: Průběh teplot v zemi pod objektem [22]

5.1.2. Zkušenosti z praxe

Jeden z důvodů, proč v praxi není umístění plošného kolektoru v podzákladí doporučováno, je úvaha, že běžný kolektor získává teplo především ze solární energie a tepelné energie povrchových vod při deštích a bez této regenerace by došlo k podchlazení výměníku a tím pádem snížení COP. Ovšem pozemek, na kterém se dům nachází, je umístěn v mírném, vlhkém svahu a dle posouzení inženýrskogeologických poměrů je hladina pozemní vody v nevelké hloubce pod terénem. Lze tedy předpokládat (i vzhledem k relativně malým půdorysným rozměrům), že proudění podzemních vod zajistí dostatečný přenos tepla dodaného ze solární energie a tepelné energie povrchových vod při deštích do podzákladí. [6, 24, 25]

Umístění kolektoru ve svahu, kde je zemina dostatečně vlhká, je obecně uvažováno jako výhoda, jenž vede k navýšení COP celého systému. V zimě totiž zemní vlhkost zvyšuje tepelnou vodivost zeminy a zajišťuje přenos tepla z okolní zeminy. V létě naopak vlhkost odvádí naakumulované teplo a umožňuje tak pasivně chladit s vyšší efektivitou. [6, 24, 25]

Potrubí kolektoru PE100 25x1,8 mm, které navrhuje *Optimalizmus*, není v praxi pro zemní kolektory doporučováno. Důvodem je malá tloušťka stěny a tím pádem nižší mechanická odolnost. Samotný materiál PE100 se v praxi využívá, ovšem větší dimenze. Minimální rozměr potrubí z materiálu PE100, jenž se používá pro plošné kolektory, je PE100 32x3 mm (tlaková řada PN16). Materiál PE100 je doporučen po použití pouze při umístění potrubí do pískového lože. Alternativou vhodnou pro pokládku bez pískového lože jsou potrubí vyráběná z např. materiálu FAST PE-GT-RC. U tohoto materiálu jsou molekulové vazby provázány a odolávají i přímému

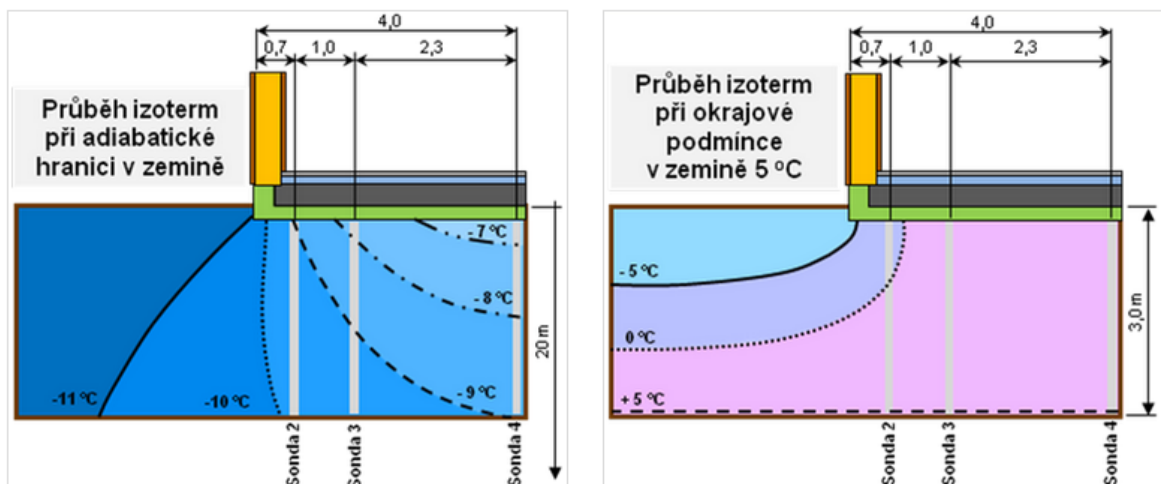
dlouhodobému tlaku kamene na stěnu potrubí a nemusí se tedy pokládat do pískového lože. Vzhledem k instalaci kolektoru v podzákladí je vhodné volit co nejodolnější potrubí, neboť kolektor je v tom případě prakticky neopravitelný. [4, 25, 28, 59, 60]

5.1.3. Teplotní pole v zemině pod podlahou

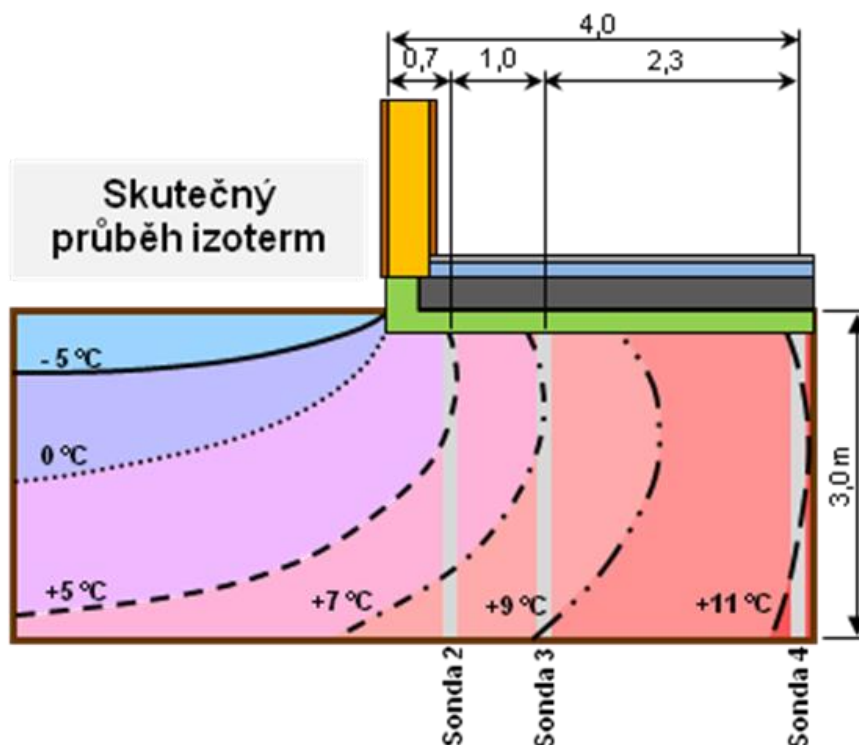
Důležité bylo se zaměřit na názor, že umístění plošného kolektoru pod objektem nepřináší oproti běžné instalaci žádný užitek, jen komplikace, především z regenerací. Experimentální měření provedené Ing. Vladanem Panovcem z VŠB-TU Ostrava v roce 2013 přináší důležité zjištění. [9]

Ing. Panovec provedl experimentální měření teplotními poli v zemině pod podlahou a porovnal je s běžnými matematickými modely (ČSN EN ISO 13370, ČSN EN ISO 10211) používanými při výpočtech tepelných ztrát. Měření bylo provedeno po dobu 8 měsíců pro 2 patrový dům kompaktních rozměrů v areálu stavební fakulty VŠB-TU. Dům je založen na železobetonové základové desce izolované 340 mm EPS a XPS ($U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Je tedy výrazně zamezeno „dotování“ teploty v zemině z objektu. Jde o obdobnou konstrukci jako u konceptu *Optimalizmus*. [9, 10, 11]

Na následujících obrázcích je znázorněn výsledný průběh izoterm jak u běžných matematických modelů, tak i reálný průběh stanovený z měření.



Obr. 12: Teplotní pole v zemině dle výpočetních modelů [9]



Obr. 13: Teplotní pole v zemině skutečné [9]

Jak je na základě výše uvedených obrázků patrné, dochází k výrazně odlišnému chování oproti matematickým modelům. Z výsledků měření vyplývá, že pod velmi dobře tepelně izolovanou podlahou dosahuje teplota během celé otopné sezóny zhruba 10 °C. Podlaha funguje jako izolační vrstva, která jako chrání zeminu před povětrnostními podmínkami a brání jejímu ochlazení. Velmi dobrá tepelné izolace minimalizuje tepelný tok z objektu, vyšší teplota je způsobena především tepelným tokem ze zemské kůry. [9]

Tento poznatek je pro koncept *Optimalismus* zásadní, neboť umístění kolektoru pod objekt umožňuje oproti běžným řešením využít oblast s vyšší teplotou, a lze tím pádem očekávat většího sezonního *COP* než při běžné instalaci. Teplota pod objektem sice nebude odpovídat tomuto měření, neboť provoz kolektoru bude zeminu ochlazovat, ovšem pozitivní vliv tohoto umístění lze s velkou pravděpodobností očekávat. [9]

5.1.4. Zhodnocení poznatků

Na základě výše rozebraných poznatků a zkušeností z realizací společnosti *Komplextherm* lze předpokládat, že toto řešení je přes svá možná úskalí realizovatelné a lze očekávat, že přinese vyšší *SCOP* a tím pádem i vyšší efektivitu oproti konvenčnímu řešení. [7]

Pro další výpočty bylo nutné stanovit průměrnou teplotu na výstupu ze zemního kolektoru, neboť je potřebná pro určení dílčího *COP* tepelného čerpadla. Pro to byly využity výsledky měření *Asociace pro využití tepelných čerpadel*, které vyhodnocovalo průměrnou teplotu na výstupu z kolektoru na konci zimního období. [26]

Data vychází z měření 20 instalací. Původně mělo měření proběhnout u 40 instalací, ovšem od toho bylo upuštěno, neboť dle autorů měření se výsledné teploty lišily pouze minimálně. Teplota na výstupu byla měřena na přelomu března a dubna, kdy se nejnižší denní teploty pohybovaly v rozmezí $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tomuto období předcházela zima, který byl o $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ chladnější než dlouhodobý normál, a únor, který teplotně odpovídal dlouhodobému normálu. [26]

Výstupem z tohoto měření byla průměrná teplota $+1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po vyhodnocení pouze kolektorů v oblastech s vnější návrhovou teplotou $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (což je případ předmětu této práce) je průměrná teplota na výstupu z kolektoru $+2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. [26]

Byť lze na základě předpokladů zmíněných v předchozích kapitolách očekávat, že u instalace dle konceptu *Optimalismus* bude teplota vyšší, tak se autor této práce rozhodl držet na straně bezpečnosti, a teplotu $+2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ uvažovat jako průměrnou i u analyzovaného systému. To mimo jiné z důvodu nedostatku jiných podkladů a nutnosti pro přesné data provést důkladnou simulaci, což nebylo vzhledem k rozsahu práce realizovatelné. [26]

Přes nedostatek podkladů **lze předpokládat, že na základě výše zmíněných poznatků je možné systém doporučit, při kvalitním návrhu a technickém provedení.** Je ovšem vhodné nahradit materiál potrubí PE100 25x1,8 mm za jiný s vyšší mechanickou odolností. [25]

5.2. Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla jsou obecně pro rodinné domy s nízkými tepelnými ztrátami v kombinaci s podlahovým vytápěním vhodné zdroje. Řešení je to prozkoumané a ověřené. Tepelná čerpadla typu země-voda jsou oproti čerpadlům vzduch-voda hospodárnější, neboť teplota v zemině je stálejší, a především v zimním období vyšší než teplota vzduchu. To obecně zajišťuje vyšší *COP* a tím i nižší spotřebu elektrické energie. [27]

Náklady na pořízení, montáž a naplnění primárních okruhů (již předem připravených) jsou u tepelného čerpadla *KCT5-C22GW ZR22* při cenové hladině roku 2020 vyčísleny na zhruba 160 000 CZK s DPH. [7]

Posouzení jiných možných čerpadel nebylo provedeno, neboť toto TČ je „srdcem“ celého konceptu *Optimalismus*, který chtěl investor realizovat, a i řízení je optimalizované na další systémy

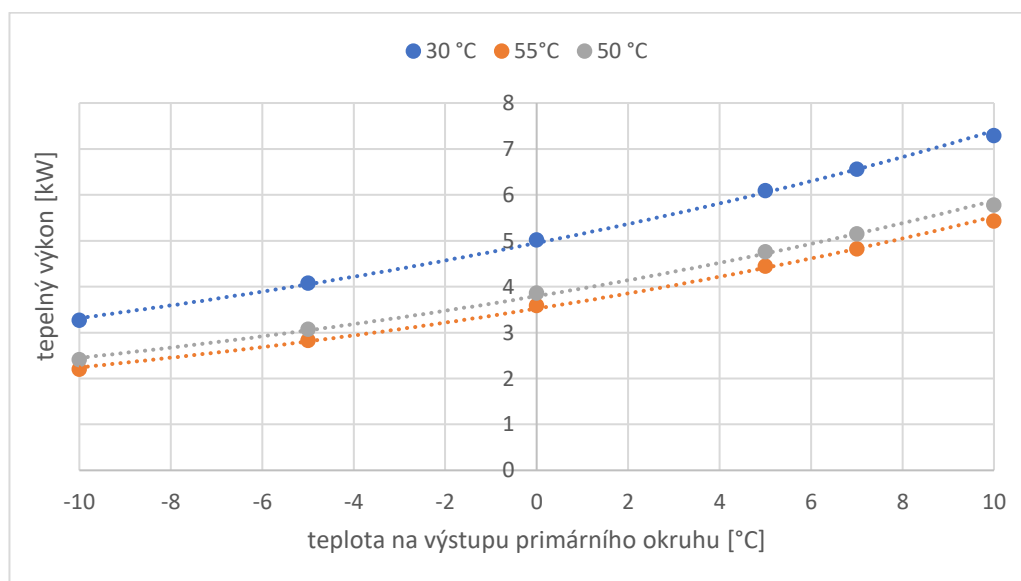
konceptu. Bylo tedy pouze ověřeno, zda čerpadlo umožňuje pokrýt tepelnou ztrátu objektu, a to za situace, kdy by žádný ze systémů ZZT nebyl v provozu, resp. by nezajišťoval zpětné získání tepla. [4, 24, 25]

Pro potřeby porovnání a stanovení COP byla využita teplota na výstupu zemního výměníku $+2,7\text{ °C}$. Tato hodnota se drží na straně bezpečnosti a odpovídá teplotě na konci zimního období. Lze očekávat, že v reálných podmínkách u této konkrétní instalace bude tato teplota vyšší. Zároveň i u daného měření je tato teplota přes zbylé roční období vyšší. [26]

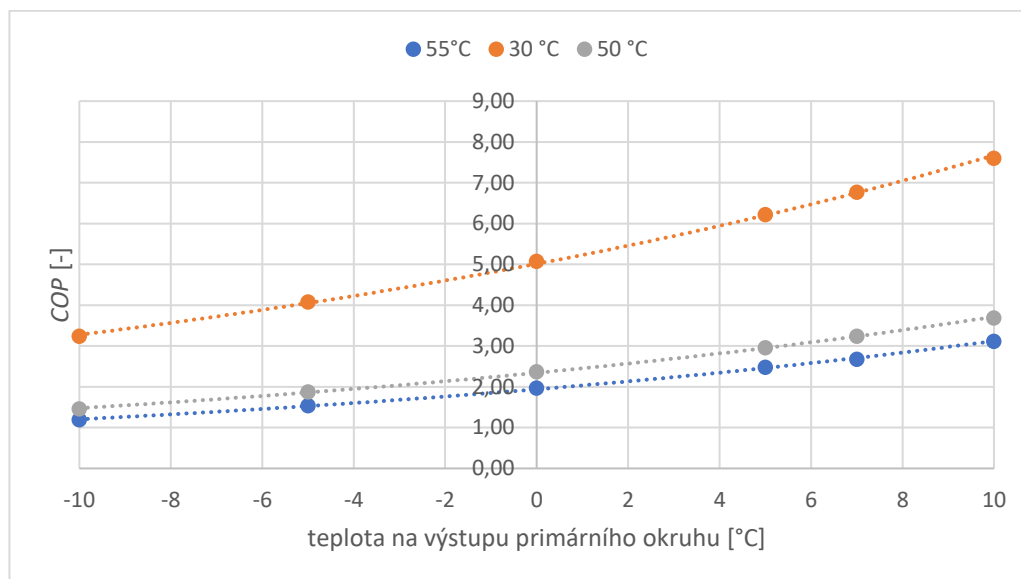
Pro stanovení tepelného výkonu a COP byly použity hodnoty udávané výrobcem kompresoru čerpadla. Byly stanoveny hodnoty COP a tepelného výkonu pro vytápění (výstupní teplota 30 °C , viz subkapitola *Podlahové vytápění*) a přípravu teplé vody (výstupní teploty 50 a 55 °C). Tyto hodnoty byly stanoveny pro výše zmíněnou teplotu výstupu z primárního okruhu $2,7\text{ °C}$. Díky popsaným poznatkům je velmi pravděpodobné, že jde o hraniční hodnoty, které jsou po většinu roku vyšší. [28]

Tab. 5: Porovnání tepelného výkonu a ztrát [28]

Vnější návrhová teplota	13	°C
Návrhová tepelná ztráta bez ZZT	4,080	kW
Tepelný výkon na vytápění (30 °C)	5,520	kW
Tepelný výkon na přípravu TV (50 °C)	4,268	kW
Tepelný výkon na přípravu TV (55 °C)	3,975	kW
$COP_{VVT}(30\text{ °C})$	5,62	-
$COP_{TV}(50\text{ °C})$	2,65	-
$COP_{TV}(55\text{ °C})$	2,20	-



Obr. 14: Výkonová charakteristika kompresoru Copeland ZR22K3E [28]



Obr. 15: COP charakteristika kompresoru Copeland ZR22K3E [28]

Výsledkem posouzení lze konstatovat, že **navržené TČ je pro dané použití vhodné**. Dodává dostatečně velký tepelný výkon na vytápění, aby zajistilo tepelný komfort a energeticky efektivní provoz.

V případě přípravy teplé vody jsou hodnoty COP nižší, ovšem stanovení teploty na výstupu z primárního okruhu na straně bezpečnosti a zkušenosti z praxe umožňuje předpokládat, že hodnoty COP budou v průběhu celého roku dostačující pro efektivní provoz. [24, 25, 28, 61, 62]

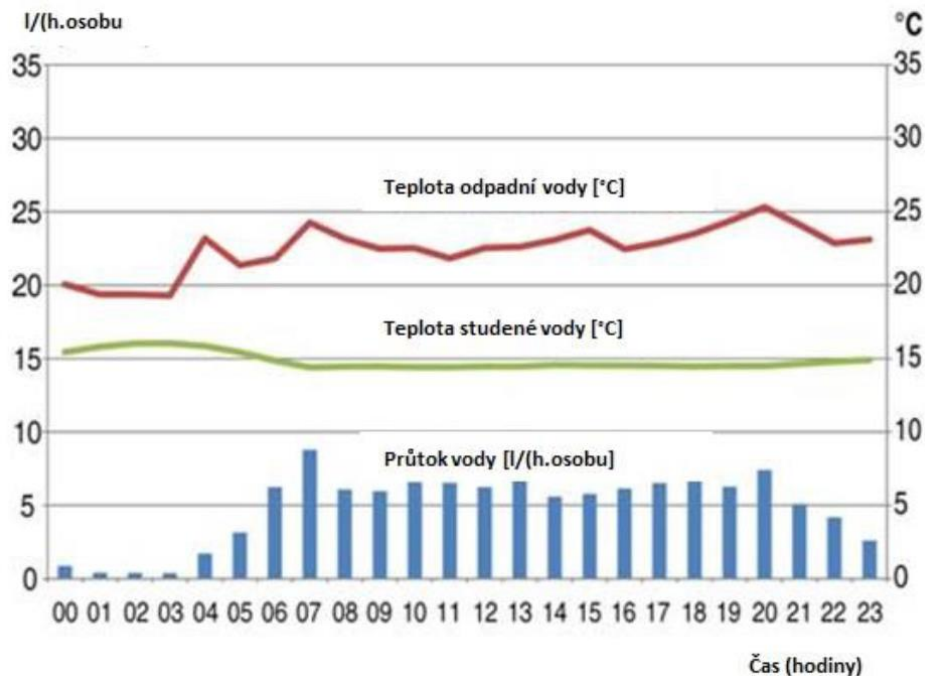
Příručka *Optimalizmu* navrhuje použít zásobník 160+200 l. Na základě toho, že teplota teplé vody v zásobníku je předpokládána nižší než obvyklých 55 °C, a tím pádem dochází k navýšení spotřeby teplé vody, **je doporučeno využít zásobník minimálně 200 l**. [61, 62]

5.3. Splaškovodní výměník

V příručce konceptu *Optimalizmu* není definováno, kterou odpadní vodu bude využívat. Z odborné literatury je zřejmé, že pro potřeby ZYT využití tzv. černé vody, obsahující moč nebo fekálie, není vhodné, neboť obsahuje velké množství nečistot a chemicky aktivních látek, které mohou způsobit rychlou degradaci systému. Naopak tzv. šedá voda z umyvadel, van a sprch je pro toto využití vhodná. Též lze využít šedou vodu neseparovanou z myček a praček. [12, 36]

V objektu je tedy nezbytné nainstalovat oddělené odpadní potrubí. Jeden potrubní systém pro odvod vody od umyvadel, van, sprch, myček a praček, druhý odvádí vodu od toalet a pisoárů. [4]

Z měření provedeného v německém Aachenu místní univerzitou vyplývá, že teplota odpadní vody v objektu před vstupem do kanalizační sítě se může v případě bytového domu (s 19 obyvateli) pohybovat mezi 20 a 25 °C. Dále z měření vyplývá, že čím větší je počet uživatelů objektu, tím je průběh teplot rovnoměrnější a průměrná teplota vyšší. [30]



Obr. 16: Teploty vody v bytovém domě s 19 obyvateli [30]

5.3.1. Realizované instalace

Instalací využívajících tepla odpadních vod za pomoci TČ lze po světě i České republice dohledat relativně mnoho (administrativní budova *Wintower* – Švýcarsko, domov pro seniory *Glarus* – Švýcarsko, ČOV *Laupa* – Finsko, kanalizační stoka *Sandvika* – Norsko, výrobní hala *Bosch* – ČR, akvapark Čestlice – ČR). Byť některé zdroje možnost užití tohoto systému pro rodinné domy doporučují, nepodařilo se nalézt žádné podklady k existující instalaci menšího výkonu. [29, 30, 31, 32, 34]

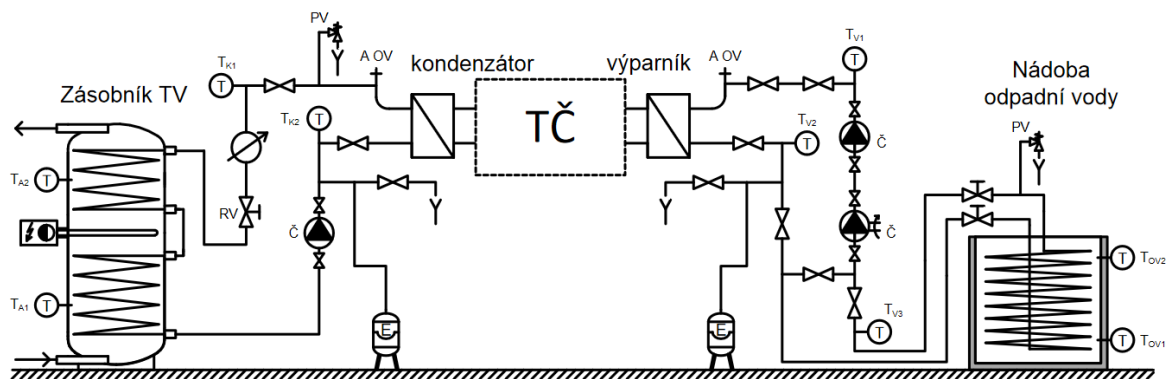
U systémů s rovnoměrným průtokem a teplotou (instalace v kanalizační síti či v rámci čističek odpadních vod) lze využít průtočné systémy ZZT, u menších je vhodnější využít systémů s zadržováním vody. [34]

Cenné poznatky přináší diplomová práce Ing. Radka Červína (pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D.) z roku 2017. Tato práce navrhla a experimentálně ověřila funkci systému ZZT s tepelným čerpadlem pro využití tepla z odpadních vod. V rámci práce byla navržena a postavena

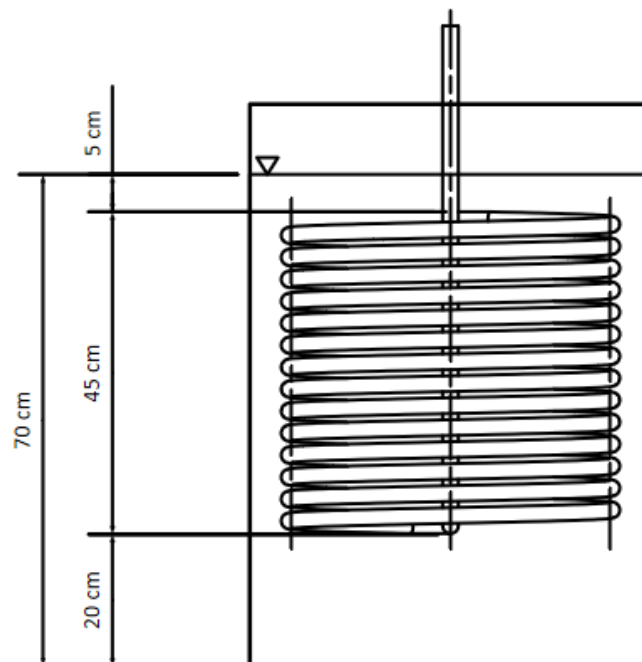
trať primárního i sekundárního okruhu tepelného čerpadla a byla provedena série měření. Výstupem z práce je taktéž matematický model pro zpětné vyhodnocení efektivity ZTZ. [34]

5.3.2. Experimentální systém ZTZ z šedé vody pomocí TČ

Systém ZTZ Ing. Červína není zcela totožný s konceptem *Optimalizmu* (viz schéma níže), TČ zde slouží pouze k ohřevu TV na 45 °C, nikoliv i k vytápění. Dále využívá pro výměník primárního okruhu měděné potrubí 22x1 mm stočené do jedné spirály o celkové délce 21,17 m a teplosměnné ploše 1,46 m². Objem jímky o tvaru válce je pod hladinou zhruba 180 l. Objem zásobníku TV je 144 l. [4, 34]

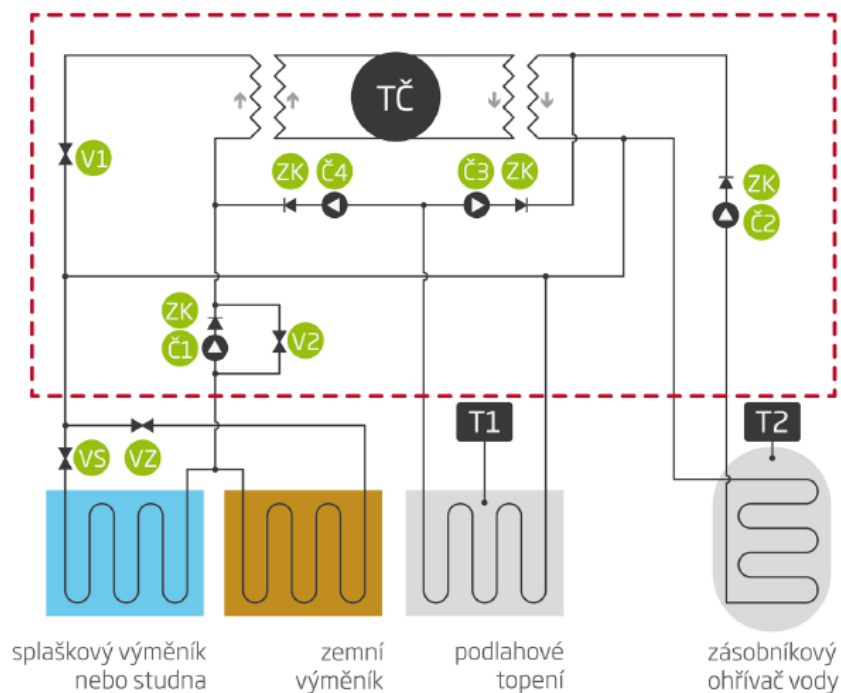


Obr. 17: Zapojení primárního a sekundárního okruhu TČ z práce Ing. Červína [34]

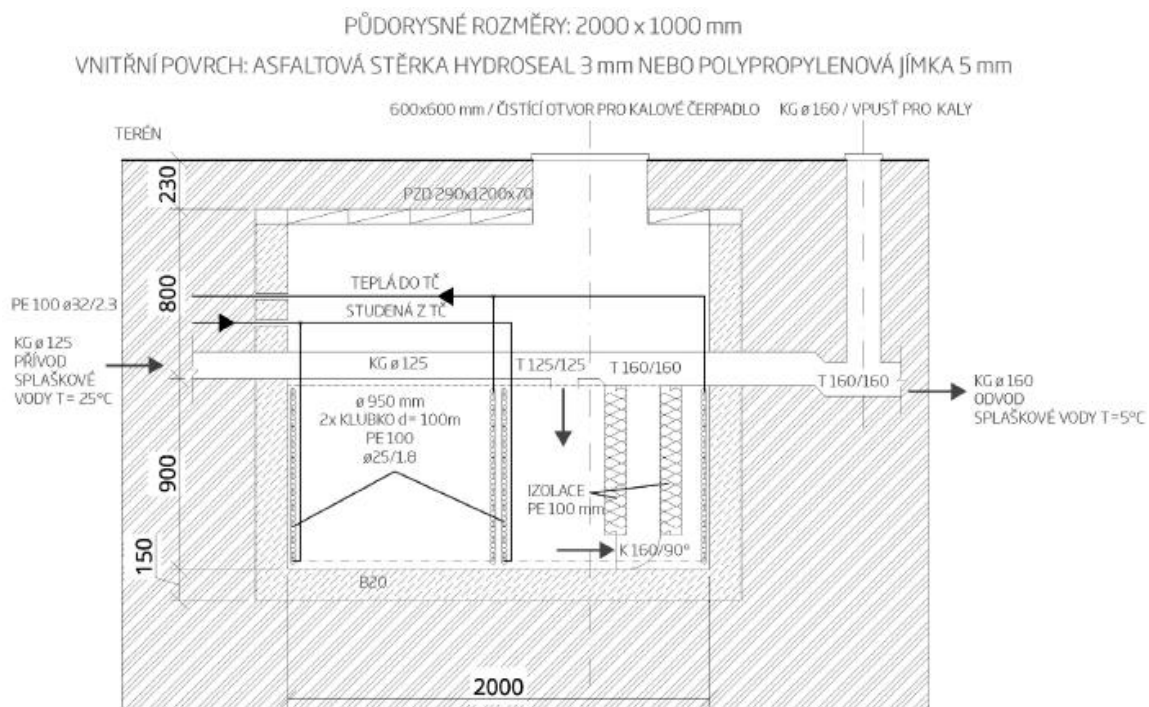


Obr. 18: Provedení výměníku v jímce dle Ing. Červína [34]

Koncept *Optimalismus* navrhuje použít obetonovanou plastovou jímku o obdélníkovém půdorysu 2,0 x 1,0 m a hladinu ve výšce ode dna 0,9 m, využitelný objem nádrže je tedy 1800 l. Doporučený objem zásobníku teplé vody je 160÷200 l. Výměník primárního okruhu je v tomto případě tvořen dvěma paralelně zapojenými spirálami, materiál potrubí je PE100 o rozměrech 25x1,8 mm. Celková délka je 100 m, tedy teplosměnná plocha je 7,85 m². [4]



Obr. 19: Zapojení primárního a sekundárního okruhu TČ dle Optimalizmu [4]



Obr. 20: Provedení výměníku dle Konceptu Optimalismus [4]

Měření bylo provedeno pro několik cyklů, kdy na počátku byla teplota vody v jímce (objem 255 l) kolem 33 °C a TČ zajišťovalo ohřátí zásobníku TV (objem 144 l). Na konci cyklu byla teplota vody v jímce průměrně zhruba 8 °C a teplota vody v zásobníku kolem 48 °C. Důležitým zjištěním je, že průměrný *COP* se za všech měření pohyboval vždy kolem hodnoty 4, což je pro přípravu vody pomocí TČ velmi dobrý výsledek. [34]

Dalším z výsledků měření je poznatek, že pro daný typ tepelného čerpadla s kompresorem *Copeland ZH05K1P* o výkonu 5,5 kW (pro B0/W35) při teplotě odpadní vody v jímce nad 26 °C už neroste tepelný výkon čerpadla. To z důvodu ochrany výparníku, kdy regulace tepelného čerpadla pomocí expanzního ventilu snižuje přehřátí chladiva. Ve výsledku v tom případě dochází k snížení celkového *COP* za cyklus. V tomto ohledu by měl být výhodou *Optimalizmu* téměř 8x větší zásobník, neboť šance přesáhnutí teploty 26 °C je výrazně redukována. Na druhou stranu lze předpokládat, že redukce teploty je až příliš výrazná a sníží *COP* systému, zároveň takto výrazně větší zásobník má větší tepelné ztráty. [4, 34]

Na základě měření vytvořil Ing. Radek Červín (pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D.) matematický model chování výměníku a využil jej při simulaci provozu systému v reálném provozu. V něm je dosažena hodnota celkového *COP* systému přípravy TV 2,68. Autor vyzkoušel snížit objem jímky 100 l, bylo sice dosaženo vyšší střední teploty vody, ovšem vzhledem k delšímu času překročení výše zmíněné teploty vody 26 °C se výsledný *COP* dokonce mírně snížil na hodnotu 2,66. Mezi 180 l a 140 l byl výsledný *COP* konstantně roven hodnotě 2,68. [34]

Systém byl následně simulací porovnán s dalšími možnostmi přípravy TV. U TČ vzduch-voda byla pro výpočet nastavena teplota na výparníku na konstantní hodnotu 7 °C, která vyjadřuje průměrné okrajové podmínky provozu výparníku během roku dle ČSN EN 14511. [34]

Tab. 6: Srovnání s dalšími možnými systémy přípravy TV [34]

	TČ se ZZT	TČ země – voda	TČ vzduch – voda	Elektrický kotel
Horní vypínací teplota [°C]			48	
Dolní vypínací teplota [°C]			43	
Objem zásobníku TV [l]			144	
Objem jímky OV [l]	180	–	–	–
Jmenovitý výkon [kW]	5,5 ¹	5,5 ¹	5,5 ²	2
Teplota OV [°C]	33	–	–	–
Energie spotřebovaná kompresorem / el. Topným Tělesem [kWh]	2,87	3,54	3,00	8,67
Dodaná energie na přípravu TV pomocí TČ [kWh]	8,60	8,65	8,65	–
Topný faktor tepelného čerpadla ($COP_{TČ}$)	3,00	2,45	2,89	–
Chybějící energie pro splnění požadavku odběru [kWh]	0,57	0,56	0,56	0,59
Tepelné zisky jímky OV [kWh]	0,49	–	–	–
Tepelné ztráty zásobníku TV [kWh]	0,98	0,98	0,98	0,97
Celkový COP systému přípravy TV [–]	2,67	2,25	2,59	1

5.3.3. Zhodnocení poznatků

Návrh jímky vychází z průtoku odpadní vody. Doba zadržení by měla být z hygienických důvodů být zadržována maximálně 1 den. Při návrhu délky potřebné délky a plochy potrubí je nutné ověřit, zda je výměník schopný přenést vypočtený výkon výměníku. K tomu slouží postup uvedený v práci Ing. Červína. [34]

Pro správnou funkčnost je nutné umístit jímku do takové hloubky, aby nehrozilo zamrzání vody a tím i případné poškození pláště jímky. Je také nutné zmínit, že běžná maximální přípustná teplota na výparnickové straně TČ je výrobcem udávána kolem 25 °C. Při vyšších teplotách by vysoké tlaky v primárním okruhu způsobily odstavení TČ z chodu. Zároveň je nutné pravidelně výměník čistit, neboť pokud by docházelo k tvorbě biofilmu na stěnách výměníku, tak by časem došlo ke snížení přenosu tepla, a tím pádem i účinnosti celého systému. [34, 37]

V případě výsledků práce Ing. Červína je patrné, že systém splaškovodního výměníku zvyšuje v daném případě efektivitu (resp. COP) systému přípravy teplé vody oproti běžnému systému země-voda o 18,7 %. Lze předpokládat, že při realizaci systému dle *Optimalizmu*, tedy i pro vytápění, dojde k zvýšení efektivitu systému vytápění. Dále je nezpochybnitelný pozitivní efekt na snížení potřeby energie z plošného zemního kolektoru, a tím pádem snížení rizika jeho podchlazování. Lze zjednodušeně říci, že tento systém „šetří“ plošný kolektor. [34]

Objem jímky 2 000 l při očekávaném průtoku cca 160 l/den by odpovídal jímání přiváděné vody 12,5 dní. To není vhodné jak z hygienických důvodů, tak i z hlediska účinnosti výměníku. Dlouhá doba jímání spolu s velkým objemem a absencí tepelné izolace by způsobila, že by byla střední teplota vody oproti systému Ing. Červína výrazně snížena a blížila by se teplotě okolní zeminy. To by způsobilo snížení SCOP a eliminaci výhody oproti plošnému zemnímu kolektoru. Je tedy vhodné objem jímky snížit.

Při splnění několika požadavků je možné systém doporučit k realizaci. Pro delší životnost a hygienickou nezávadnost je **do výměníku nutné přivádět pouze šedou vodu.** Pro ověření návrhu objemu a konstrukce výměníku je nutné provést výpočet dle Ing. Červína uvedeného v diplomové práci v kapitole 4.1. *Návrh výměníku pro primární okruh TČ.* Dále je nutné prověřit vhodnost daných materiálů a nosnost pláště jímky. **Navrženou jímku o objemu 2 000 l je vhodné nahradit jinou o menším objemu.** Nabízí se řešení využít nádrž obdobného objemu (180 l) jako Ing. Červín, protože toto řešení je ověřeno nejen výpočtem, ale i praktickým měřením. Ze stejného důvodu je výhodné využít stejné řešení primárního okruhu v jímce. Měděná spirála zajistí dostatečný přenos tepla. Vzhledem k instalaci pod povrchem je vhodné opatřit jímku tepelnou izolací, protože zajistí snížení tepelných ztrát do okolí.

Taktéž je důležité pamatovat na nutnost pravidelné vizuální kontroly vnitřku výměníku a případnou eliminaci biofilmu. [34]

5.4. Podlahové vytápění

Použití podlahového vytápění zalitého v anhydritovém potěru je ověřené a běžné řešení v moderních domech s nízkými tepelnými ztrátami. Krom rovnoměrného plošného vytápění místnosti je výhodou i relativně nízká teplota kapaliny v potrubní síti, která je výhodná při použití tepelného čerpadla jako zdroje tepla. [39]

V rámci předmětu *Projekt 2* byl pro účely této práce proveden návrh podlahového vytápění. To především kvůli vyhodnocení podlahového chlazení, pro který jsou nutné informace o otopných plochách, jež jsou výstupem návrhu podlahového vytápění. Pro návrh byla použita výpočetní pomůcka *Model návrhu podlahové otopné plochy – PV 1.1.* Autorem je Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.. [38]

System vytápění byl navržen na teplotní spád 29/23 °C. Z tepelného čerpadla je ohřátá voda vedena měděným potrubím paralelně ke dvěma rozvaděčům, každý pro jedno podlaží. Z rozvaděče R1 v 1. NP je vyvedeno 6 okruhů, z rozvaděče R2 4 okruhy. Tlakové vyvážení rozdělovačů R1 a R2 je zajištěno regulačním šroubením *Ivar.DD 301* na zpátečním potrubí. Vyvážení jednotlivých smyček

otopných ploch je provedeno díky regulačním šroubením na sběračích jim příslušných rozdělovačů. [33, 38]

K regulaci výkonu jednotlivých okruhů jsou využity prostorové termostaty *Ivar.TM*. K řízení okruhů A3, B1, B2 a B3 (resp. teploty místností 1.3, 2.2, 2.3. a 2.4) jsou využity samostatné termostaty. Zbylé okruhy jsou řízeny sdruženě, podle prostorového čidla v místnost 1.2. [33, 38]

Pro potrubí podlahových otopných ploch je použito materiálu PE-X v dimenzi 16x2. V obou koupelnách jsou nainstalována elektrická otopná tělesa. To z důvodu, aby je bylo možné využít pro případné sušení oblečení i v letním období. [33]

Tab. 7: Parametry okruhů podlahového vytápění [33]

Smyčka otopné soustavy	Číslo	Místnost Popis	Vnitřní teplota t_i [°C]	Podlahová plocha S [m ²]	Plocha otopného hada S_p [m ²]	Rozeč potrubí l [m]	Tepelná ztráta celkem Q [W]	Povrchová teplota podlahy t_p [°C]	Střední teplota otop. vody t [°C]	Tepelný výkon Q_{pc} [W]
A1	1.1.	Chodba + schodiště	18	14.4	3.2	0.20	170	21.9	26.00	178
	1.2.	Jídelna	20	44.1	31.1	-	(920)	-	-	(961)
A2a		smyčka 1	-	-	8.0	0.20	237	23.0	26.09	255
A2b		smyčka 2	-	-	11.9	0.20	352	23.0	26.09	370
A2c		smyčka 3	-	-	10.6	0.20	314	23.0	26.09	336
A3	1.3.	Pokoj	20	17.4	12.3	0.20	380	23.0	26.09	399
A4	1.4.	Šatna	20	2.7	0.9	0.20	40	20.5	23.06	33
	1.5.	Koupelna	24	3.8	1.6	0.15	40	26.4	28.33	46
	1.6.	Technická místnost	18	5.0	1.5	0.20	220	21.8	25.39	82
B1	2.2.	Pokoj	20	17.4	12.7	0.30	290	22.7	25.93	347
B2	2.3.	Ložnice	20	25.4	15.8	0.30	360	22.7	25.93	433
B3	2.4.	Pokoj	20	18.1	13.2	0.25	330	22.9	25.92	385
B4	2.1.	Chodba + schodiště	19	8.0	3.5	0.15	120	21.6	23.66	112
	2.5.	Koupelna	24	6.8	2.9	0.15	130	26.2	28.71	92
	2.6.	Šatna	20	4.9	2.3	0.30	70	21.6	26.24	108

V příloze č. 2 na konci této práce se nachází souhrnné tabulky k okruhům a hydraulické vyvážení otopné soustavy. Přílohy č. 3 a 4 obsahují rozvržení jednotlivých smyček podlahového vytápění. V příloze č. 5 je vyobrazeno rozvinuté schéma systému podlahového vytápění. Příloha č. 6 vyobrazuje schéma zapojení systému podlahového vytápění. V originálním výtisku diplomové práce jsou tyto výkresy přiloženy samostatně v originálním formátu. **Systém podlahového vytápění lze doporučit.**

5.5. Podlahové chlazení

Využití systému podlahového vytápění k chlazení není minimálně v českých podmínkách příliš rozšířeno. Běžnější je chlazení stropem či panely na stěnách. V tom případě jde zpravidla o systém oddělený od otopné soustavy. Přesto se i v českých podmínkách chlazením pomocí systému podlahového vytápění několik společností zabývá, např. *IVT* či *Revel*. [42, 44, 45]

Výhodou chlazení podlahou je využití otopné soustavy, a tím eliminace investic navíc i zvýšení uživatelského komfortu díky absenci průvanu a velkých teplotní rozdílů při konvenčních řešeních. Relativně vysoké teploty zvyšují efektivitu chlazení, a tím umožňují využít pasivní chlazení, kdy není v provozu kompresor tepelného čerpadla, ale pouze čerpadla oběhová. Taktéž je výhodou nízká hlučnost a tepelná stabilita díky tepelné setrvačnosti chladných podlah. [42, 44, 45]

Na druhou stranu při nevhodném návrhu hrozí riziko kondenzace, a proto i vzniku plísní. K němu dojde v případě, že je teplota rosného bodu vyšší než teplota povrchu podlahy, resp. stropu. Je tedy nutné volit relativně vysoké teploty teplotonosné kapaliny. V opačném případě hrozí i nepříjemný pocit chladné podlahy. [42, 44, 45]

Při návrhu byla využita modifikovaná výpočetní pomůcka *Model návrhu podlahové otopné plochy – PV 1.1* Ing. Romana Vavříčky, Ph.D.. Střední teplota chladící vody byla zvolena na 20 °C, teplotní spád 18/22 °C. [33, 38]

Tab. 8: Parametry okruhů podlahového vytápění [33]

Smyčka otopné soustavy	Číslo	Místnost Popis	Vnitřní teplota t_i [°C]	Podlahová plocha S [m ²]	Plocha otopného hada S_p [m ²]	Rozeč potrubí l [m]	Povrchová teplota podlahy t_p [°C]	Střední teplota chlad. vody t [°C]	Chladící výkon Q_{ch} [W]
[-]	[-]	[-]	[°C]	[m ²]	[m ²]	[m]	[°C]	[°C]	[W]
A1	1.1.	Chodba + schodiště	18	14.4	3.2	0.20	23.1	20.06	116
A2a A2b A2c	1.2.	Jídelna	20	44.1	31.1	-	-	-	-
		smyčka 1	-	-	8.0	0.20	23.1	20.06	183
		smyčka 2	-	-	11.9	0.20	23.1	20.06	273
		smyčka 3	-	-	10.6	0.20	23.1	20.06	243
A3	1.3.	Pokoj	20	17.4	12.3	0.20	23.1	20.06	331
A4	1.4.	Šatna	20	2.7	0.9	0.20	23.1	20.06	34
	1.5.	Koupelna	24	3.8	1.6	0.15	22.7	20.03	62
	1.6.	Technická místnost	18	5.0	1.5	0.20	22.9	20.05	59
B1	2.2.	Pokoj	20	17.4	12.7	0.30	23.3	20.00	356
B2	2.3.	Ložnice	20	25.4	15.8	0.30	23.3	20.00	444
B3	2.4.	Pokoj	20	18.1	13.2	0.25	23.1	20.05	395
B4	2.1.	Chodba + schodiště	19	8.0	3.5	0.15	22.7	20.01	153
	2.5.	Koupelna	24	6.8	2.9	0.15	22.7	20.03	117
	2.6.	Šatna	20	4.9	2.3	0.30	23.3	22.00	82

Posouzení podlahového chlazení bylo vzhledem k rozsahu práce zhodnoceno pouze po stránce povrchových teplot podlah a chladícího výkonu chladících ploch při dané teplotě vzduchu.

Pro kompletní posouzení by bylo mimo jiné nutné vyhodnotit chladící potenciál systému pasivního chlazení. K tomu by bylo nutné vytvořit simulační model celoročního provozu plošného zemního kolektoru pod objektem. Následně by bylo možné zhodnotit, zda je systém schopný zajistit chlazení na komfortní teplotu po celou letní sezónu, případně kolik dní v roce je překročena požadovaná teplota a zda je nutné přidat dodatečné chlazení. [33]

Z tohoto vyhodnocení vyplývá, že při teplotě vzduchu 26 °C dosahuje nejnižší teplota povrchu podlahy 22,7 °C. Z teoretických znalostí rosného bodu vyplývá, že při relativní vlhkosti v místnosti pod 82 % riziko kondenzace nehrozí. Vzhledem k doporučené relativní vlhkost vzduchu v létě ve vnitřních prostorách v rozmezí 40÷55 % je zřejmé, že takováto vlhkost není standardní a bylo by nutné zajistit její snížení i bez podlahového chlazení. [33, 41]

Lze tedy doporučit s tím, že je vhodné při zahájení provozu systému kontrolovat případnou kondenzaci. [40]

5.6. Zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda

Pro předběžné posouzení se velmi zjednodušeně uvažovalo s tím, že veškerá voda bude ve výměníku ohřata na teplotu vzduchu, tedy účinnost na straně vody na 100 %. To samozřejmě neodpovídá skutečnosti, neboť odběr vody není rovnoměrný a není fyzikálně možné, aby při předání tepla z jedné látky na druhou došlo u druhé látky k dosažení teploty první. Ovšem účelem tohoto zjednodušení bylo předběžně stanovit úspory energetické i finanční a při příznivém výstupu dále výpočet upřesňovat.

V otopné sezóně (1. 10. – 15. 5.) bylo uvažováno s teplotou vnitřního vzduchu 20 °C, s 22 °C se uvažovalo v obdobích 16. 5. – 15. 6. a 1. 9. – 1. 10., pro období 16. 6. – 15. 7. a 16. 8. – 31. 8. byla předpokládána teplota 24 °C a úseku 16. 7. – 16. 8. byl předpoklad 26 °C. Přesný průběh teplot nelze přesně stanovit bez podrobné simulace, ovšem pro názornost úspor je toto stanovení dostačující.

Tab. 9: Vstupní parametry posouzení zásobníkového rekuperačního výměníku vzduch-voda

Požadovaný objemový tok vzduchu	144	m ³ /h
Cena elektrické energie	3,04	CZK/kWh
Cena systému ZTZ dle <i>Optimalizmu</i>	30 000	CZK
SCOP na přípravu TV zemní kolektor [15]	2,84	-
SCOP na přípravu TV splaškovodní výměník [34]	3,37	-
Teplota vody na vstupu do objektu léto	15	°C
Teplota vody na vstupu do objektu podzim-jaro	11	°C
Teplota teplé vody	50	°C
Teplota vzduchu vnitřní návrhová – otopná sezóna	20	°C
Potřeba vody celkem	320	l/den
Potřeba teplé vody	140	l/den

Tab. 10: Vyhodnocení posouzení zásobníkového rekuperačního výměníku vzduch-voda

Potřeba tepla na přípravu teplé vody bez ZZT	2,362	MWh/rok
Spotřeba energie na přípravu teplé vody bez ZZT	1,142	MWh/rok
Náklady na přípravu TV bez ZZT	3 469	CZK/rok
Potřeba tepla na přípravu teplé vody s ZZT	2,173	MWh/rok
Spotřeba energie na přípravu teplé vody s ZZT	0,975	MWh/rok
Náklady na přípravu TV s ZZT	2 964	CZK/rok
Úspora energie díky ZZT	126	kWh/rok
Úspora provozních nákladů díky ZZT	433	CZK

Z tohoto předběžného posouzení je patrné, že při fyzikálně nemožné 100 % účinnosti na straně předání tepla odpadního vzduchu vodě je výsledná úspora energetická i finanční minimální. Problém spočívá v nerovnoměrných hmotnostních i objemových tocích, relativně malé potřebě teplé vody a relativně nízké teplotě odpadního vzduchu oproti požadované teplotě vody.

Taktéž je nutné zmínit možné technické komplikace s větráním při přívodu, neboť moderní domy, a především jejich okna, jsou velmi těsná. Součástí oken je sice obvykle mikroventilační přívod, ovšem v běžném provozu hrozí, že uživatelé zapomenout okna do této polohy nastavit. [4]

V tomto případě tedy není vhodné toto řešení doporučit, ale se raději zabývat využitím konvenční rovnotlaké větrací jednotky se zpětným získáváním tepla, jenž není výrazněji dražší, lépe využívá odpadního tepla a k tomu přináší zvýšení komfortu bydlení, neboť díky filtraci přivádí do objektu čistší vzduch. Tato práce se tím dále zabývá v kapitole *Modifikace konceptu budovy*.

5.7. Systém využití šedé vody

Navržený systém šedé vody zahrnuje nádrž o objemu zhruba 75 l, do které je přiváděna voda ze sprch. Voda je dále za pomoci domovní vodárny využívána pro splachování WC. Nádrž je umístěna v technické místnosti. Odhadované náklady na vybudování jsou dle příručky *Optimalizmu* zhruba 8 000 CZK. [4]

Dle *Středočeských vodovodů a kanalizací* je průměrná spotřeba vody na splachování WC 22 l/den.osoba. V případě sprchování jde o 30 l/den.osoba. Toto je dobrý předpoklad, neboť objemové toky vody jsou relativně srovnatelné, a tedy bude velká část vody znovu využita. V součtu jde o 32,12 m³ využitelné vody za rok. Lze předpokládat, že vzhledem k nerovnoměrnostem přívodu a odběru dojde k situacím, kdy se půjde více osob osprchovat krátce po sobě, a tedy voda poteče do kanalizace. [48, 49]

Pro kalkulaci úspor bylo uvažováno s faktorem využitelnosti 0,5. Tedy že při splachování se využije 50 % vody zachycené při sprchování a zbytek je veden přepadem do kanalizace. Faktor byl

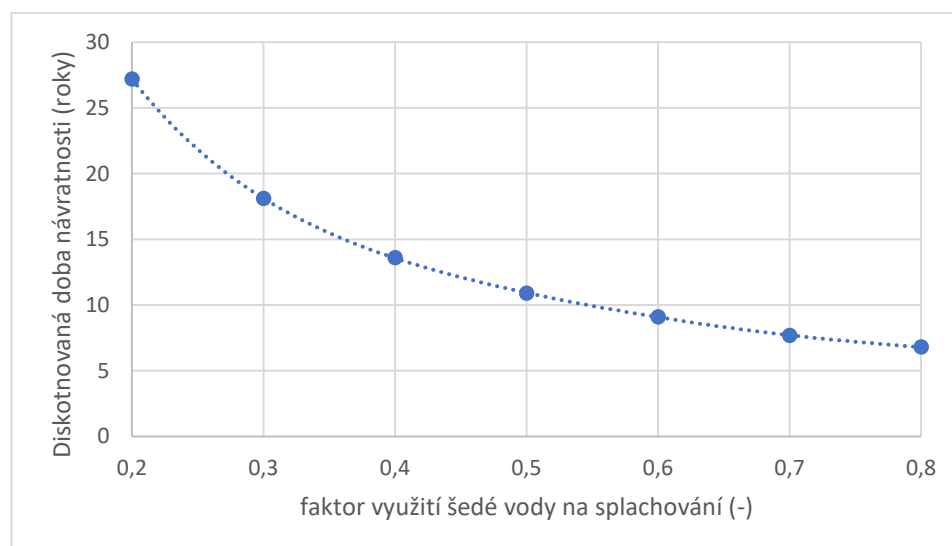
zvolen odhadem, proto byla na něj provedena citlivostní analýza. Faktor bude vyšší, když bude přítok i odtok rovnoměrnější, sprchování jednotlivých osob kratší a objem nádrže bude vhodně navrhnout.

Cena vodného a stočného vychází z ceníku *Energie AG Kolín*, která provozuje vodárenskou infrastrukturu v místě navrženého objektu. Ve vyhodnocení nebylo kalkulováno s náklady na provoz domácí vodárny, neboť z technických dokumentů čerpadla *Sigma 32-SVA*, které se pro dané účely běžně využívá, vyplývá, že čerpadlo při jmenovitém průtoku 80 l/min bude v chodu pouze 3,2 hodiny za rok. A tedy je jeho spotřeba maximálním příkon 1,2 kW relativní. Zde se sice autor dopouští nepřesnosti, neboť při náběhu je spotřeba vyšší, ovšem i přesto je význam této spotřeby minimální. [46, 47]

Oproti příručce *Optimalizmus* bylo kalkulováno s vyšší pořizovací cenou tohoto systému a to 15 000 CZK, neboť krom domovní vodárny, nádrže jímající vodu a rozvodů navíc oproti běžnému řešení je nutné nainstalovat čerpadlo, které bude do jímací nádrže dopravovat vodu ze sprchy v 1. NP. To z toho důvodu, že odtok sprchy je pod úrovní přívodu jímací nádrže. [4]

Tab. 11: Posouzení zásobníkového rekuperačního výměníku vzduch-voda 2

Spotřeba vody na splachování	32.12	m ³ /rok
Diskontní sazba	2	%
Růst cen vodného a stočného	2	%
Faktor využití šedé vody na splachování	0,5	-
Vybudování systému	15000	CZK
Vodné a stočné [47]	85.95	CZK/m ³
Úspora spotřeby vody	16.06	m ³
Úspora vodné a stočné	1380	CZK/rok
Diskontovaná doba návratnosti	10.8	roků



Obr. 21: Citlivostní analýza na faktor využití šedé vody

Z výstupů posouzení je patrné, že při vhodném využití šedé vody šetří systém nejen vodu, ale je i ekonomicky efektivní. Lze říci, že z ekonomického hlediska lze o řešení doporučit při faktoru nižším než 0,5. Naopak pokud by objem nebyl vhodně dimenzovaný nebo plánovaný provoz neumožňoval efektivně využít vodu, tak je jeho ekonomický i ekologický přínos minimální.

Na základě diskuze s případným investorem je vhodné projednat, zda bude objem 75 l dostačovat a není poddimenzovaný. Je důležité zvážit, jakou dobu budoucí obyvatelé domu stráví ve sprše a také načasování sprchování. Průměrná spotřeba na sprchování je udávána na $30 \div 60$ l/osoba. Ovšem při dimenzování pro investora je vhodnější kalkulovat s průtokem moderních úsporných hlavíc, který umožňují až 4 l/min. Což ovšem není doporučováno z hlediska uživatelského komfortu. Vhodnější je průtok $6 \div 8$ l/min. Dále je při dimenzování potřebný průtok při spláchnutí WC. Moderní toalety s dvoutlačítkovou splachovací armaturou jsou zpravidla nastaveny na průtoky 6 l/spláchnutí a 3 l/spláchnutí. [50]

Je nutné zmínit, že díky tomuto dojde k snížení teploty vody vstupující do splaškovodního výměníku. Ovšem jak příručka *Optimalizmu* zdůrazňuje, umístěním nádrže v technické místnosti dojde k eliminaci tepelných ztrát mimo dům. To je samozřejmě pravda, nelze vyvrátit, že je jistě účinnější předat teplo přímo, než za pomoci dalších zařízení (v tomto případě TČ). Ovšem také je nutné neopomenout, že toto teplo nebude rovnoměrně rozděleno po celém objektu, ale zvýší teplotu pouze v technické místnosti. [4]

Pokud by v objektu nebyl nainstalován splaškovodní výměník, tak by navržený systém pro využití šedé vody ze sprchy nešlo bezpodmínečně doporučit, ale rozhodně ani odmítnout. Při vhodném návrhu šetří pitnou vodu a finance. Na druhou stranu přináší nutnost složitějších rozvodů, čerpadla na přívodu do jímací nádrže a domovní vodárny. Jde o další technická zařízení v domě, která potřebují pravidelnou údržbu a hrozí potenciální technické problémy.

Ovšem v navrženém domě se nachází i splaškovodní výměník na primárním okruhu TČ. Tím pádem by při instalaci tohoto systému výrazně klesl průtok splaškovodním výměníkem pro šedou vodu. Do výměníku by byla prakticky přiváděna pouze šedá voda z umyvadel, praček a myček, tedy zhruba 50 % celkové produkce šedé vody. Z toho důvodu by výrazně klesla účinnost systému splaškovodního výměníku. Teplo z vody ohřáté po sprchování by sice bylo částečně předáno do objektu, ovšem zbylá část by byla zbytečně předána teplou vodou při splachování toalet, která má být z hygienických a technických důvodů odváděna mimo splaškovodní výměník do kanalizační sítě. **Tento systém tedy není v daném případě doporučen k instalaci.**

5.8. Zohlednění systémů ZTZ ve výpočetním modelu

Po prvotním technickém posouzení bylo po konzultaci se všemi zainteresovanými rozhodnuto provést orientační posouzení celkového vlivu systémů ZTZ kromě systému využití šedé vody ze sprch. To z důvodu, že se jeho zdroj odpadního tepla vzájemně překrýval se systémem splaškovodního výměníku s TČ. Naopak byt nebyl doporučen zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda, byl ve výchozím výpočetním modelu zohledněn.

Ve výpočetního modelu v programu *Microsoft Excel* byl proveden souběžně výpočet jak při zahrnutí systémů ZTZ, tak i bez nich.

SCOP pro přípravu teplé vody a vytápění (zdroj tepla zemní kolektor) bylo použito hodnot dle ČSN 73 0331-1, neboť v podkladech k čerpadlu byly hodnoty COP udávány pouze pro samostatný kompresor, nikoliv celou kompaktní jednotku. Zároveň nebyla k dispozici relevantní data pro zohlednění vlivu zemního kolektoru v podzákladí. Předpokladem je, že toto uložení má pozitivní vliv na efektivitu provozu, práce se tedy drží na straně bezpečnost. V případě získávání tepla ze splaškovodního výměníku byly hodnoty z ČSN 73 0331-1 navýšeny na základě poznatků diplomové práce Ing. Radka Červína, viz tabulka č. 6. [15, 34]

Ve výpočetním modelu bylo zjednodušeně uvažováno se vstupní teplotou vody do splaškovodního výměníku dle směšovací rovnice pro návrhové spotřeby studené (180 l) a teplé (140 l) vody za den. Výsledná vstupní teplota do jímky je tedy 28,1 °C v letním období a 30,3 °C po zbytek roku. Na výstupu odpadní vody z výměníku je uvažována teplota 10 °C, na základě poznatků experimentálního měření Ing. Radka Červína (pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D.). Tepelné ztráty do zeminy byly zanedbány. Uvažujeme, že ochlazením na 10 °C dojde k předání tepla do primárního okruhu tepelného čerpadla. Tepelný zisk je následně ve výpočetním modelu rozdělen na pokrytí potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody podle poměru velikostí potřeb. [27, 34]

Protože ve výpočetním modelu byla o zisk ze splaškovodního výměníku snížena potřeba tepla, bylo nutné stanovit spotřebu TČ samostatně a následně ji přičíst k výsledným spotřebám počítaným z potřeby tepla.

Teplota vody přiváděné z řadu byla zjednodušeně stanovena na 15 °C v období 1. 6. – 31. 8.. Po zbytek roku byla uvažováno s hodnotou 11 °C. Rekuperační výměník vzduch-voda má při zjednodušeném výpočtu (neboť se nepodařilo dohledat relevantní data k tomuto typu zařízení) uvažovanou účinnost 100 % na straně vody. K tomuto zjednodušení bylo přistoupeno, protože při daném průtoku vzduchu a jeho ochlazení z vnitřní teploty 20 °C (v letním období vyšší) na teplotu přiváděné vody předáno 10,452 kWh za den. Zároveň pro ohřátí daného objemu vody na teplotu

odváděného vzduchu (20 °C) je při teplotě přiváděné vody 11 °C nutné dodat pouhých 1,455 kW. Lze tedy předpokládat, že dojde k ohřátí vody na teplotu blízkou odpadního vzduchu.

Výsledná potřeba tepla na přípravu teplé vody, kterou musí pokrýt tepelné čerpadlo, je snížena, neboť vodu neohřívá na požadovaných 50 °C z teploty 11 °C (a 15 °C v letním období), ale pouze z teploty odpadního vzduchu – 20 °C v zimním období.

Na základě fyzikální podstaty, tepelně-izolačních vlastností obálky budovy a absence okna v technické místnosti bylo uvažováno se ztrátami kombinovaného zásobníku vody na straně tepelných zisků. Měrná tepelná ztráta zásobníku byla stanovena dle ČSN 73 0331-1 na 7,9 W.h/l.den. Objem zásobníku byl uvažován 200 l. [15]

Veškeré výpočetní vztahy jsou uvedeny v příslušných listech výpočetního excelu.

6. ENERGETICKÉ POSOUZENÍ NAVRŽENÉ BUDOVY

6.1. Účel posouzení

Posouzení objektu bylo provedeno z důvodu stanovení očekávané energetické náročnosti pro potřeby plánované realizace, ověření dosažení pasivního standardu a pro vytvoření podkladů pro případné optimalizování tepelně-technických vlastností obvodových konstrukcí.

6.2. Tepelné ztráty

Výpočet tepelných ztrát objektu byl proveden dle postupu uvedeného v subkapitole 4.2. *Tepelné ztráty*. Na následující tabulce je souhrn tepelných ztrát jednotlivých místností ve vyhodnocovaném objektu. Podrobná data se nachází v příslušném výpočetním excelu.

Tab. 12: Tepelné ztráty objektu

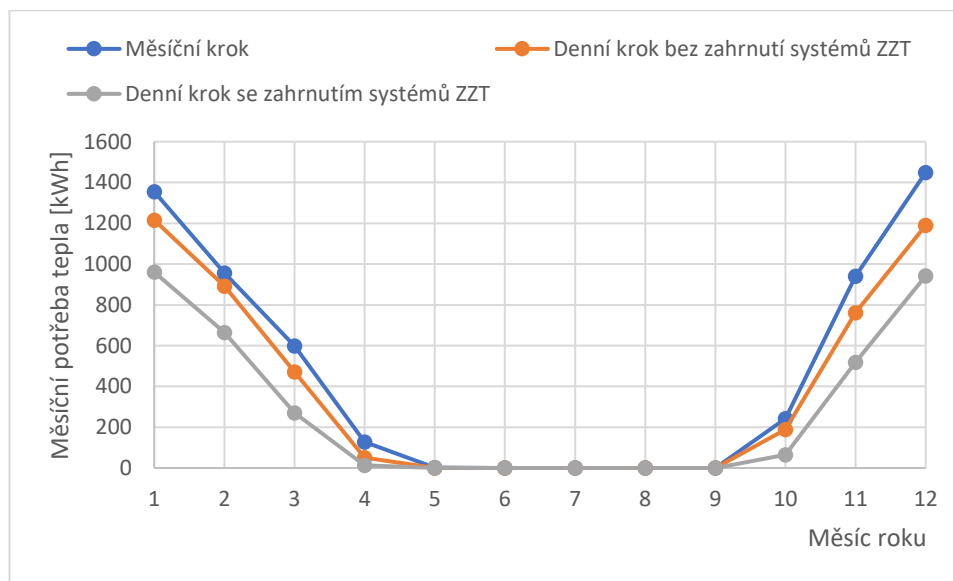
Číslo	Místnost Popis	Objem vzduchu V [m ³]	Podlahová plocha S [m ²]	Vnitřní teplota t_i [°C]	Intenzita větrání h [1/hod]	Měrný tepelný tok prostupem H_t [W/K]	Tepelná ztráta prostupem Q_p [W]	Měrný tepelný tok větráním H_v [W/K]	Tepelná ztráta větráním Q_v [W]
1.1.	Chodba + schodiště	37.4	17.1	20	0.3	4.14	136.69	3.78	124.79
1.2.	Jídelna	114.7	58.5	20	0.5	22.85	754.04	19.30	636.94
1.3.	Pokoj	45.2	23.9	20	0.3	9.46	312.23	4.57	150.78
1.4.	Šatna	7.0	4.1	18	0	0.91	28.28	0.00	0.00
1.5.	Koupelna	9.9	4.4	22	0.3	0.00	0.00	1.00	34.93
1.6.	Technická místnost	13.0	9.1	18	0	6.70	207.85	0.00	0.00
2.1.	Chodba + schodiště	20.9	17.1	20	0.3	3.32	109.68	2.11	69.50
2.2.	Pokoj	45.2	23.9	20	0.3	6.70	221.26	4.56	150.52
2.3.	Ložnice	66.0	33.7	20	0.3	8.95	295.47	6.67	220.11
2.4.	Pokoj	47.0	24.8	20	0.3	8.01	264.22	4.75	156.68
2.5.	Koupelna	17.7	9.0	22	0.3	2.02	70.64	1.78	62.41
2.6.	Šatna	12.7	8.5	18	0	1.93	59.80	0.00	0.00
Σ			234.2	20.0		75.01	2460.16	48.52	1606.66

6.3. Potřeba tepla

V následující tabulce se nachází souhrn potřeby tepla. Pro posouzení potřeby tepla byl využit denní krok výpočtu s modifikovanými okrajovými podmínkami. Pro verifikaci výpočtu byl využit měsíční krok se standardními okrajovými podmínkami. Vyšší tepelná ztráta u měsíčního kroku oproti dennímu je způsobena uvažovaným provozem vytápění pouze do poloviny měsíce dubna. Podrobná data se nachází v příslušném výpočetním excelu.

Tab. 13: Potřeba tepla objektu

Krok výpočtu:	Měsíční			Denní			-			Měsíční	Denní	
Měsíc	Tepelná ztráta prostupem [kWh]	Tepelná ztráta větráním [kWh]	Tepelná ztráta [kWh]	Tepelná ztráta prostupem [kWh]	Tepelná ztráta větráním [kWh]	Tepelná ztráta [kWh]	Vnitřní zisky [kWh]	Solární zisky [kWh]	Celkové tepelné zisky [kWh]	Potřeba tepla [kWh]	Potřeba tepla (bez ZT) [kWh]	Potřeba tepla (s ZT) [kWh]
Leden	1171	757	1928	1062	726	1788	283	291	573	1355	1216	961
Únor	956	619	1575	898	613	1511	255	367	622	956	893	665
Březen	892	577	1468	789	539	1328	283	614	896	599	472	270
Duben	593	383	976	465	318	783	274	774	1047	128	50	13
Květen	300	194	494	164	112	275	283	894	1177	3	0	0
Červen	0	0	0	0	0	0	274	864	1137	0	0	0
Červenec	0	0	0	0	0	0	283	862	1145	0	0	0
Srpen	0	0	0	0	0	0	283	858	1141	0	0	0
Září	0	0	0	0	0	0	274	723	996	0	0	0
Říjen	590	382	972	534	365	900	283	519	802	242	190	65
Listopad	863	558	1421	737	504	1241	274	207	481	941	762	519
Prosinec	1143	739	1882	964	659	1622	283	150	433	1449	1190	943
	6507	4209	10716	5614	3835	9449	3329	7122	10451	5673	4772	3435



Obr. 22: Verifikace výpočtu potřeby tepla na vytápění

6.4. Potřeba chladu

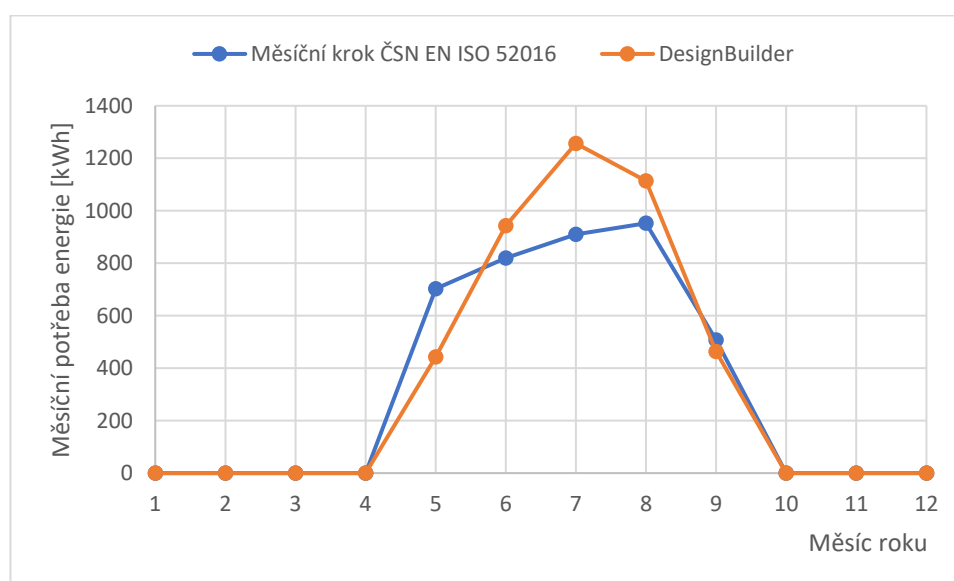
Pro posouzení byla použita simulace v programu *DesignBuilder*. Provozní profily byly vytvořeny tak, aby co nejlépe reflektovaly předpokládaný provoz objektu. Model byl kalibrován za pomoci potřeby energie na vytápění.

Pro verifikaci byl proveden taktéž výpočet dle ČSN EN ISO 52016. Z následující tabulky je patrné, že průběh potřeby chladu odpovídá výpočtu dle normy. Rozdíl potřeby chladu v měsíci dubnu je způsoben uvažovaným provozem vytápění pouze do poloviny měsíce dubna, což měsíční krok neumožňuje reflektovat. Lze očekávat, že větší potřeba chladu u výpočtu v *DesignBuilder* je způsobena větší přesností hodinového kroku. Výpočet dle ČSN EN ISO 52016 totiž využívá ve výpočtu průměrnou teplotu vnějšího vzduchu za celý měsíc. Tedy nereflkuje výrazně vyšší teploty v průběhu dne. [16]

Podrobná data se nachází v příslušném výpočetním excelu a v příloženém souboru programu *DesignBuilder*. V příloze 12 na konci této práce se nachází vyobrazení průběhu teplot, tepelných zisků a potřeby chladu v návrhovém dni pro letní období ($t_i = 26\text{ °C}$).

Tab. 14: Potřeba energie na chlazení objektu

Výpočet:	dle ČSN EN ISO 52016								<i>DesignBuilder</i>	
Měsíc	Teplota vnější	Tepelný tok prostupu	Tepelný tok větráním	Celkový přenos tepla	Tepelné zisky pro režim chlazení	bilanční činitel pro režim chlazení	činitel použití tepelného toku pro chlazení	Potřeba energie na chlazení	Potřeba energie na chlazení	
[-]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]	
Leden	-1	1317	563	1881	573	0.30	3.35	0	0	
Únor	1	1192	460	1652	622	0.38	2.76	0	0	
Březen	4	1026	429	1455	896	0.62	1.83	0	0	
Duben	9	731	285	1017	1047	1.03	1.32	0	0	
Květen	14.6	408	144	552	1177	2.13	1.07	703	443	
Červen	17	265	77	342	1137	3.32	1.02	820	943	
Červenec	18.2	198	48	246	1145	4.66	1.01	909	1256	
Srpen	18.8	163	32	194	1141	5.87	1.00	952	1114	
Září	13.8	451	161	612	996	1.63	1.12	508	463	
Říjen	9.4	711	284	995	802	0.81	1.52	0	0	
Lистопад	4	1023	415	1438	481	0.33	3.08	0	0	
Prosinec	-0.5	1288	550	1838	433	0.24	4.30	0	0	
		8773	3449	12222	10451	-	-	3892	4220	



Obr. 23: Verifikace výpočtu energie na chlazení

6.5. Spotřeba elektrické energie

Pro stanovení spotřeby elektrické energie byly využity typické hodnoty uvedené v ČSN 73 0331-1. Hodnoty SCOP pro splaškovodní výměník byly stanoveny na základě diplomové práce Ing. Radka Červína. Podrobné tabulky naleznete v příloze na konci této práce. [15]

Tab. 15: Roční spotřeba elektrické energie – výchozí koncepce

Vytápění:	1.213	MWh
	5.18	kWh/m ²
Příprava TV:	0.975	MWh
	4.16	kWh/m ²
Chlazení:	0.306	MWh
	1.31	kWh/m ²
Větrání:	0.184	MWh
	0.79	kWh/m ²
Osvětlení:	0.554	MWh
	3.30	kWh/m ²
Pomocné energie:	0.196	MWh
	0.84	kWh/m ²
Celkem:	3.428	MWh
	15.57	kWh/m²

6.6. Náklady na elektrickou energii

Cena elektrické energie byla stanovena na základě ceníku distributora PRE v místě objektu. Pro daný rodinný dům bylo vzhledem k použití tepelného čerpadla uvažováno s tarifem D56d. Na základě ceníku bylo ve výpočtu uvažováno s cenou 3,04 CZK/kWh. Zároveň je nutné připomenout, že kromě ceny za odebranou elektrickou energii se platí i stálé platby, v tomto případě 505,8 CZK/měsíc. [51]

Tab. 16: Roční náklady na elektrickou energii – výchozí koncepce

Vytápění:	3688	CZK
Příprava TV:	2964	CZK
Chlazení:	930	CZK
Větrání:	1455	CZK
Osvětlení:	1683	CZK
Pomocné energie:	1551	CZK
Celkem:	11375	CZK

Z tabulky je zřejmé, že jde o velmi úsporný objekt. Největší podíl nákladů vzniká vlivem vytápění. Vzhledem k použití pasivního chlazení, kdy jsou provozována pouze čerpadla, jsou náklady na chlazení velmi nízké.

7. MODIFIKACE KONCEPTU BUDOVY

V rámci diplomové práce bylo provedeno posouzení dalších možností pro úsporu energie a provozních nákladů. Tyto možnosti byly porovnány s výchozím konceptem.

7.1. Vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla

Na základě technického posouzení zásobníkového rekuperačního výměníku vzduch-voda bylo navrženo posoudit případné osazení rovnotlaké vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla. Přiváděný vzduch z vnějšího prostředí v zimní sezóně prochází skrz zpravidla křížový deskový výměník. Tam dochází k přenosu tepla z odpadního vnitřního vzduchu. Tedy odpadní vzduch je ochlazen, a naopak přiváděný vzduch je ohřát. Za předpokladu, že jsou hmotnostní toky obou proudů srovnatelné, je dosaženo vysokých účinností ZZT.

Za poslední roky se kdysi neobvyklé jednotky staly relativně dostupným a běžným zařízením v pasivních rodinných domech. Zásadní výhodou je snížení potřeby na pokrytí tepelné ztráty větráním. Výhodou z pohledu uživatelského komfortu může být automatické řízení větrání dle např. teploty v místnosti, teploty přiváděného vzduchu či koncentrace CO₂. Užitek přináší taktéž filtr přívodního vzduchu, jenž zajišťuje kvalitnější vnitřní ovzduší. Velkou nevýhodou tohoto řešení je nutnost instalace rozvodů vzduchu po objektu. Dále dochází k zvýšení spotřeby na větrání oproti původnímu řešení s pouhým odtahovým ventilátorem. Také je nutné v pravidelných intervalech vyměňovat filtr.

V případě využití vzduchotechnické jednotky se ZZT by instalace rekuperačního výměníku vzduch-voda byla nadbytečná a přinášela by snížení účinnosti ZZT obou systémů, neboť oba využívají tepla odpadního vzduchu. Proto není ve výpočetním modelu vliv rekuperačního výměníku vzduch-voda zohledněn. Jinak je výpočet obdobný jako u výchozí varianty.

Pro stanovení *SFP* a účinnosti ZZT byla zvolena rekuperační jednotka *MultiVac Venus Comfort HRV-30* se jmenovitým průtokem až 300 m³/hod. Účinnost zpětného získávání tepla $\eta = 90\%$ byla odečtena z grafu výrobce, stejně tak průměrné *SFP* = 1600 W/(m³/s). [52]

Na následujících tabulkách jsou shrnuty spotřeby a náklady na elektrickou energii. Další data se nachází v přílohách.

Tab. 17: Roční spotřeba elektrické energie – VZT jednotka

Vytápění:	0.480	MWh
	2.05	kWh/m ²
Příprava TV:	1.142	MWh
	4.87	kWh/m ²
Chlazení:	0.306	MWh
	1.31	kWh/m ²
Větrání:	0.393	MWh
	1.68	kWh/m ²
Osvětlení:	0.554	MWh
	3.30	kWh/m ²
Pomocné energie:	0.196	MWh
	0.84	kWh/m ²
Celkem:	3.070	MWh
	14.04	kWh/m²

Tab. 18: Roční náklady na elektrickou energii – VZT jednotka

Vytápění:	1459	CZK
Příprava TV:	3469	CZK
Chlazení:	930	CZK
Větrání:	1193	CZK
Osvětlení:	1682	CZK
Pomocné energie:	1550	CZK
Celkem:	10283	CZK

7.2. Zemní vzduchový výměník

Jednou z možností, jak snížit potřebu tepla v objektu, je využít zemní vzduchový výměník. Jde o potrubí o délce obvykle mezi 30 a 60 m uložené minimálně metr pod terénem. Potrubí je zpravidla většího průměru, např. 200 mm. Rychlost proudění by měla být nižší než 3 m/s. Ventilátor nasává vzduch z exteriéru, a ten se v zimním období ohřívá vlivem teploty zeminy. Naopak v letním období předává teplo zemině a ochlazuje se. Na vstupu u nasávací hlavice je filtr, který brání nasávání nečistot a vniknutí zvířat do prostor potrubí. [57, 58]

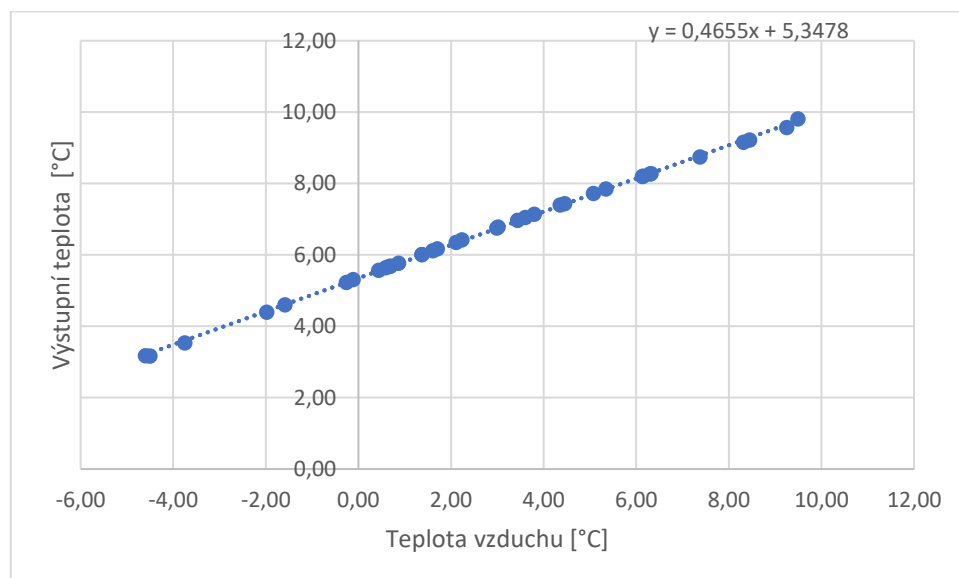
Při konstrukci je nutné pamatovat na riziko plísně, neboť v potrubí může docházet ke kondenzaci. K ní dochází především v přechodových obdobích. Z důvodu kondenzace je nutné potrubí spádovat do místa sběrné šachty, odkud je následně možné kondenzát odčerpat. I přesto je vhodné pravidelně potrubí dezinfikovat. [57]

V rámci této práce bylo rozhodnuto o zvážení tohoto řešení. Obvykle je toto řešení spojeno s rekuperační VZT jednotkou. Proto byly prověřeny 2 varianty, jedna s rekuperačním výměníkem vzduch-voda, druhá v kombinaci s VZT jednotkou se ZVT.



Obr. 24: Schéma systému zemního vzduchového výměníku [53]

Pro zahrnutí do výpočtu bylo nutné znát závislost výstupní teploty z výměníku na vnější teplotě. To z důvodu, že do výpočtu tepelné ztráty větráním se použije tato teplota místo teploty vnější. Proto bylo ve výpočetní pomůcce **VÝPOČET VÝKONU ZEMNÍHO VÝMĚNÍKU – ZVT** provedeno několik výpočtů výstupní teploty z výměníku pro několik odlišných teplot vnějšího vzduchu. Bylo uvažováno s délkou 25 m, hloubkou uložení 1,6 m a vnitřním průměrem potrubí 200 mm. Za pomoci programu Microsoft Excel byla vytvořena rovnice této závislosti a využita k dopočítání teplot v denním kroku výpočtu. [58]



Obr. 25: Závislost výstupní teplotě vzduchu na vstupní

Zbytek výpočtu proběhl obdobně jako ve výchozí variantě. Na následujících tabulkách jsou shrnuty spotřeby a náklady na elektrickou energii. Další data se nachází v sekci *Přílohy* v závěru této práce.

Tab. 18: Roční spotřeba elektrické energie – zemní výměník

Vytápění:	1.026	MWh
	4.38	kWh/m ²
Příprava TV:	0.974	MWh
	4.16	kWh/m ²
Chlazení:	0.306	MWh
	1.31	kWh/m ²
Větrání:	0.368	MWh
	1.57	kWh/m ²
Osvětlení:	0.554	MWh
	3.30	kWh/m ²
Pomocné energie:	0.196	MWh
	0.84	kWh/m ²
Celkem:	3.425	MWh
	15.56	kWh/m²

Tab. 19: Roční náklady na elektrickou energii – zemní výměník

Vytápění:	3120	CZK
Příprava TV:	2962	CZK
Chlazení:	930	CZK
Větrání:	2910	CZK
Osvětlení:	1683	CZK
Pomocné energie:	1551	CZK
Celkem:	11365	CZK

Z tabulky č. 19 je patrný nárůst nákladů na větrání. To z toho důvodu, že by bylo nutné nainstalovat ventilátor, přivádějící vzduch z vnějšího prostředí skrz výměník.

Tab. 20: Roční spotřeba elektrické energie – zemní výměník + VZT jednotka

Vytápění:	0.465	MWh
	1.99	kWh/m ²
Příprava TV:	1.142	MWh
	4.87	kWh/m ²
Chlazení:	0.306	MWh
	1.31	kWh/m ²
Větrání:	0.368	MWh
	1.57	kWh/m ²
Osvětlení:	0.554	MWh
	3.30	kWh/m ²
Pomocné energie:	0.196	MWh
	0.84	kWh/m ²
Celkem:	3.030	MWh
	13.87	kWh/m²

Tab. 21: Roční náklady na elektrickou energii – zemní výměník + VZT jednotka

Vytápění:	1413	CZK
Příprava TV:	3470	CZK
Chlazení:	930	CZK
Větrání:	1119	CZK
Osvětlení:	1683	CZK
Pomocné energie:	1551	CZK
Celkem:	10167	CZK

7.3. Porovnání jednotlivých řešení

Jednotlivé varianty řešení byly porovnány mezi sebou z hlediska potřeby tepla na vytápění, spotřeby energie a nákladů na elektrickou energii. V následující tabulce *Potřeba tepla na vytápění* byla vyhodnocena jak potřeba tepla na vytápění bez zahrnutí systémů ZZT (výjimkou je ZZT v rekuperační jednotce, neboť k ní jsou k dispozici standardizované postupy výpočtu), tak i se zahrnutím systémů ZZT. Toto dvojí porovnání bylo z důvodu, že hodnota bez zahrnutí systémů ZZT odpovídá běžným výpočtům energetické náročnosti v příslušné normě. Naopak výpočet se zahrnutím systémů ZZT lépe reflektuje energii, kterou je nutné do objektu dodat z vnějšího prostředí.

Tab. 22: Potřeba tepla na vytápění – porovnání

Varianta	výchozí koncepte	VZT jednotka	zemní výměník	zemní výměník + VZT	
Bez zahrnutí systémů ZZT	20,54	8,24	17,62	7,97	kWh/m ²
Se zahrnutím systémů ZZT	14,67	3,95	11,85	3,72	kWh/m ²

Tab. 23: Roční spotřeba elektrické energie – porovnání

Varianta	výchozí koncepte	VZT jednotka	zemní výměník	zemní výměník + VZT	
Vytápění:	1.213	0.480	1.026	0.465	MWh
	5.18	2.05	4.38	1.99	kWh/m ²
Příprava TV:	0.975	1.142	0.974	1.142	MWh
	4.16	4.87	4.16	4.87	kWh/m ²
Chlazení:	0.306	0.306	0.306	0.306	MWh
	1.31	1.31	1.31	1.31	kWh/m ²
Větrání:	0.184	0.393	0.368	0.368	MWh
	0.79	1.68	1.57	1.57	kWh/m ²
Osvětlení:	0.554	0.554	0.554	0.554	MWh
	3.30	3.30	3.30	3.30	kWh/m ²
Pomocné energie:	0.196	0.196	0.196	0.196	MWh
	0.84	0.84	0.84	0.84	kWh/m ²
Celkem:	3.428	3.070	3.425	3.030	MWh
	15.57	14.04	15.56	13.87	kWh/m²

Tab. 24: Roční náklady na elektrickou energii – porovnání

Varianta	výchozí koncepte	VZT jednotka	zemní výměník	zemní výměník + VZT	
Vytápění:	3688	1459	3120	1413	CZK
Příprava TV:	2964	3469	2962	3470	CZK
Chlazení:	930	930	930	930	CZK
Větrání:	560	1193	1119	1492	CZK
Osvětlení:	1683	1682	1683	1683	CZK
Pomocné energie TZB:	1551	1550	1551	1551	CZK
Celkem:	11375	10283	11365	10540	CZK

Z výše umístěných tabulek je patrné, že rozdíl v nákladech na elektrickou energii mezi jednotlivými variantami není výrazný. Výchozí koncepce a varianta se zemním výměníkem mají výsledné náklady na energie prakticky totožné. Řešení s VZT jednotkou je zhruba o 10 % úspornější.

Náklady na rekuperační výměník vzduch-voda dle konceptu *Optimalismus* byly dle příručky vyčísleny na 30 000 CZK, ovšem konkrétní data se nepodařilo zajistit. Vzhledem k tomu, že příručka pochází z roku 2017, lze předpokládat, že reálné náklady vzrostly v řádech jednotek až nižších desítek procent. To z důvodu, že nejde o typový výrobek, ale bylo by jej nutné nechat zkonstruovat zakázkově. A nedostatek řemeslníků a růst cen materiálů způsobuje poslední roky výrazný nárůst těchto prací. [4]

Úspory varianty se zemním výměníkem bez VZT jednotky na vytápění jsou v absolutních číslech minimální a zároveň dochází k nárůstu spotřeby energie na větrání kvůli nutnosti instalace dalšího ventilátoru na přívodu. Zároveň přináší velkou počáteční investici a nutné výkopové práce. Na základě neveřejných cenových nabídek byly náklady stanoveny na cca 70 000 CZK. Kromě toho je nutné systém udržovat a čistit. V delším časovém horizontu hrozí riziko plísní v potrubí. Taktéž je nutné zabránit vniknutí zvířat do potrubí. Výhodou je sice možnost větrat ochlazeným vzduchem v létě, ovšem náklady na pasivní chlazení ve výchozí variantě jsou nízké. Toto řešení se tedy nedoporučuje.

Velmi úsporná je varianta se vzduchotechnickou jednotkou se ZZT, kde zároveň není nainstalován rekuperační výměník vzduch-voda. Vzduchotechnická jednotka *MultiVac* má pořizovací náklady zhruba 30 000 CZK (+potrubní rozvody a montáž). Náklady oproti rekuperačním výměníku vzduch-voda tedy nejsou výrazně odlišné. Velkou nevýhodou rekuperačního výměníku vzduch-voda je fakt, že při teplotě odpadního vzduchu 20 °C a přiváděné vody 11 °C stačí na ohřátí vody na 20 °C pouze zhruba 10 % tepla obsaženého ve vzduchu. Zbýlých 90 % jsou ztráty. Řešení s VZT jednotkou má sice nevýhodu v nutnosti vybudování potrubní sítě, ovšem přináší nespornou výhodu ve zlepšení kvality vzduchu, snadnému regulaci větrání a také úspory energie i finance. [52]

Varianta se zemním výměníkem a rekuperační jednotkou je sice úsporná, ovšem přínos výměníku na spotřebu energie na větrání je minimální, v porovnání s pouhou VZT jednotkou. Naopak narostla spotřeba energie na větrání. Výhodou je sice možnost větrat chladnějším vzduchem, než je vzduch exteriérový, ovšem je pravděpodobné, že v případě pasivního domu s vysokým tepelným odporem obvodových konstrukcí bude k zajištění tepelného komfortu stačit pasivní chlazení pomocí plošného kolektoru. [52]

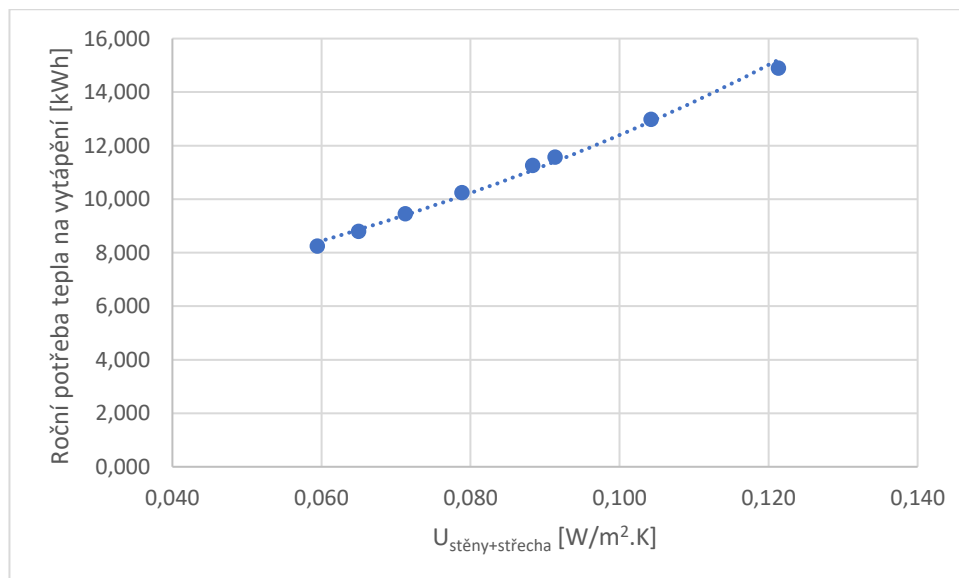
Proto na základě výše zmíněných poznatků **byla doporučena k realizaci varianta se vzduchotechnickou jednotkou s ZZT a bez rekuperačního výměníku vzduch-voda.** V porovnání

s výchozí variantou dle *Optimalizmu* jsou počáteční náklady srovnatelné a přináší úsporu energie i provozních nákladů a vyšší komfort.

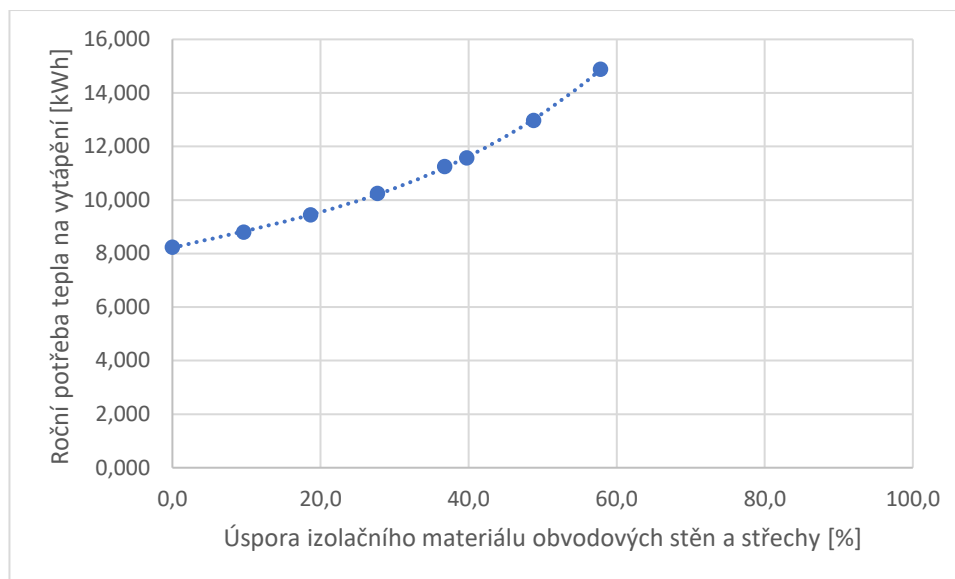
7.4. Optimalizace tepelně-technických parametrů

Součástí zadání této práce bylo optimalizovat tepelně-technické vlastnosti obálky domu, tak aby byl stále dosažen pasivní standard z hlediska potřeby tepla na vytápění. Tedy roční potřeba tepla optimalizovaného objektu musí být nižší než 15 kWh/m². Dalším požadavkem je dosažení spotřeby primární energie všemi spotřebiči pod 120 kWh/m². Tento požadavek nebyl hodnocen, neboť u varianty s VZT jednotkou je součet spotřeby primární energie na vytápění, přípravu TV, chlazení, větrání, osvětlení a pomocné energie pod 40 kWh/m². Lze tedy předpokládat splnění požadavku bez komplikací. [19]

Vzhledem k tomu, že výpočet potřeby tepla se zahrnutím ZZT není standardizovaný a zčásti se neopírá platné normy, bylo hodnocena potřeba tepla na vytápění bez ZZT. Byla optimalizovaná doporučená varianta s VZT jednotkou se ZZT. Optimalizace se zabývala tloušťkou izolace v obvodových stěnách a střešní konstrukci. Toto snížení je popsáno v parametru $U_{stěny+střecha}$, což je vážený průměr U obou konstrukcí dle plochy. Dále byla vyhodnocena úspora tepelně-izolační vrstvy v obvodových stěnách a ve střešní konstrukci. Kompletní tabulka optimalizace je uvedena v kapitole *Přílohy*.



Obr. 26: Závislost potřeby tepla na vytápění na $U_{stěn+střechy}$



Obr. 27: Závislost potřeby tepla na vytápění na úspoře izolačního materiálu

Z výše uvedených závislostí je patrné, že i při snížení objemu tepelně-izolačního materiálu o téměř 60 % je dosaženo pasivního standardu. Dalším poznatkem je, že snížením objemu izolace o 40 % vede k navýšení potřeby tepla o 4 kWh/m², což je v absolutních číslech vzhledem k velikosti objektu změna malá.

Následně byla vyhodnocena tato úspora materiálu a zvýšení spotřeby elektrické energie z hlediska nákladů. Z veřejně dostupných ceníků byla stanovena cena dřevovláknité foukané izolace *SteicoZell* ve stěnách na 1040 CZK/m³. Minerální izolace ve střešní konstrukci nebyla přesně definována, proto byl zvolen jako referenční materiál *Rockwool Rockamin* s pořizovacími náklady 1050 CZK/m². Úspora byla stanovena pouze orientačně, na jednu stranu nezahrnuje množství slevu, na druhou případné přebytky při pořizování celých balení a odpad. [59, 60]

Tab. 25: Optimalizace tepelně-technických vlastností objektu – náklady

POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ	8.236	8.796	9.443	10.241	11.250	11.568	12.975	14.889	kWh/m ² .rok
Úspora izolačního materiálu:	0.0	9.6	18.7	27.7	36.7	39.8	48.8	57.8	%
Úspora kamenné vlny	0.0	7.3	13.4	19.5	25.5	31.6	37.7	43.8	m ³
	0	7662	14046	20431	26816	33201	39585	45970	CZK
Úspora SteicoZell	0.0	12.2	24.3	36.5	48.7	48.7	60.8	73.0	m ³
	0	12657	25313	37970	50626	50626	63283	75939	CZK
Úspora celkem	0	20318	39360	58401	77442	83827	102868	121910	CZK
Rozdíl v růstu nákladů na energie	0	96	207	347	525	582	834	1181	CZK/rok

Porovnáním několika úrovní optimalizovaných parametrů obálky budovy je patrné, že i snížení objemu tepelně-izolační vrstvy v konstrukci stěn a střechy o 57,8 %, které v orientačním výpočtu

odpovídá snížením investičních nákladů na materiálu o zhruba 120 000 CZK, způsobí zvýšení provozních nákladů na elektrickou energii (bez elektrických spotřebičů v domácnosti) z 10 379 CZK na 11 464 CZK za rok. Rozdíl je tedy pouhých 1181 CZK za rok. **Vzhledem k úspoře investičních nákladů a zároveň dodržení pasivního standardu lze doporučit snížení tloušťky tepelně-izolační vrstvy ve stěnách a střešní konstrukci dle hodnot uvedených v příslušné příloze této práce.**

Zároveň je nutné zdůraznit, že pro dodržení pasivního standardu je možné přistoupit k snížení tloušťky tepelně-izolační vrstvy ve stěnách a střešní konstrukci pouze u posuzovaných variant v této práci, kde se uvažuje s využitím vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla. To z důvodu, že stanovená potřeba tepla na m^2 u výchozí koncepce *Optimalizmu* a varianty se zemním výměníkem byla vyšší než 15 kWh/m^2 , což je hranice pasivního standardu.

8. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala konceptem pasivního bydlení *Optimalismus*, který přináší nekonvenční řešení v oblasti pasivního bydlení. Tento koncept si klade za cíl vytvořit nízkonákladové pasivní bydlení, s efektivními a jednoduchými technickými systémy. Zároveň konstrukce objektu umožňuje případnou stavbu svépomocí. Autoři projektu poskytují bezplatné poradenství a vzorový projekt dvoupodlažního nepodsklepeného rodinného domu.

Následující odstavec popisuje koncept rodinného domu dle *Optimalizmu*. Nosná konstrukce domu je z velké části tvořena z dřevěných vazníků, vyplněných tepelnou izolací. Zdrojem tepla je tepelné čerpadlo s dvěma primárními okruhy, jedním je plošný zemní kolektor umístění pod objektem a druhým je okruh vedený jímkou (2000 l) šedé vody z objektu. Otopná soustava objektu je tvořena systémem podlahovým vytápěním. V letním období umožňuje kompaktní jednotka tepelného čerpadla pasivní chlazení pouze pomocí oběhových čerpadel. Dále je v konceptu navržen zásobníkový rekuperační výměník vzduch-voda (165 l), který slouží k předehřevu teplé vody před kombinovaným zásobníkem teplé vody pomocí tepla odpadního vzduchu, který je přes výměník odsáván z objektu do exteriéru. V domě je také navržen systém využití šedé vody ze sprch. Ten je tvořen nádrží (75 l) jímající vodu ze sprch, která dále slouží za pomoci domácí vodárny ke splachování WC.

Tato práce se zabývala technickým a energetickým posouzením pro potřebu zvažované realizace tohoto konceptu. Byly posouzeny jednotlivé systémy. Následně byl posouzen objekt jako celek po stránce spotřeby a nákladů na elektrickou energii za pomoci výpočetního modelu, který vycházel z postupů dle ČSN EN ISO 52016-1. Tento výpočetní postup s denním výpočetním krokem byl pro potřeby zahrnutí systémů ZZT, pro které nejsou standardizované postupy, příslušně modifikován.

Výpočty byly pro snadnou modifikovatelnost provedeny v programu *Microsoft Excel*. Potřeba chladu byla určena za pomoci kalibrovaného modelu v programu *DesignBuilder* s hodinovým výpočetním krokem. V rámci práce byl též proveden návrh soustavy podlahového vytápění a mimo jiné sloužil k získání dat o povrchových teplotách v režimu chlazení.

Výstupem z posouzení byla potřeba tepla na vytápění na m^2 , spotřeba energií v objektu a náklady na elektrickou energii. Následně byly vytvořeny 3 další varianty konceptu TZB objektu, pro posouzení dalších možných řešení. Bylo uvažováno s doplněním objektu o zemní vzduchový výměník na přívodu do objektu, s nahrazením rekuperačního výměníku vzduch-voda za konvenční vzduchotechnickou jednotku se ZZT a poslední variantou bylo doplnění řešení s VZT jednotkou o zemní vzduchový výměník.

Přes malé množství informací o realizacích plošného zemního kolektoru v podzákladích bylo na základě nepřímých dat doporučeno kolektor do podzákladí realizovat. Důležité informace byly získány díky realizovanému experimentálnímu domu s plošným kolektorem v podzákladích, byť koncepce systému vytápění nebyla totožná. Ovšem zásadní byla data o teplotních polích (pod objektem obdobných rozměrů a skladby podlahy) z měření provedeného Ing. Vladanem Panovcem z *VŠB-TU Ostrava*. Z měření vyplývá, že reálné chování pod objektem neodpovídá běžně uznávaným výpočetním modelům, podlaha objektu slouží jako izolace pro zeminu, a teplota zeminy pod objektem je výrazně vyšší než okolní zeminy. Tedy tato vyšší teplota zajistí vyšší energetickou účinnost tepelného čerpadla. Ovšem vzhledem k tomu, že se nepodařilo dohledat měření reálného chování TČ s tímto typem kolektoru, bylo *SCOP* stanoveno na základě *ČSN 73 0331-1*. Zároveň je doporučeno nahradit navržený materiál jiným s lepší mechanickou odolností.

Instalace splaškovodního výměníku pro TČ byla i na základě dat z diplomové práce Ing. Radka Červína (pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D.) doporučena. Ovšem pouze za předpokladu modifikací systému, které jsou popsány v dalším odstavci. Lze předpokládat, že systém oproti běžnému zemnímu kolektoru bude dosahovat vyšší účinnosti. Zásadní je především to, že sníží spotřebu tepla ze zemního kolektoru, a tedy zajistí i jeho vyšší účinnost vzhledem k nižšímu vychlazení zeminy.

Oproti výchozímu návrhu je do něj nutné do něj přivádět pouze šedou vodu. Pokud by byla přiváděna i moč a fekálie, tak by hrozila rychlá degradace materiálů jímky. Navrhovaný objem jímky 2 000 l je doporučeno snížit. Očekávaný průtok je zhruba 160 l/den. Tedy přiváděná voda by v nádrži jímána až 12,5 dne, což není vhodné z hygienického hlediska. Dlouhá doba jímání a absence tepelné izolace by také způsobila velké tepelné ztráty do okolní zeminy. Z toho důvodu by byla střední teplota vody snížena oproti navrhovanému systému v práci Ing. Červína a tím pádem by byla účinnost systému nižší. Vzhledem k tomu, že systém Ing. Červína je ověřen výpočetně i experimentálně, je

vhodné využít jímku o objemu 180 l. Zároveň využít měděné potrubí primárního okruhu TČ v jímce, pro zvýšení přenosu tepla.

Dále bylo doporučeno nahradit rekuperační výměník vzduch-voda vzhledem k nízké účinnosti využití odpadního tepla VZT jednotkou se ZZT. Lze očekávat obdobné investiční náklady a spotřeba energie na vytápění klesne díky VZT jednotce na méně než poloviční hodnotu. Byť jednotka bude pravděpodobně potřebovat více údržby než rekuperační výměník vzduch-voda, přináší zároveň zvýšení kvality vnitřního ovzduší a uživatelského komfortu. Taktéž bylo doporučeno neinstalovat systém využití šedé vody ze sprchy. To z důvodu, že se jeho užitek překrývá se splaškovodním výměníkem pro tepelné čerpadlo a snižoval by jeho efektivitu.

Součástí práce bylo optimalizovat tepelně-technické vlastnosti obalových konstrukcí doporučené varianty při splnění jednoho z požadavků na pasivní budovu – potřeby tepla na m^2 . Ta byla ve výchozím stavu $8,2 \text{ kWh}/m^2 \cdot \text{rok}$. Byla optimalizována tloušťka tepelně-izolační vrstvy v obvodových stěnách a konstrukci střechy. Z optimalizace vyplynulo, že i při snížení objemu těchto vrstev o 57,8 % bude stále požadavek pasivního standardu splněn. Výpočtem byla stanovena hodnota potřeby tepla na $14,9 \text{ kWh}/m^2 \cdot \text{rok}$. To přináší sice zvýšení nákladů na elektrickou energii z 10 380 CZK na 11 460 CZK za rok, ovšem orientačním výpočtem je na materiálu uspořeno 120 000 CZK.

Je nutné zdůraznit, že k některým z technických systémů nebyly dostatečně podrobné či relevantní podklady, a proto se i přes předpoklad zvýšení efektivity systému držel autor této práce na straně bezpečnost. Zároveň některé energetické toky a vztahy mezi systémy v objektu jsou komplexní a pro přesné posouzení by byla potřeba komplexního dynamického simulačního modelu.

Závěrem je nutné konstatovat, že rozsah této práce bohužel neumožňoval podrobný rozbor a vyhodnocení jednotlivých systémů konceptu *Optimalismus*. Proto autor této práce doporučuje toto téma, resp. jednotlivé dílčí systémy, jako témata budoucích diplomových či bakalářských prací a případným zpracovatelům poskytnout své podklady a poznatky.

POUŽITÁ LITERATURA A DALŠÍ ZDROJE

- [1] Koncept Optimalizmus. *Optimalizmus.cz* [online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <http://http://www.optimalizmus.cz/>.
- [2] Koncept nízkonákladové pasivního stavitelství. *Optimalizmus.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: http://www.optimalizmus.cz/download/2017_optimalizmus_letak_A4.pdf.
- [3] Nízkonákladové pasivní stavitelství – stavební část. *Optimalizmus.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: http://www.optimalizmus.cz/download/2017_optimalizmus_brozura_stavebni_cast_A4.pdf.
- [4] Nízkonákladové pasivní stavitelství – TZB část. *Optimalizmus.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: http://www.optimalizmus.cz/download/2017_optimalizmus_brozura_TZB_cast_A4.pdf.
- [5] Společnost KomplexTherm. *Voda-topeni-plyn-Brno.cz* [online]. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <http://www.voda-topeni-plyn-brno.cz/>.
- [6] SOUKUP, Jan. *Dokumentace k projektu rodinného domu dle Konceptu Optimalizmus*. 2020.
- [7] KOMPLEXTHERM. *Dokumentace ke kompaktní jednotce tepelného čerpadla KCT5-C22GW*. 2020. Přísnostice – Pasivní dřevostavba výrobní hala. *Rajce.idnes.cz* [online]. [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: https://zdenda0178.rajce.idnes.cz/Prisnotice-Pasivni_drevostavba_vyr.haly.
- [8] PANOVEC, Vladan. Teplotní pole v zemině pod podlahou – teorie a skutečnost. *TZB-info.cz* [online]. červenec 2013. [cit. 2021-02-25]. <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10182-teplotni-pole-v-zemine-pod-podlahou-teorie-a-skutecnost>.
- [9] ČSN EN ISO 10211. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchové teploty – Podrobné výpočty*. 1. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2020
- [10] ČSN EN ISO 13370. *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2019
- [11] Co je to šedá voda?. *Vodavdome.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>.
- [12] ČSN EN 12056-1. *Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 1: Všeobecné a funkční požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, květen 2003
- [13] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování*. 1. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2006
- [14] ČSN EN ISO 73 0331-1. *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2020
- [15] ČSN EN ISO 52016-1. *Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy*. 1. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2019

- [16] ČSN EN 12 831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 3. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2018
- [17] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtové metody*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2020
- [18] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2011
- [19] Denní data dle zákona 123/1998 Sb. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2021 [cit. 2021-6-20]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb>
- [20] ŠABRŇÁK, Zdeněk. Rodinný dům Medlánky. *Facebook: Komplextherm – Zdeněk Šabrňák* [online]. Energetický zdroj pro téměř nulové budovy. *UCEEB.cz* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.uceeb.cz/aktuality/energeticky-zdroj-pro-temer-nulove-budovy>.
- [21] Energetický zdroj pro téměř nulové budovy. *UCEEB.cz* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.uceeb.cz/aktuality/energeticky-zdroj-pro-temer-nulove-budovy>.
- [22] MATUŠKA, Tomáš a Broum MICHAL. *Provoz systému kombinujícího fotovoltaický systém, tepelné čerpadlo a zemní zásobník tepla*. 2019.
- [23] ŠTAINER, Michal. *Technická zpráva posouzení inženýrskogeologických poměrů na staveništi RD*. 2020.
- [24] *Neveřejná soukromá vyjádření odborníků z praxe v oboru tepelných čerpadel a zemních kolektorů*. 2020.
- [25] BLÁHA, Marek. Jak fungují plošné zemní kolektory pro tepelná čerpadla v praxi?. *TZB-info.cz* [online]. červenec 2009. [cit. 2021-04-19]. <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/5719-jak-funguji-plosne-zemni-kolektory-pro-tepelna-cerpadla-v-praxi>.
- [26] EKOMPLEX. *Tepelná čerpadla*. *Topeni-topenari.eu* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla.php>.
- [27] ZR22K3E-TFD technical sheets. *Climate.emerson.com* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/en-gb/shop/1/copeland-eu-sku-zr22k3e-tfd-512-en-gb>.
- [28] SCHMIDT, Felix. *Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers*. Switzerland. Paper. 2008, (9th International IEA Heat Pump Conference).
- [29] KIRCHER, Jakub. *Využití odpadního tepla pomocí tepelných čerpadel* [online]. 2014 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/marekblaha31/vyuit-odpadnho-tepla-pomoc-tepelnych-erpadel>.
- [30] *Heat recovery from wastewater: Assessing the potential in northern areas* [online]. Water research at the University of Oulu. Proceedings of the WaRes Conference, 2013, [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: http://nortech.oulu.fi/pdf/Lauri_article_WaResConf.pdf.
- [31] HEPBASLI, Arif, Emrah BIYIK, Orhan EKREN, Huseyin GUNERHAN a Mustafa ARAZ. A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems. *Energy Conversion and Management* [online].

- 2014 [cit. 2021-04-19]. ISSN 01968904. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X04002014>
- [32] JIRÁSEK, Jáchym. *Návrh podlahového vytápění RD*. Praha. 2021. Projekt 2. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. Ing. Roman Vavříčka Ph.D.
- [33] ČERVÍN, Radek. *Efektivita využití tepla z odpadní vody tepelným čerpadlem* [online]. Praha. 2017 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73238/F2-DP-2017-Cervin-Radek-Diplomova%20prace_Cervin.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní. doc. Ing. Tomáš Matuška Ph.D.
- [34] Nízkonákladové pasivní stavitelství – TZB část. *Optimalizmus.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: http://www.optimalizmus.cz/download/2017_optimalizmus_brozura_TZB_cast_A4.pdf.
- [35] PLOTĚNÝ, Karel. Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití. In: Sborník semináře Vodohospodářské chuťovky. 2011.
- [36] PLOTĚNÝ, Karel a Stanislav PIŇOS. Využití tepla z šedých vod k ohřevu TUV. *ASIO, spol. s r.o.* [online]. 2016 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/630.vyuziti-tepla-z-sedych-vod-k-ohrevu-tuv>
- [37] Model návrhu podlahové otopné plochy: Výpočetní software. *CVUT.cz* [online]. 2016 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/PV11.html>
- [38] Vytápění v pasivních a nízkoenergetických domech. *Stavbacz.cz* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://stavbacz.cz/vytapeni-v-pasivnich-a-nizkoenergetickych-domech/>.
- [39] Chlazení podlahou – zkušenosti. *TZB-info.cz: Diskuzní a poradenské fórum* [online]. 2016 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://forum.tzb-info.cz/134109-chlazení-podlahou-zkusenosti>.
- [40] BŘEZINA, Jáchym. Přepočítání rosného bodu. *CHMIBrno.cz* [online]. [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/prevody-rosneho-bodu/>.
- [41] Klimatizace nebo podlahové chlazení?. *Revel-pex.com* [online]. [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: <https://www.revel-pex.com/klimatizace-nebo-podlahove-chlazení.html>.
- [42] Hollan, Jan. Větrání a vlhkost vzduchu: jaká je nejlepší vlhkost a jak jí docílit?. *TZB-info.cz* [online]. [cit. 2021-06-10]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitřni-prostředí/3153-ventrání-a-vlhkost-vzduchu-jaka-je-nejlepsi-vlhkost-a-jak-ji-docílit>.
- [43] Výhody chlazení podlahou. *Cerpadla-ivt.cz* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/vyhody-chlazení-podlahou>.
- [44] Mýty o podlahovém vytápění. *Cerpadla-ivt.cz* [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/myty-o-chlazení-podlahovym-vytapením>.
- [45] Samonasávací čerpadla SVA. *Sigmashop.cz* [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <https://www.sigmashop.cz/soubory/nov--prospekt-sva.pdf>.

- [46] Vodné a stočné 2020: Přehled cen jednotlivých společností. *Nase-voda.cz* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/vodne-stocne-2020-prehled-cen-jednotlivych-spolecnosti/>.
- [47] Spotřeba vody. *SCVK.cz* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>.
- [48] Víte, kolik spotřebujete vody?. *VHS-Dobris.cz* [online]. [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: <https://www.vhs-dobris.cz/vite-kolik-spotrebujete-vody/>.
- [49] Úspora vody 2. díl – spořiče vody na sprchu a úsporné sprchové hlavice. *Hydrostop.cz* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.hydrostop.cz/blog/clanek/usporne-sprchove-hlavice-a-sporice-vody-na-sprchu>.
- [50] PRE Proud Klasik – Ceník. *PRE.cz* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/domacnosti/elektrina/pre-proud-klasik/>.
- [51] Rekuperační jednotky Venus. *Multivac* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/rekuperacni-jednotky-venus>
- [52] Zemní vzduchový výměník ED Geoflex. *Elektrodesign.cz* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/zemni-vzduchovy-vymenik-ed-geoflex>.
- [53] Okna Vekra Komfort. *Vekra.cz* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/okna-komfort-evo/>
- [54] Dveře Vekra Premium. *Vekra.cz* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/vekra-premium-evo/>
- [55] HS-portál Vekra. *Vekra.cz* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz/produkt/plastove-posuvne-portaly/>
- [56] PAUL, Eberhard. Využití zemních výměníků tepla ve spojení se zařízením pro bytové větrání a rekuperaci tepla. *TZB-info.cz* [online]. říjen 2005. [cit. 2021-02-24]. <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/2772-vyuziti-zemnich-vymeniku-tepla-ve-spojzeni-se-zarizenim-pro-bytove-vetrani-a-rekuperaci-tepla>.
- [57] Výpočet výkonu zemního výměníku – ZVT. *Qpro.cz* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.qpro.cz/Zemni-vymnenik-kolektor>.
- [58] KALETA, Ján a Aleš KIZSA. Základní zásady návrhu plošného zemního kolektoru pro tepelné čerpadlo země/voda. *TZB-info.cz* [online]. červenec 2013. [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/10178-zakladni-zasady-navrhu-plosneho-zemniho-kolektoru-pro-tepelne-cerpadlo-zeme-voda>.
- [59] Trubky pro zemní plošný kolektor: Jaké potrubí pro plošný kolektor?. *EKG-Gerotop.cz* [online]. [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: <https://www.ekg-gerotop.cz/potrubi-pro-plosne-kolektory>.

- [60] Potrubí plošného kolektoru. *Nibe.cz* [online]. [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: <https://www.nibe.cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda/primarni-okruhy-tepelnych-cerpadel-zeme-voda/potrubí-plosneho-kolektoru-pe-rc-power>.
- [61] Zásady ohřevu TUV při použití tepelného čerpadla. *Klima-classic.cz* [online]. [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: <http://www.klima-classic.cz/lp-klimaporadna/toshiba-pruvodce/do-bytu-a-rodinneho-domu/tepelna-cerpadla/zasady-tc-a-ohrevu-tuv.html>.
- [62] Tepelné čerpadlo k ohřevu vody – vyplatí se?. *Topite.cz* [online]. [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: <https://www.topite.cz/blog/tepelne-cerpadlo-k-ohrevu-vody>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Parametry kompresoru Copeland ZR22K3E

Příloha 2: Podlahové vytápění – parametry systému

Příloha 3: Podlahové vytápění – půdorys 1.NP

Příloha 4: Podlahové vytápění – půdorys 2.NP

Příloha 5: Podlahové vytápění – rozvinuté schéma

Příloha 6: Podlahové vytápění – schéma zapojení

Příloha 7: Spotřeby a náklady – výchozí stav

Příloha 8: Spotřeby a náklady – VZT jednotka

Příloha 9: Spotřeby a náklady – zemní výměník

Příloha 10: Spotřeby a náklady – zemní výměník + VZT jednotka

Příloha 11: Optimalizace tepelně-technických vlastností objektu

Příloha 12: Průběh teplot, tepelných zisků a potřeby chladu v návrhovém dni pro letní období

($t_i = 26 \text{ °C}$)

PŘÍLOHY

Příloha 1: Parametry kompresoru Copeland ZR22K3E [28]



Mid Point R407C

50Hz

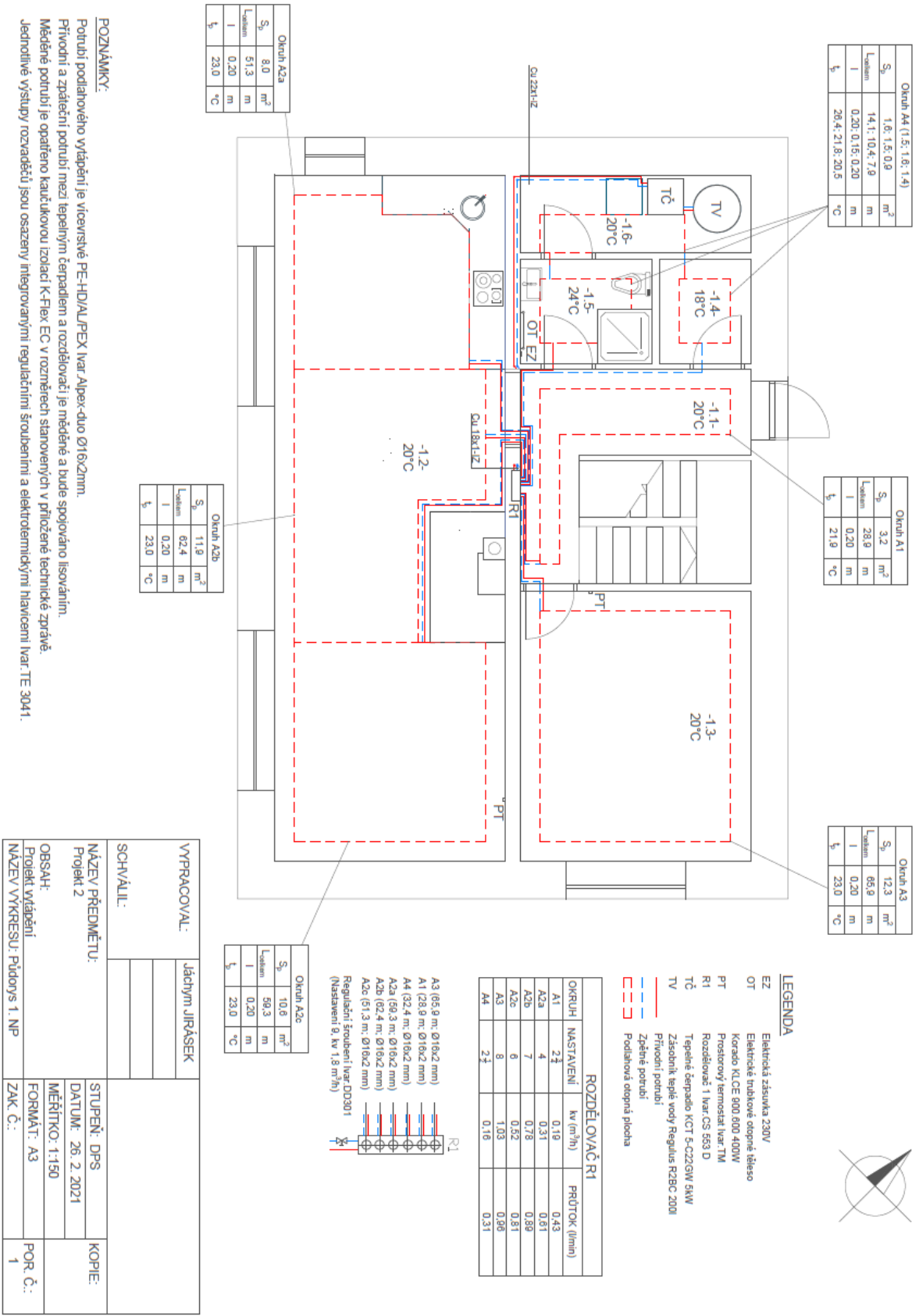
Compressor Scroll - air conditioning	Cond Temp °C	Evaporating Temperature °C													
		-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	7	10
ZR22K3E-TFD	Q	30					2.02	2.58	3.27	4.08	5.02	6.09	6.56	7.29	7.94
	40					1.71	2.22	2.86	3.61	4.48	5.48	5.92	6.61	7.22	
	50					2.41	3.07	3.86	4.76	5.15	5.78	6.34			
P	30					1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94	
	40					1.29	1.29	1.29	1.29	1.28	1.26	1.25	1.23	1.21	
	50									1.65	1.64	1.63	1.61	1.59	1.57

Příloha 2: Parametry systému podlahového vytápění

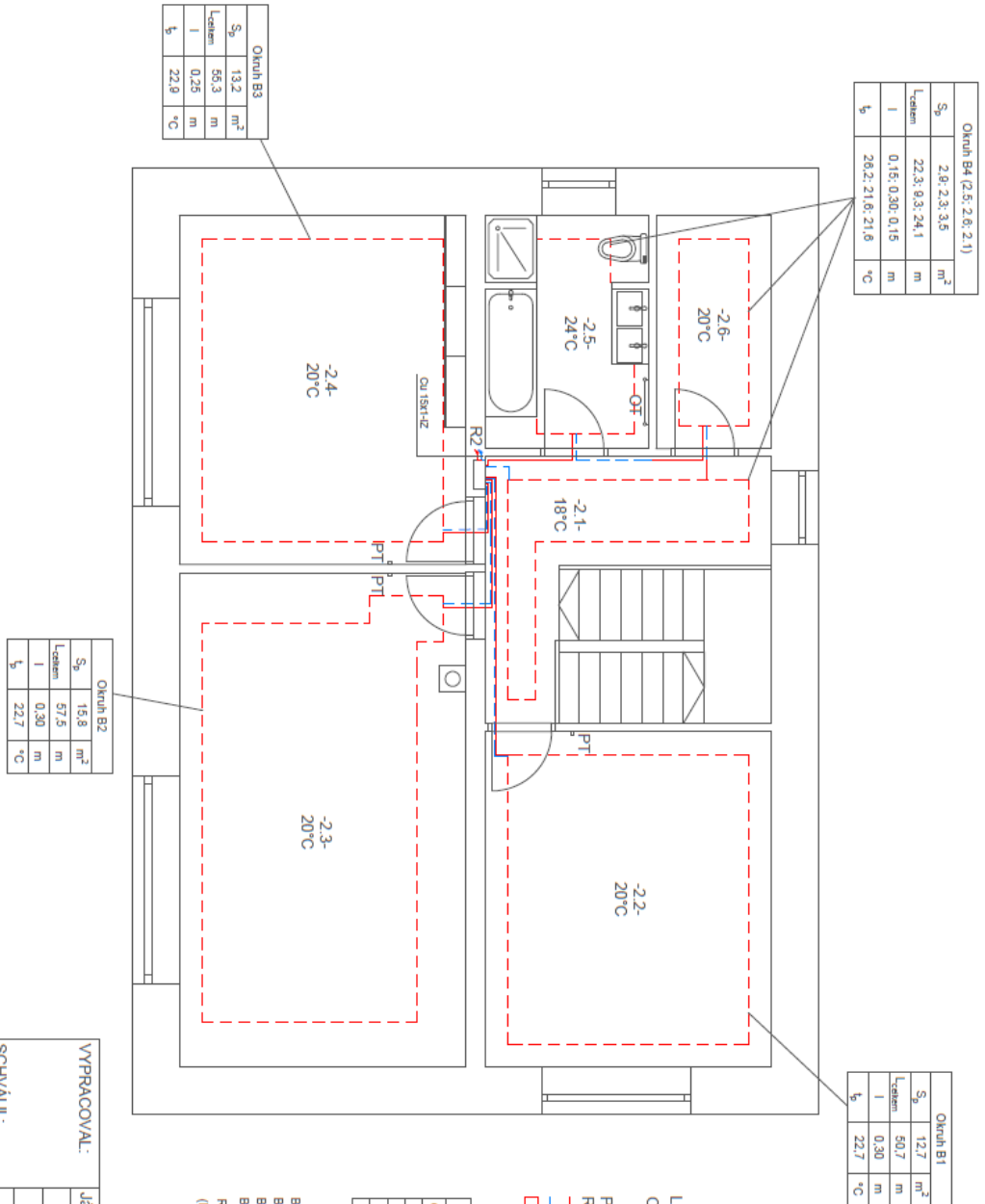
Místnost	Smyčka	Tepelný výkon	Plocha otopného hada	Obvod otopného hada	Vnitřní průměr trubky	Rozeč potrubí	Délka otopné smyčky	Délka přípoj. potrubí	Délka smyčky celkem	Střední rychlost proudění	Hmot. průtok
[-]	[-]	Q_{PC} [W]	S_P [m ²]	O_P [m]	d [mm]	l [m]	$L_{smyčky}$ [m]	$L_{přip}$ [m]	L_{celkem} [m]	w [m/s]	M [kg/h]
1.1.	A1	178	3.2	12.2	12	0.20	26.0	2.9	28.9	0.05	19.2
1.2.	A2a	255	8.0	11.4	12	0.20	40.0	11.3	51.3	0.07	27.5
1.2.	A2b	370	11.9	15.5	12	0.20	59.5	2.9	62.4	0.10	39.9
1.2.	A2c	336	10.6	13.0	12	0.20	53.0	6.3	59.3	0.09	36.2
1.3.	A3	399	12.3	14.1	12	0.20	61.5	4.4	65.9	0.11	43.0
1.4., 1.5., 1.6.	A4	161	4.0	15.1	12	0,15 a 0,20	22.7	9.7	32.4	0.04	17.3
2.2.	B1	347	12.7	14.2	12	0.30	42.3	8.4	50.7	0.09	37.4
2.3.	B2	433	15.8	17.9	12	0.30	52.7	4.8	57.5	0.11	46.6
2.4.	B3	385	13.2	14.6	12	0.25	52.8	2.5	55.3	0.10	41.4
2.1., 2.5., 2.6.	B4	312	8.7	27.3	12	0,15 a 0,30	50.3	5.3	55.7	0.08	33.6

Smyčka	Smyčka celkem	Tlaková ztráta třením	Tlaková ztráta místní	Tlaková ztráta okruhu	Číslo nastavení RŠ	kv hodnota RŠ	Tlaková ztráta RŠ	Tlaková ztráta okruh + RŠ	Požadovaný průtok okruhem	
[-]	L_{celkem} [m]	ξ [-]	Δp_λ [Pa]	Δp_ξ [Pa]	Δp_o [Pa]	$kv_{RŠ}$ [m ³ /h]	$\Delta p_{RŠ}$ [Pa]	$\Delta p_{o+RŠ}$ [Pa]	V [l/min]	
A1	28.9	8.2	371	16	387	2 3/4	0.19	1918	2305	0.43
A2a	51.3	9.0	945	37	982	4	0.31	1405	2387	0.61
A2b	62.4	9.0	1667	77	1744	7	0.78	467	2211	0.89
A2c	59.3	9.4	1436	66	1502	6	0.52	864	2366	0.81
A3	65.9	9.0	1897	89	1987	8	1.03	311	2298	0.96
A4	32.4	5.4	376	9	385	2 1/2	0.16	2098	2483	0.39
B1	50.7	2.5	1270	19	1289	6	0.52	922	2211	0.83
B2	57.5	8.6	1795	100	1896	10	1.56	160	2055	1.04
B3	55.3	8.6	1536	79	1616	7	0.78	505	2121	0.92
B4	55.7	5.8	1253	35	1288	6	0.52	746	2034	0.75

Příloha 3: Podlahové vytápění – půdorys 1.NP



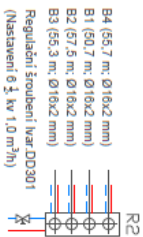
Příloha 4: Podlahové vytápění – půdorys 2.NP



POZNÁMKY:
 Potrubí podlahového vytápění je vícevrstvé PE-HD/AL/PEX tvar Alpek-duo Ø16x2mm. Přívodní a zpáteční potrubí mezi tepelným čerpadlem a rozdělovač je měděné a bude spojováno lisováním. Měděné potrubí je opatřeno kaučukovou izolací K-Flex EC v rozměrech stanovených v příložené technické zprávě. Jednotlivé výstupy rozvaděčů jsou osazeny integrovanými regulačními šroubeními a elektromerickými hlaviciemi tvar: TE 3041.

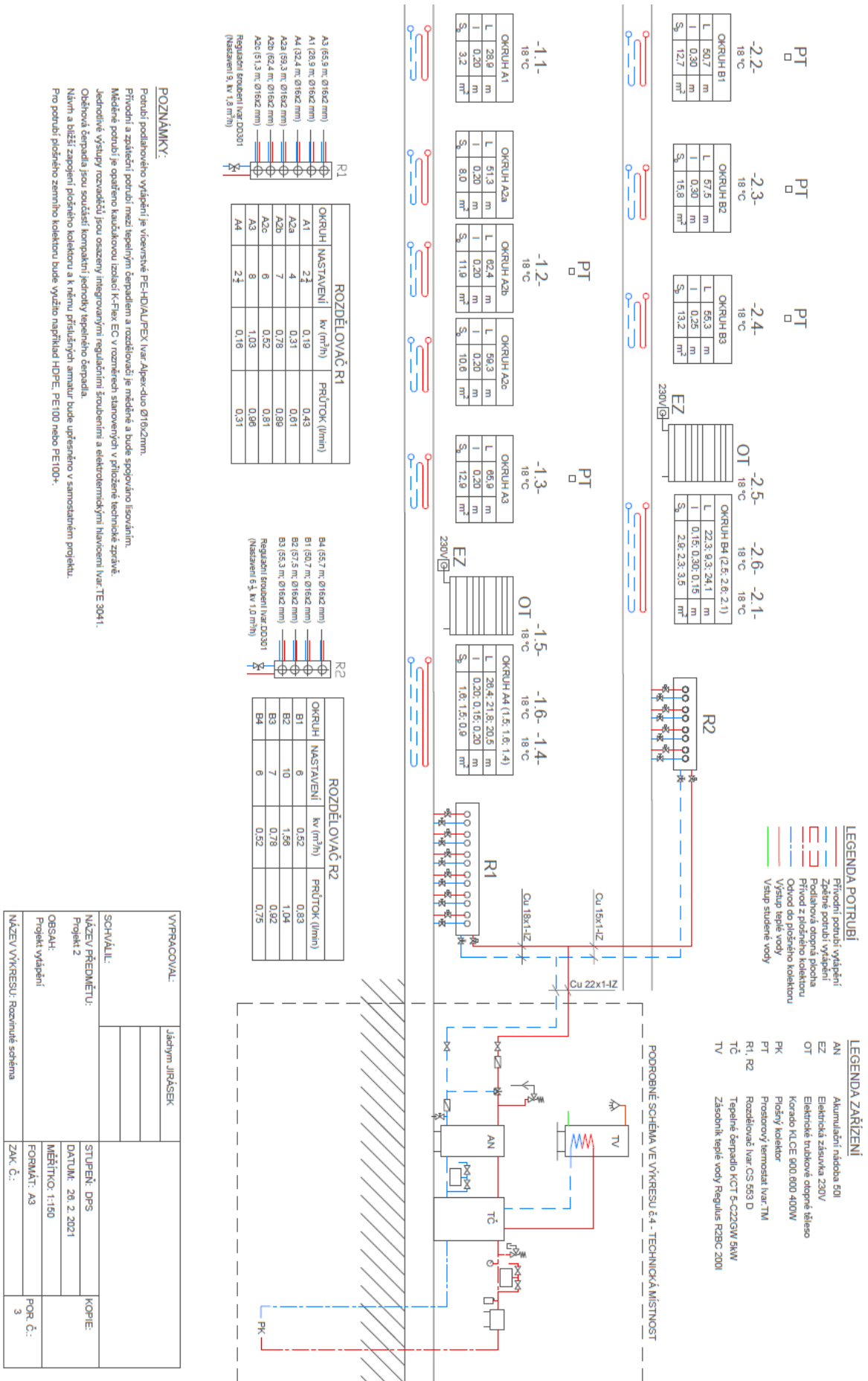
- LEGENDA**
- OT Elektrické trubkové otopné těleso 400 W
 - PT Prostorový termostát
 - R2 Rozdělovač 2
 - Přívodní potrubí
 - - - Zpáteční potrubí
 - Podlahová otopná plocha

OKRUH	NASTAVENÍ	kv (m ³ /h)	PRŮTOK (l/min)
B1	6	0.52	0.33
B2	10	1.56	1.04
B3	7	0.78	0.92
B4	6	0.52	0.75

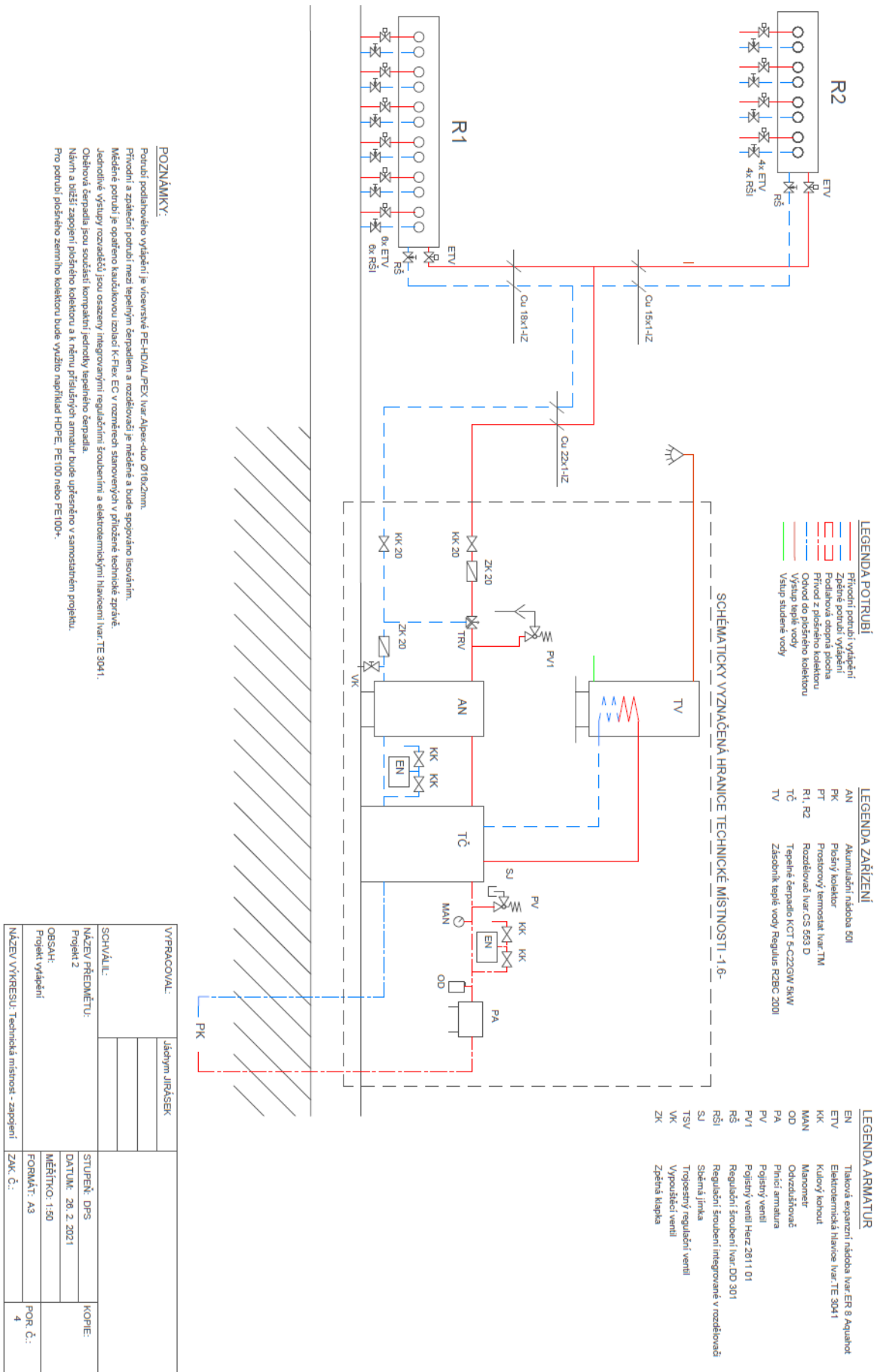


VYPRACOVAL:	Jáchym JIRÁSEK	STUPĚŇ: DPS	KOPIE:
SCHVÁLIL:		DATUM: 26. 2. 2021	
NÁZEV PŘEDMĚTU:	Projekt 2	MĚŘÍTKO: 1:150	
OBSAH:	Projekt vytápění	FORMÁT: A3	
NÁZEV VÝKRESU:	Půdorys 2. NP	ZAK. Č.:	POR. Č.: 2

Příloha 5: Podlahové vytápění – rozvinuté schéma



Příloha 6: Podlahové vytápění – schéma zapojení



Příloha 7: Spotřeby a náklady – výchozí stav

Vytápění		
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	83
SCOP plošný kolektor:	[-]	4.60
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	5.46
Potřeba tepla:	[MWh]	3.44
	[kWh/m ²]	14.67
Spotřeba energie:	[MWh]	1.213
	[kWh/m ²]	5.18
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	3.154
	[kWh/m ²]	13.47
Roční náklady:	[Kč]	3688

Příprava TV		
Objem zásobníků TV:	[l]	200
Délka rozvodů TV:	[m]	60
Měrná ztráta zásobníku:	[W.h/l.den]	7.9
Měrná ztráta rozvodů:	[W.h/m.den]	30.5
SCOP plošný kolektor:	[-]	2.84
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	3.37
Potřeba tepla:	[MWh]	2.173
	[kWh/m ²]	9.28
Spotřeba energie:	[MWh]	0.975
	[kWh/m ²]	4.16
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.535
	[kWh/m ²]	10.82
Roční náklady:	[Kč]	2964

Chlazení		
průměrný roční příkon oběhových čerpad	[W]	198
roční doba provozu chlazení	[h]	1546
Spotřeba energie:	[kWh]	306.0
	[kWh/m ²]	1.31
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[kWh]	795.7
	[kWh/m ²]	3.40
Roční náklady:	[Kč]	930

Větrání		
PSFP	[W.s/m ³]	750
Činitel využití:	[-]	0.7
Tok vzduchu:	[m ³ /h]	144
Spotřeba energie:	[MWh]	0.184
	[kWh/m ²]	0.79
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.479
	[kWh/m ²]	2.04
Roční náklady:	[Kč]	560

Osvětlení		
Spotřeba energie:	[MWh]	0.554
	[kWh/m ²]	3.30
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.439
	[kWh/m ²]	8.57
Roční náklady:	[Kč]	1683

Pomocné energie		
Vytápění PH,p	[W]	31.8
Teplá voda PTV,p	[W]	25.2
Spotřeba energie:	[MWh]	0.196
	[kWh/m ²]	0.84
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.510
	[kWh/m ²]	2.18
Roční náklady:	[Kč]	1551

Příloha 8: Spotřeby a náklady – VZT jednotka

Vytápění		
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	83
SCOP plošný kolektor:	[-]	4.60
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	5.46
Potřeba energie:	[MWh]	0.92
	[kWh/m ²]	3.95
Spotřeba energie:	[MWh]	0.480
	[kWh/m ²]	2.05
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.249
	[kWh/m ²]	5.33
Roční náklady:	[Kč]	1459

Příprava TV		
Objem zásobíku TV:	[l]	200
Délka rozvodů TV:	[m]	60
Měrná ztráta zásobníku:	[W.h/l.den]	7.9
Měrná ztráta rozvodů:	[W.h/m.den]	30.5
SCOP plošný kolektor:	[-]	2.84
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	3.37
Potřeba energie:	[MWh]	2.362
	[kWh/m ²]	10.08
Spotřeba energie:	[MWh]	1.142
	[kWh/m ²]	4.87
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.968
	[kWh/m ²]	12.67
Roční náklady:	[Kč]	3469

Chlazení		
Průměrný roční příkon oběhových čerpad	[W]	198
Roční doba provozu chlazení	[h]	1546
Spotřeba energie:	[kWh]	306.0
	[kWh/m ²]	1.31
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[kWh]	795.7
	[kWh/m ²]	3.40
Roční náklady:	[Kč]	930

Větrání		
PSFP	[W.s/m ³]	1600
Činitel využití:	[-]	0.7
Tok vzduchu:	[m ³ /h]	144
Spotřeba energie:	[MWh]	0.393
	[kWh/m ²]	1.68
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.021
	[kWh/m ²]	4.36
Roční náklady:	[Kč]	1193

Osvětlení		
Spotřeba energie:	[MWh]	0.554
	[kWh/m ²]	3.30
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.439
	[kWh/m ²]	8.57
Roční náklady:	[Kč]	1682

Pomocné energie		
Vytápění P _{H,p}	[W]	31.8
Teplá voda P _{TV,p}	[W]	25.2
Spotřeba energie:	[MWh]	0.196
	[kWh/m ²]	0.84
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.510
	[kWh/m ²]	2.18
Roční náklady:	[Kč]	1550

Příloha 9: Spotřeby a náklady – zemní výměník

Vytápění		
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	83
SCOP plošný kolektor:	[-]	4.60
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	5.46
Potřeba energie:	[MWh]	2.78
	[kWh/m ²]	11.85
Spotřeba energie:	[MWh]	1.026
	[kWh/m ²]	4.38
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.668
	[kWh/m ²]	11.39
Roční náklady:	[Kč]	3120

Příprava TV		
Objem zásobníků TV:	[l]	200
Délka rozvodů TV:	[m]	60
Měrná ztráta zásobníku:	[W.h/l.den]	7.9
Měrná ztráta rozvodů:	[W.h/m.den]	30.5
SCOP plošný kolektor:	[-]	2.84
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	3.37
Potřeba energie:	[MWh]	2.165
	[kWh/m ²]	9.24
Spotřeba energie:	[MWh]	0.974
	[kWh/m ²]	4.16
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.534
	[kWh/m ²]	10.82
Roční náklady:	[Kč]	2962

Chlazení		
průměrný roční příkon oběhových čerpad	[W]	198
roční doba provozu chlazení	[h]	1546
Spotřeba energie:	[kWh]	306.0
	[kWh/m ²]	1.31
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[kWh]	795.7
	[kWh/m ²]	3.40
Roční náklady:	[Kč]	930

Větrání		
PSFP	[W.s/m ³]	1500
Činitel využití:	[-]	0.7
Tok vzduchu:	[m ³ /h]	144
Spotřeba energie:	[MWh]	0.368
	[kWh/m ²]	1.57
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.957
	[kWh/m ²]	4.09
Roční náklady:	[Kč]	1119

Osvětlení		
Spotřeba energie:	[MWh]	0.554
	[kWh/m ²]	3.30
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.439
	[kWh/m ²]	8.57
Roční náklady:	[Kč]	1683

Pomocné energie		
Vytápění P _{H,p}	[W]	31.8
Teplá voda P _{TV,p}	[W]	25.2
Spotřeba energie:	[MWh]	0.196
	[kWh/m ²]	0.84
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.510
	[kWh/m ²]	2.18
Roční náklady:	[Kč]	1551

Příloha 10: Spotřeby a náklady – zemní výměník + VZT jednotka

Vytápění		
Účinnost distribuce zdrojem tepla:	[%]	93
Účinnost sdílení energie na vytápění:	[%]	83
SCOP plošný kolektor:	[-]	4.60
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	5.46
Potřeba energie:	[MWh]	0.87
	[kWh/m ²]	3.72
Spotřeba energie:	[MWh]	0.465
	[kWh/m ²]	1.99
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.209
	[kWh/m ²]	5.16
Roční náklady:	[Kč]	1413
Příprava TV		
Objem zásobníků TV:	[l]	200
Délka rozvodů TV:	[m]	60
Měrná ztráta zásobníku:	[W.h/l.den]	7.9
Měrná ztráta rozvodů:	[W.h/m.den]	30.5
SCOP plošný kolektor:	[-]	2.84
SCOP splaškovodní výměník:	[-]	3.37
Potřeba energie:	[MWh]	2.360
	[kWh/m ²]	10.08
Spotřeba energie:	[MWh]	1.142
	[kWh/m ²]	4.87
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	2.968
	[kWh/m ²]	12.67
Roční náklady:	[Kč]	3470
Chlazení		
průměrný roční příkon oběhových čerpad	[W]	198
roční doba provozu chlazení	[h]	1546
Spotřeba energie:	[kWh]	306.0
	[kWh/m ²]	1.31
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[kWh]	795.7
	[kWh/m ²]	3.40
Roční náklady:	[Kč]	930
Větrání		
PSFP	[W.s/m ³]	2000
Činitel využití:	[-]	0.7
Tok vzduchu:	[m ³ /h]	144
Spotřeba energie:	[MWh]	0.491
	[kWh/m ²]	2.10
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.276
	[kWh/m ²]	5.45
Roční náklady:	[Kč]	1492

Osvětlení		
Spotřeba energie:	[MWh]	0.554
	[kWh/m ²]	3.30
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	1.439
	[kWh/m ²]	8.57
Roční náklady:	[Kč]	1683

Pomocné energie		
Vytápění P_{H,p}	[W]	31.8
Teplá voda P_{TV,p}	[W]	25.2
Spotřeba energie:	[MWh]	0.196
	[kWh/m ²]	0.84
Spotřeba primární neobnovitelné energie:	[MWh]	0.510
	[kWh/m ²]	2.18
Roční náklady:	[Kč]	1551

Příloha 11: Optimalizace tepelně-technických vlastností objektu

POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ	8.236	8.796	9.443	10.241	11.250	11.568	12.975	14.889	kWh/m ²
OBVODOVÉ STĚNY									
Konstrukce:									
Exteriér <i>vnější omítka</i>	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	m
<i>STEICOprotect</i>	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	m
<i>Fermacell</i>	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	m
<i>STEICOzell</i>	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	0.300	0.250	0.200	m
<i>Fermacell</i>	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	m
<i>STEICOflex</i>	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	m
Interiér <i>SDK GKF 12,5</i>	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	m
S	0.651	0.601	0.551	0.501	0.451	0.451	0.401	0.351	m
U	0.063	0.069	0.076	0.084	0.095	0.095	0.108	0.126	W/(m ² .K)
STŘECHA:									
Konstrukce:	-	-	-	-	-	-	-	-	m
Exteriér <i>krytina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	m
<i>prostor krovu</i>	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	m
<i>kamenná vlna</i>	0.660	0.600	0.550	0.500	0.450	0.400	0.350	0.300	m
<i>OSB</i>	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	m
<i>Fermacell HD</i>	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	m
Interiér <i>SDK</i>	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	m
S	0.724	0.664	0.614	0.564	0.514	0.464	0.414	0.364	m
U	0.052	0.057	0.062	0.068	0.075	0.084	0.096	0.111	W/(m ² .K)
NÁKLADY ENERGIE:									
Vytápění:	1459	1554	1664	1802	1979	2035	2285	2630	CZK
Příprava TV:	3469	3470	3471	3473	3474	3475	3477	3479	CZK
Chlazení:	930	930	930	930	930	930	930	930	CZK
Větrání:	1193	1193	1193	1193	1193	1193	1193	1193	CZK
Osvětlení:	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	1682	CZK
Pomoc. ener:	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	CZK
Celkem:	10283	10379	10491	10630	10809	10865	11117	11464	CZK
U_{stěny+střechy}	0.059	0.065	0.071	0.079	0.088	0.091	0.104	0.121	W/(m ² .K)
Úspora izol. materiálu:	0.0	9.6	18.7	27.7	36.7	39.8	48.8	57.8	%

Příloha 12: Průběh teplot, tepelných zisků a potřeby chladu v návrhovém dni pro letní období ($t_i = 26\text{ }^\circ\text{C}$)

