



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Strojní

Ústav energetiky

Produkce oxidu uhličitého ze zdrojů domácího vytápění

Production of carbon dioxide from domestic heating sources

Bakalářská práce

Studijní program: Strojřenství

Studijní obor: 2302R042 Energetika a procesní technika

Vedoucí práce: Ing. Pavel Skopec, Ph.D.

Boumpas Anastasios

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Boumpas** Jméno: **Anastasios** Osobní číslo: **474066**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Energetika a procesní technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Produkce oxidu uhličitého ze zdrojů domácího vytápění

Název bakalářské práce anglicky:

Production of carbon dioxide from domestic heating sources

Pokyny pro vypracování:

Tématem práce je zpracování přehledu možností vytápění rodinných domů z pohledu produkce emisí oxidu uhličitého a z pohledu ekonomické návratnosti.

Práce bude obsahovat:

- 1) Rešerše možností vytápění rodinných domů.
- 2) Pro vybraný objekt určit tepelnou ztrátu objektu a sestavit diagram trvání potřeby tepla.
- 3) Porovnat produkci emisí CO₂ pro různé varianty vytápění modelového rodinného domu.
- 4) Ekonomické hodnocení jednotlivých variant.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Skopec, Ph.D., ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2022**

Ing. Pavel Skopec, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne

Podpis

Anotační list

Jméno autora:	Boumpas Anastasios
Název BP:	Produkce oxidu uhličitého ze zdrojů domácího vytápění
Anglický název:	Production of carbon dioxide from domestic heating sources
Akademický rok:	2020/2021
Ústav/Odbor:	Ústav energetiky
Vedoucí BP/DP:	Ing. Pavel Skopec Ph.D.
Bibliografické údaje :	Počet stran: 73 Počet obrázků: 11 Počet tabulek: 29 Počet grafů: 7 Počet příloh: 1
Klíčová slova:	Emise CO ₂ , oxid uhličitý, zdroje vytápění, tepelná ztráta, paliva
Keywords:	CO ₂ emissions, carbon dioxide, sources of heating, thermal loss, fuels

Anotace:

Hlavním cílem této práce je určení produkci emisí CO₂ různých zdrojů vytápění pro rodinný dům. Součástí je vyhodnocení tepelné ztráty tohoto objektu dle normy ČSN EN 12 831. V další části je určena roční potřeba tepla a jsou navrženy vhodné způsoby vytápění. Poté se určuje roční potřeba paliva pro pokrytí energetických potřeb rodinného domu a produkce emisí CO₂ při jejich spalování. Nakonec se navržené zdroje porovnají z hlediska ekonomiky a ekologie.

Abstract:

The aim of this thesis is to determine the production of CO₂ emissions from domestic heating sources. Part of this work is the evaluation of this object's thermal losses using the ČSN EN 12 831 norm. Succeeding that is the determination of the yearly thermal needs and the design of heating sources for this particular object. Afterwards follows the calculation of fuel needs and CO₂ production from the fuel combustion. Finally the heating sources are compared from an ecological and economical standpoint.

PODĚKOVÁNÍ

V této části bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Pavlovi Skopcovi Ph.D. za cenné připomínky, kritiku, konzultace a trpělivost během tvorby této práce. Dále chci poděkovat mé rodině za podporu v průběhu studia.

Seznam symbolů

Veličina	Název veličiny	Jednotka
COP	topný faktor (<i>Coefficient of Performance</i>)	[-]
ΔQ	topný výkon tepelného čerpadla	[W]
ΔW	elektrický příkon tepelného čerpadla	[W]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
R _{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² K/W]
R _{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² K/W]
R _n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	[m ² K/W]
s _n	tloušťka stěny n-té stavební konstrukce	[m]
λ	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce	[W/mK]
A _g	plocha podlahové konstrukce	[m]
P	délka obvodových stěn	[m]
B'	charakteristický rozměr	[-]
w	tloušťka obvodových zdí	[m]
λ_{zeminy}	tepelná vodivost zeminy	[W/mK]
d _t	ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
$\Phi_{T,i}$	tepelná ztráta prostupem	[W]
H _{T,ie}	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	[W/K]
H _{T,iue}	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do nevytápěného	[W/K]
H _{T,ig}	součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy	[W/K]
H _{T,ij}	součinitel tepelné ztráty prostupem do nevytápěného prostoru	[W/K]
T _i	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
T _e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
U _{kc}	korigovaný součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
U _k	součinitel prostupu tepla dané konstrukci	[W/m ² K]
Δu_{tb}	korekční součinitel, který závisí na druhu stavební části	[W/m ² K]
b _u	redukční součinitel	[-]
f _{g1}	korekční součinitel, který zahrnuje roční změny teplot	[-]
f _{g2}	korekční součinitel, který zahrnuje rozdíl roční průměrné venkovní teploty a výpočtové venkovní teploty	[-]
T _p	roční průměrná venkovní teplota	[°C]
U _{equiv}	ekvivalentní součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
G _w	korekční součinitel zohledňující vliv podzemní vody	[-]
H _{V,i}	součinitel tepelné ztráty větráním	[W/K]

$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním	[W]
V_i	výměna vzduchu ve vytápěném prostoru	[m ³ /sec]
V_{inf}	výměna vzduchu infiltrací	[m ³ /sec]
V_{min}	minimální výměna vzduchu	[m ³ /sec]
n_{min}	minimální intenzita výměny vzduchu	[h ⁻¹]
V_i	objem vytápěné místnosti	[m ³]
N_{50}	intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa	[h ⁻¹]
e_i	stínící součinitel	[-]
ϵ_i	korekční výškový součinitel	[-]
D_{tis}°	počet denostupňů	[-]
d	topné dny	[-]
t_{is}	průměrná vnitřní teplota	[°C]
t_{es}	průměrná venkovní teplota	[°C]
Q_r	roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody	[GJ/rok]
Q_{vyt}	Potřeba tepla na vytápění	[GJ]
Q_{TUV}	Potřeba tepla na ohřev TUV	[GJ]
$Q_{TUV.d}$	denní potřeba tepla na ohřev vody	[kWh]
z	koeficient energetických ztrát systému	[-]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kgK]
V_{2p}	potřebný objem teplé vody za den	[m ³]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota ohřáté vody	[°C]
d_{rok}	dny v roce	[-]
U_p	skutečná potřeba paliva	[m ³]
Q_r	teoretická potřeba tepla	[J]
H_u	výhřevnost zemního plynu	[kJ/m ³]
η_s	sezonní účinnost kotle	[%]
B_R	Roční potřeba paliva	[tun/rok]
H	výhřevnost paliva	[MJ/kg]
O_{o2min}	minimální objem kyslíku pro dokonalé spálení 1 kg paliva	[m _n ³ /kg]
O_{vsmin}	minimální objem suchého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg	[m _n ³ /kg]
O_{ssmin}	objem suchých spalin	[m _n ³ /kg]
O_{CO2}	objem oxidu uhličitého	[m _n ³ /kg]
ρ_{CO2nm}	hustota CO ₂ při normálních podmínkách	[kg/m ³]
$N^{r,daf,d}$	obsah dusíku v různých stavech palivu	[%]
$A^{r,daf,d}$	obsah popeloviny v různých stavech palivu	[%]

$W^{r,daf,d}$	obsah vody v různých stavech palivu	[%]
Q_i^r	výhřevnost paliva	[kJ/kg]
Q_s^r	spalné teplo paliva	[kJ/kg]
$C^{r,daf,d}$	obsah uhlíku v různých stavech palivu	[%]
$H^{r,daf,d}$	obsah vodíku v různých stavech palivu	[%]
$S^{r,daf,d}$	obsah síry v různých stavech palivu	[%]
$O^{r,daf,d}$	obsah kyslíku v různých stavech palivu	[%]

Obsah

1. Úvod.....	1
2. ZDROJE A TYPY VYTÁPĚNÍ	2
2.1. Kotle na tuhá paliva	2
2.2. Kotle na kapalná paliva	4
2.3. Kotle na plynná paliva	5
2.4. Elektřina	6
3. Tepelná ztráta objektu	14
3.1. Tepelná ztráta	14
3.2. Součinitel prostupu tepla – U	14
4. Výpočet tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12 831.....	16
4.1. Popis objektu	16
4.2. Klimatické údaje.....	16
4.3. Vnitřní výpočtová teplota	17
4.4. Součinitel prostupu tepla jednotlivých stavebních částí konstrukce.....	17
4.5. Vlastní výpočet tepelných ztrát	21
4.6. Tepelná ztráta větráním.....	25
4.7. Celková tepelná ztráta	26
4.8. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY S ON-LINE KALKULAČKAMI.....	27
5. Roční potřeba tepla.....	29
5.1. Klimatické denostupně	30
5.2. Potřeba tepla na vytápění a ohřevu TUV.....	31
6. Návrh způsobu vytápění	35
6.1. Zemní plyn.....	35
6.2. Elektřina	37
6.3. Biomasa.....	40
6.4. Kotel na uhlí	42
7. Porovnání zdrojů vytápění z emisního hlediska a určení realné výhřevnosti tuhých paliv	42
7.1. Výpočet emisí CO ₂ pomocí stechiometrických rovnic	43
7.2. Chemické složení paliv	44
7.3. Reálná výhřevnost tuhých paliv	45
7.4. Roční potřeba tepla tuhých paliv	46
7.5. Celková potřeba všech paliv	47
7.6. Produkce emisí CO ₂	48
8. Ekonomické hodnocení jednotlivých variant vytápění	51

8.1.	Investiční náklady.....	51
8.2.	Plynový kondenzační kotel.....	51
8.3.	Elektrokotel.....	52
8.4.	Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	52
8.5.	Biomasa.....	53
8.6.	Kotel na uhlí.....	54
9.	Provozní náklady jednotlivých variant.....	55
10.	Celkové náklady.....	57
11.	Závěr.....	58
12.	Citace.....	59
13.	Seznam příloh.....	63
14.	Přílohy.....	64

1. Úvod

V dnešní době, ve které je způsoben čím dál, tím větší tlak proti fosilním palivům s účelem snížení ekologického dopadu, je vhodné s ohledem do budoucnosti správně a přesně nadimenzovat způsob vytápění domácnosti. Aby se toto učinilo, musí se nejdříve přesně určit tepelná ztráta řešeného objektu. V České republice se tepelné ztráty budov počítají dle normy ČSN EN 12 831. Znalost energetické náročnosti budovy nám umožní správně navrhnout zdroj a tím předejít zbytečným emisím ale i zbytečnému plýtvání penězma za vytápění. Znalost tepelné ztráty nám taky umožní provedení efektivních tepelných opatření.

Řešit ale výběr způsobu vytápění domácnosti jenom z emisního hlediska je nesmyslné, jelikož investora zajímá i ekonomické hledisko a všechny zdroje tepla nejsou stejně cenově dostupné.

Cílem této práce je porovnat široký výběr zdrojů domácího vytápění z aspektu ekonomického a ekologického, a tím usnadnit výběr zdroje ale i efektivní provoz a komfort do budoucnosti.

Pro zřetelnost byl vybrán rodinný dům, který byl postaven v roce 1960 v obci Krupá v okrese Rakovník. Budova byla v roce 2010 zateplena, což výrazně snížila její energetickou náročnost oproti předchozímu stavu .

2. ZDROJE A TYPY VYTÁPĚNÍ

2.1. Kotle na tuhá paliva

Kotle na tuhá paliva představují klasický způsob topení a díky nízkým cenám paliv do těchto kotlů jsou stále velice oblíbené a rozšířené. Před výběrem kotle na tuhá paliva je třeba rozhodnout, jaký zdroj tepelné energie bude využitý. V nabídce tuhých paliv je celá řada možností jako: dřevo, uhlí (černé i hnědé), peletky, dřevěné brikety anebo dřevní štěpky.

2.1.1. Uhlí

Uhlí je hnědá, černá nebo hnědo-černá hořlavá hornina. Získává se dolováním z povrchových nebo hlubinných dolů a používá se jako palivo. Uhlí je složeno především z uhlíku, vodíku a kyslíku, obsahuje však také další chemické prvky, především síru. Od doby průmyslové revoluce je uhlí především důležitou energetickou surovinou. Velká část světové výroby elektřiny (40 %) využívá spalování uhlí, které probíhá v klasických uhelných, respektive v tepelných elektrárnách. Uhlí se kromě výroby elektrické energie používá také k vytápění a ohřevu vody. U kotlů používaných na vytápění domácnosti se setkáváme hlavně s uhlím černým a hnědým. [1]

2.1.2. Dřevo

Dřevo je považováno za obnovitelný zdroj energie a patří do druhů biomasy. V České republice se jedná o snadno dostupný přírodní materiál. Důležitým faktorem je i dostupnost dřeva v dané lokalitě, což se může projevit i na ceně dovozu. Další nutností je mít dostatečný prostor na uskladnění, protože je potřeba dřevo v syrovém stavu nechat řádně proschnout přirozeným způsobem, aby se nesnižovala účinnost vytápění, způsobená stávající vlhkostí. Výhřevnost se pohybuje okolo 15 MJ/kg při vlhkosti dřeva 20 %. [2]

Za palivové dřevo považujeme obvykle dřevo, které je různými způsoby znehodnoceno a není už vhodné k dalšímu zpracování a využití. Dřevo se také rozlišuje dle své tvrdosti. Tvrdé dřevo je z listnatých stromů, nejlépe ho využijeme k vytvoření stabilního a dlouhotrvajícího žáru. Naopak jehličnaté dřevo dobře poslouží k rychlému vytopení daného prostoru a je také vhodné pro zapalování suroviny v kotli.

2.1.3. Dřevěné pelety

Jedná se o přírodní biomasu, malé granulové tyčinky dlouhé 20 – 30 mm ve tvaru válce o průměru 6 – 8 mm. Lisují se z dřevěného odpadu, jako jsou piliny, hobliny, odpad z broušení dřeva a lesní těžby. Mohou být vyráběny i ze slámy, sena a zemědělských zbytků. Vše záleží na místních zdrojích v dané lokalitě. Dále můžeme pelety rozdělit na světlé a tmavé, světlé jsou kvalitnější a jsou vyráběny jen z dřevěných pilin a hoblin, tmavé jsou z ostatních surovin. Materiál nesmí být opatřen ochrannými nátěry. Z 5 – 8 m³ dřevěného odpadu se vyrobí cca 1 tuna pelet. Jejich výhřevnost je kolem 17 MJ/kg, kvůli své nízké vlhkosti má větší výhřevnost, než samotné dřevo. [3]

2.1.4. Dřevěné brikety

Tyto brikety se vyrábějí z odpadu při dřevovýrobě (dřevěné piliny, hobliny, drcená kůra). Obdobně jako u pelet, se brikety lisují. Mají větší a jiný tvar, než pelety. Průměr může být max. 10 cm a délka 25 cm. Ohledně tvaru mohou být jak válcové tak i kvádrové. Výhřevnost činí cca 16 MJ/kg. Výhodou je, že se dají v kotli kombinovat s kusovým dřevem a naopak. [4]

2.1.5. Dřevní štěpka

Jde o krátkou nadrcenou dřevní hmotu o rozměrech od 3 do 250 mm. Je získávána z odpadu z lesní těžby, z průmyslového zpracování dřeva či z rychle rostoucích dřevin. Je vhodná pro nízkou pořizovací cenu paliva, avšak je nutné mít velké skladovací prostory. Další nutností je zajistit provětrávání skladu, aby nedošlo k plesnivění a zapařování paliva. Dostatečné

provětrávání nám slouží i k dodatečnému vysoušení během skladování. Výhřevnost se pohybuje na 8 – 15 MJ/kg. [5]

2.2. Kotle na kapalná paliva

Mezi kapalná paliva patří především topné oleje. V dnešní době, kdy cena ropy stále roste, se tato paliva používají jen zcela výjimečně. Velkou výhodou je vysoká výhřevnost 42 MJ/kg a velká účinnost spalování, která dosahuje až 95 % [6]

2.2.1. Extralehký topný olej (ELTO, TOEL, TOLEX)

Extra lehký topný olej nebo zkráceně ELTO, TOEL i TOLEX je palivo, které se destiluje z ropy při bodu varu až 370 °C. Je to červená čirá tekutina, barví se proto, aby byla rozeznatelná na první pohled od zemního plynu. Při srovnání s uhlím či dřevem má ELTO velmi vysokou výhřevnost 42,3 MJ/kg. Nevýhodou je vysoká cena paliva. Při spalování nevzniká žádný popel ani prachové částice, jedná se o palivo, které nezatěžuje životní prostředí. Je proto vhodné použití v ekologicky chráněných krajinných oblastech. Další výhodou je, že ELTO není výbušnina. [13]

2.2.2. Lehký topný olej

Získává se také destilací ropy a vyznačuje se nižší viskozitou. Obsahuje barvivo a značkovací látky, které ho odlišují od motorové nafty. Olejové topení lze úspěšně kombinovat i s obnovitelnými zdroji energie, jako jsou solárně termické kolektory k ohřevu teplé vody a k podpoře vytápění nebo s dalšími zdroji tepla v domě, jako je krb nebo krbová kamna s výměníkem, tepelné čerpadlo atd.

2.2.3. Těžký topný olej

Těžký topný olej (mazut) se skládá převážně z vyšších uhlovodíků a získává se také z destilací z ropy. Má hustou konzistenci a používá se výhradně na průmyslové velkokapacitní vytápění. Není vhodný pro vytápění rodinných domů.

2.3. Kotle na plynná paliva

Plynná paliva jsou směs hořlavých a nehořlavých plynů. Vznikají smícháním se vzduchem v daném poměru, buď v uzavřeném prostoru, nebo v málo větraném prostoru. Při zapálení se jedná o výbušnou směs. Hořlaviny v plynném stavu s příměsí vzduchu podporují hoření. Při neúplném vyhoření paliva může vznikat oxid uhelnatý, který je pro člověka jedovatý.

2.3.1. Zemní plyn

Jedná se o přírodní materiál, jeho hlavní složkou je metan. Je cca dvakrát lehčí než vzduch. ZP je výbušný, pro člověka nedýchatelný, ale protože neobsahuje oxid uhelnatý, není jedovatý. Samotný plyn nezapáchá, kvůli bezpečnosti se k němu přidává zapáchající plyn, aby lidé poznali, zda uniká či ne. Podle výskytu v přírodě ho rozdělujeme na dva druhy. Ropný (naftový), má společný původ s ropou a je vlhký. Před dodáním na místo spotřeby je nutné ho předem upravit, například sušit nebo zbavit nečistot. Karbonový (uhelný) se vyskytuje v uhelných ložiscích a je vždy suchý. Odsává se z vrtů nebo při těžbě uhlí. Ve většině případů se využívá rovnou v místě těžby, nebo se může po úpravě používat jako svítiplyn. Vytápění ZP je v dnešní době velice komfortní, nevýhodou je jeho cena, která se v posledních letech zvyšuje, ale i přes to je plynové vytápění v České republice nejrozšířenější. Má také velmi velkou účinnost a výhřevnost až 34 MJ/m^3 , což je snad dvakrát více než výhřevnost svítiplynu. [8]

2.3.2. Bioplyn

Bioplyn a bioplynové systémy představují energetické zdroje s vysoce pozitivními přínosy pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Přestože bioplyn zatím není schopen vytlačit fosilní paliva z jejich dominantního postavení na trhu s energií, má na rozdíl od nich zcela neomezené

perspektivy pro budoucí využití. Bioplynové systémy ve všech možných uspořádáních pracují jako plně obnovitelné energetické zdroje transformující i spoluvyužívající solární energii. Veškeré i pomocné technologie lze v těchto systémech řešit jako ekologicky příznivé procesy a to i v těch případech, kdy se jedná například o zpracování substrátů bohatých sírou. Bioplyn dosahuje výhřevnosti až 24 MJ/m³. [9]

2.3.3. Propan-butan

Propan-butan je název pro směs zkapalněných uhlovodíků, která obsahuje hlavně dvě složky, propan (40 – 65 %) a butan (35 – 60 %). Pro vytápění je směs dodávána v kapalně podobě v tlakových nádobách. Zásobníky s touto kapalinou se umísťují mimo budovu do nadzemního nebo podzemního prostoru. PB je těžší než vzduch. Jedná se o bezbarvou, hořlavou a výbušnou látku, která není jedovatá. Pro člověka je to dusivá sloučenina. Výhřevnost PB se pohybuje mezi 94 – 110 MJ/m³. [10]

2.4. Elektřina

2.4.1. Přímotop

Elektrický přímotop funguje na principu proudění teplého a studeného vzduchu. Chladnější vzduch u podlahy je nasáván do přímotopu a proudí přes horkou spirálu, která daný vzduch ohřívá. Následně teplý vzduch stoupá směrem nahoru a ohřívá tak vzduch v místnosti. Tento typ vytápění je vhodný pouze v nízkoenergetických a pasivních domech, které mají výborně zateplené konstrukce a nízkou spotřebu elektřiny. Používají se také jako doplňkový nebo záložní zdroj topení.

2.4.2. Elektrokotel

Princip elektrokotle je podobný jako u plynového kotle. Nejčastěji je voda ohřívána průtokově pomocí topné spirály nebo odporových topných tyčí. Následuje do oběhového čerpadla, které pak rozvádí otopnou látku do topného systému. Tím se poté ohřívá vzduch v místnosti. Výhodou je nízká pořizovací cena, malé rozměry a nízká hmotnost kotle. Není zde potřeba

budovat přípojku k plynovodu či zařizovat komín na odvod spalin. Elektrokotel je v podstatě bezobslužný, funguje na principu „zapnuto – vypnuto“. Je regulován termostatem. Velkým záporem je cena elektřiny, na které je provoz elektrokotle závislý.

2.4.3. Tepelné čerpadlo

Čerpadlo pomocí elektrické energie převádí teplo v půdě, podzemní, povrchové vodě nebo vzduchu na teplo vhodné pro ohřev vody nebo vytápění. Teplo získané z přírody pro přeměnu k využití v domácnosti má malý energetický potenciál, tzn. že jeho kvalitativní stránka je na nižší úrovni.

Dnes se jedná o alternativní zdroj obnovitelné energie. TČ odebírá teplo o nízké teplotě z okolního vzduchu, vody či půdy (tzv. nízkopotenciální teplo) a pomocí teplonosné látky slouží k vytápění předhřev nebo ohřev teplé vody rodinného domu.

Topný faktor je jedním ze základních parametrů TČ. Je ukazatelem účinnosti tepelného čerpadla. Jednoduše řečeno, je to poměr mezi získanou tepelnou energií a spotřebovanou energií tepelným čerpadlem. Označuje se zkratkou COP a platí, že čím je hodnota COP vyšší, tím je výroba tepla efektivnější a cenově výhodnější. [11]

$$\text{COP} = \frac{\Delta Q}{\Delta W} [-]$$

Kde :

- COP – topný faktor (*Coefficient of Performance*) [-]
- ΔQ – topný výkon tepelného čerpadla [W]
- ΔW – elektrický příkon tepelného čerpadla

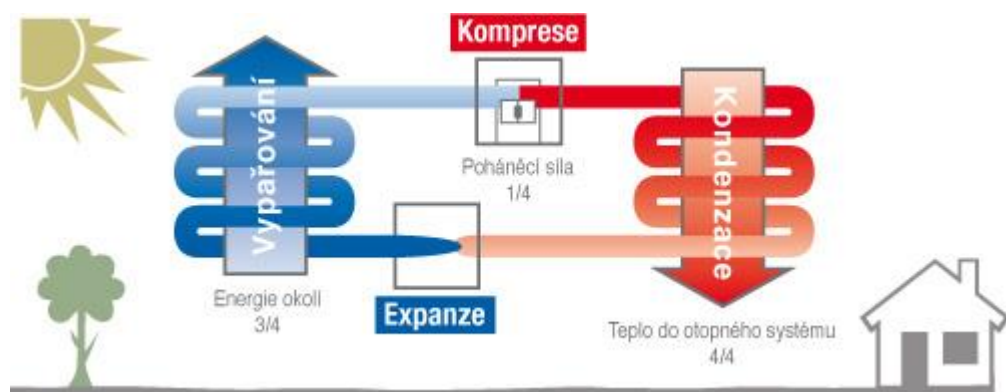
Topný faktor zpravidla bývá v rozpětí od 2 do 4 u tepelných čerpadel vzduch–voda a od 3 do 5 u tepelných čerpadel země–voda. To znamená, že např. pro COP = 3 za každou 1 kW elektrické energie získáte 3 kWh tepla na ohřev TV.

Topný faktor se v průběhu roku mění. Je závislý na teplotě okolního prostředí, ze kterého tepelné čerpadlo teplo odebírá i na teplotě vody (tzv. výstupní teplotě), která vyhřívá váš dům prostřednictvím radiátorů nebo podlahového vytápění. Obecně platí, že tepelné čerpadlo vyrobí teplo výhodněji při menších mrazech a nižší výstupní teplotě. [11]

Princip TČ

TČ má čtyři základní části, těmi jsou kompresor, výparník, kondenzátor, expanzní ventil. Dohromady tvoří okruh a cyklus se stále opakuje.

TČ pracuje jako chladicí stroj, jehož zdrojem je kompresor poháněný elektromotorem. Výparník odvádí teplo z nízkopotencionálního zdroje a předá ho chladivu kolujícímu uvnitř celého zařízení, které během celé své cesty mění skupenství. Dříve se používaly látky známé pod jménem freony, ty ničí ozonovou vrstvu a přispívají ke globálnímu oteplování Země. Dnes se proto používají látky R134a a R407c. Teplota chladiva je značně menší než teplota přiváděného tepla. Tím se chladivo zahřívá a vypařuje se. Takto zahřáté páry se dostanou pomocí kompresoru do dalšího výměníku – kondenzátoru. Tady je teplo předané otopné vodě nebo vzduchu o vyšší teplotě, zchladí se a nastává další změna na skupenství kapalné. Kapalina má v sobě stále vysoký tlak, a proto musí být vedena do expanzního ventilu. Tato část odděluje vysokotlakotlaké a nízkotlaké látky. Zde se sníží tlak chladiva na tolik, že má stejnou hodnotu jako je původní hodnota ve výparníku. [15]



Obrázek 2.1 - Princip TČ [21]

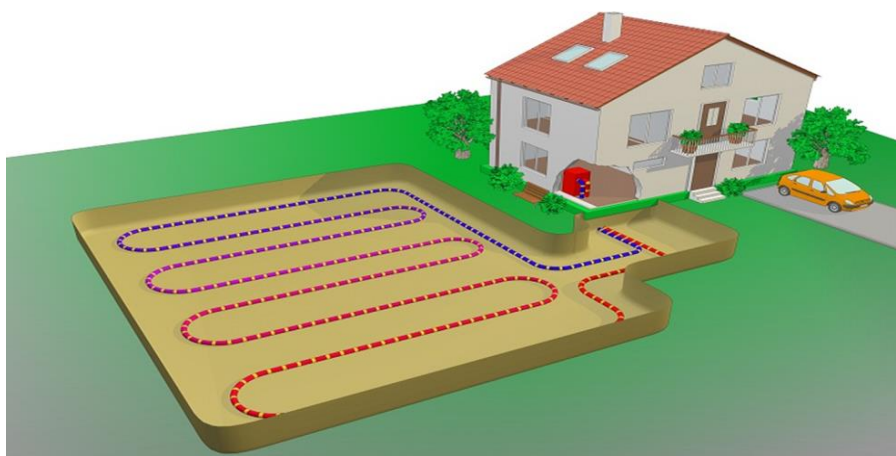
Typy tepelných čerpadel

TČ „vzuch – voda“

Tento systém lze snadno nainstalovat téměř na každý typ stavby. Výkon TČ se mění s aktuální teplotou venkovního vzduchu, tedy roste-li teplota, výkon TČ se zvyšuje. Naopak, když se teplota venkovního vzduchu snižuje, klesá i výkon. Z této příčiny se zřizuje k provozu tepelného čerpadla doplňkový – bivalentní – zdroj tepla (např. elektrokotel), oba zdroje zajišťují vytápění rodinného domu současně. Minimální teplotou pro práci TČ je $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při delším trvání období s nízkými teplotami pracuje jen doplňkový zdroj tepla, ten musí být proto navržen na celkové ztráty vytápěného objektu. Tento typ čerpadel není vhodné využít v horských oblastech, kde jsou nízké teploty venkovního vzduchu velmi časté. Dnes se jedná o nejrozšířenější typ tepelných čerpadel. [12]

TČ „země – voda“

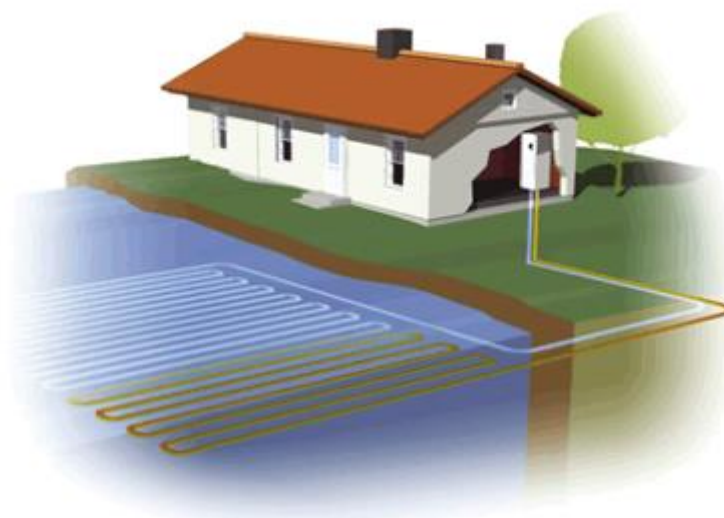
Nízkopotenciální teplo je odebíráno ze zemních kolektorů (horizontální kolektor) nebo z geotermálních vrtů (vertikální kolektor). Zemní tepelné čerpadlo není závislé na venkovních klimatických teplotách. Můžeme ho použít v podstatě kdekoliv (i v horských oblastech s venkovními teplotami -25°C) [12]. Zemní kolektory Svazky trubek jsou uloženy v nezámrzné hloubce 1 – 1,5 m. Cca 35 m² plochy je potřeba na výkon TČ o 1 kW [17]. Jedná se relativně levnou záležitost, avšak plošně hodně náročnou. Je potřeba vlastnit velký pozemek v okolí budovy, kde bude potrubí uloženo. Nad tímto provedením nejsou povoleny žádné další



Obrázek 1.2 - Realizace TČ země-voda [22]

TČ „voda – voda“

Méně používaný systém pro malý výskyt vhodných lokalit. Naopak topný faktor těchto TČ je v nabídce nejvyšší. Teplo může být odnímáno z povrchové nebo z podzemní vody. Nejlepším řešením jsou studny, protože se teplota podzemní vody pohybuje kolem 10 °C , jedná se o nejteplejší přírodní zdroj. Je třeba minimální vydatnost pramene 0,5 l/s . Vhodným řešením jsou dvě studny (zdrojová a vsakovací) vzdálené od sebe alespoň 10 m. [13]



Obrázek 2.3 - Realizace TČ voda-voda [23]

TČ „vzduch – vzduch“

Tento typ TČ pracuje na podobném principu jako vzduch/voda, ale tepelný výkon předávají vnitřnímu vzduchu v místnosti. V současné době se používají malá nástěnná tepelná čerpadla. Hlavní nevýhodou je, že se vytápí jen jedna místnost, kde se tepelné čerpadlo nachází. Používají se v chatových objektech nebo v malých bytech.

Výhody a nevýhody tepelných čerpadel jsou vidět v tabulce 2.1. .

Tab. 2.1. : Porovnání typů TČ

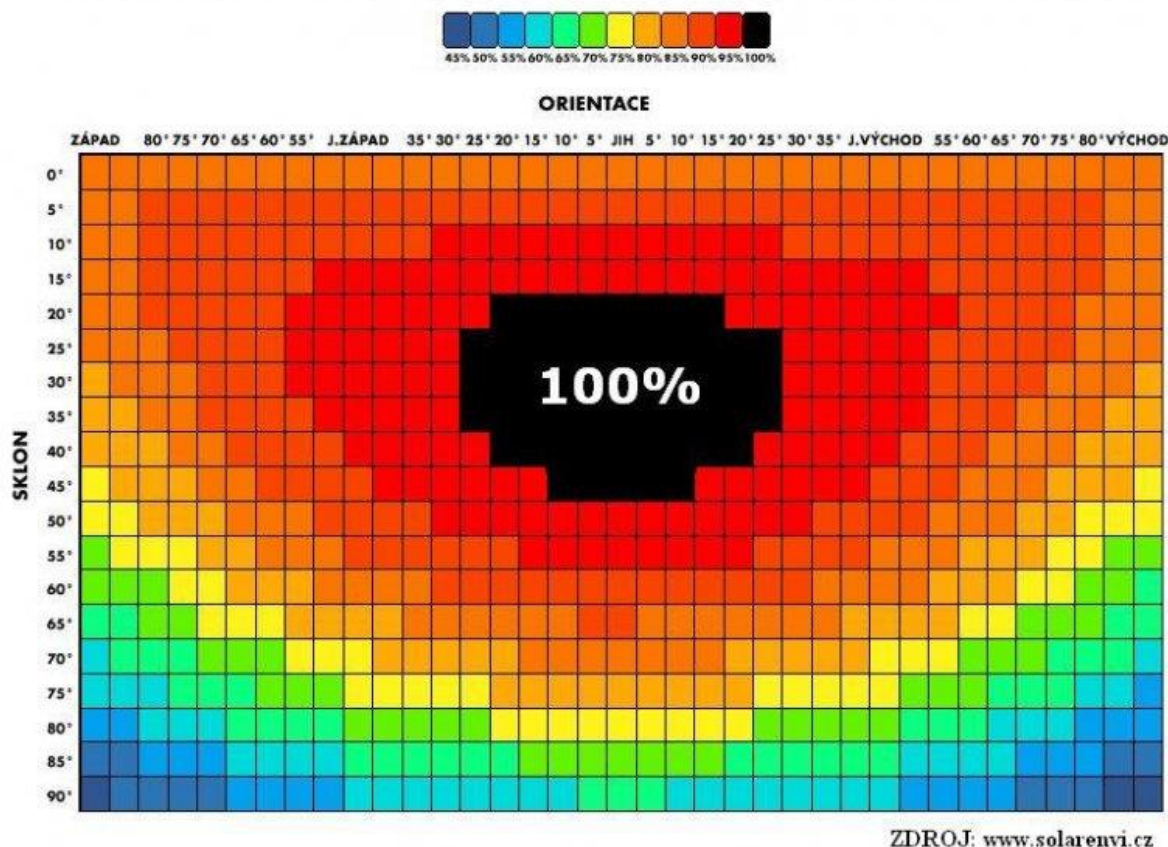
	Výhody	Nevýhody
TČ vzduch-voda	<ul style="list-style-type: none"> • Snadná instalace • Výsoký COP • Nízké pořizovací náklady • Krátká doba návratnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutný doplňkový zdroj • Závislé na venkovní teplotě
TČ země-voda	<ul style="list-style-type: none"> • Ruzné klimatické podmínky • Stalý tepelný výkon • Tichý chod • Výkon 	<ul style="list-style-type: none"> • Pořizovací cena • Rozsáhlé zemní práce (vrty, velká plocha pozemků)
TČ voda-voda	<ul style="list-style-type: none"> • Výsoký COP • Nízká pořizovací cena 	<ul style="list-style-type: none"> • Vyšší náklady • Administrativa • Malý rozsah použití
TČ vzduch-vzduch	<ul style="list-style-type: none"> • Snadná instalace • Výsoký COP • Nízké pořizovací náklady • Krátká doba návratnosti 	<ul style="list-style-type: none"> • Využití jen v malých bytech

2.4.4. Solární panely

Použitím solárních panelů je vyráběna přírodní energie ze Slunce. Solární vytápění můžeme použít na jakémkoliv místě na zemském povrchu. Slunce bude vyzařovat velké množství energie do vesmíru ještě plno let. V České republice průměrně dopadne 1350 kWh sluneční energie na 1 m². Nejvýhodnější lokality z hlediska umístění a využití sluneční energie jsou Polabí a oblast jižní Moravy. Nejvýhodnější poloha je umístění na jižní stranu odkud přichází nejvíce záření. V zimním období vyzařuje Slunce méně energie a svítí mnohem kratší dobu, než v letních měsících. I přesto je tato sluneční energie úspěšně využívána.

Sklon panelů by měl být takový, aby paprsky dopadaly kolmo na plochu. V ideálním případě aby se panely nakláněly podle potřeby. Bývá doporučený sklon trvale nastavený mezi 30° a 45° od vodorovné roviny. [14]

Vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na jejich výkon



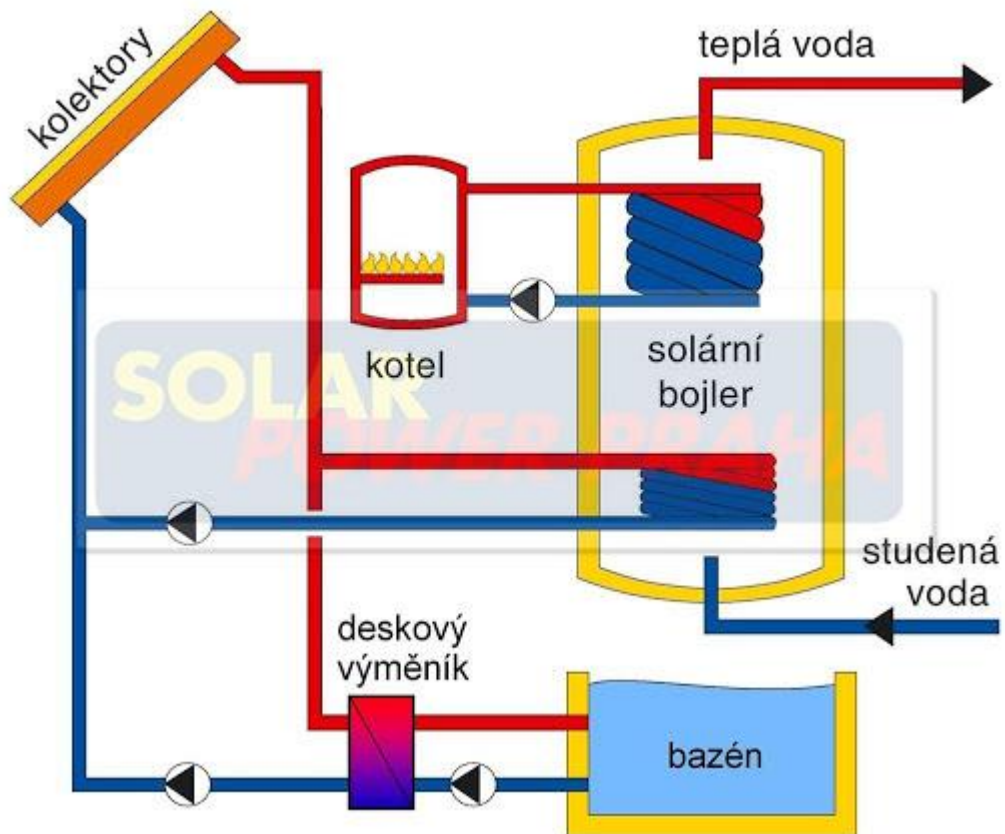
Obrázek 2.4 - Vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na výkon [16]

Solární panely mohou být umístěny na šikmé střeše (na krytinu, nebo místo ní), na volném prostranství (louka), na garáži, na plochých střechách i na fasádě domu.

Solární systémy se využívají nejen na vytápění, ale i na ohřev užitkové vody nebo ohřev vody v bazénu. Takto se solární panely využijí v letních měsících, kdy se normálně netopí. Pokud by se v této době neodebíralo teplo z kolektorů, hrozilo by přehřátí kapaliny v kolektorovém okruhu. Tímto by se postupně snižovala jejich životnost, proto je nutností využívat je i v létě.

V zimě se budova s tímto typem vytápění nevyhřeje na potřebnou teplotu. Proto se nejčastěji kombinuje s dalším zdrojem vytápění, např. kotel na různé druhy paliv.

Solární systém se skládá ze solárních kolektorů, potrubí s teplotonosnou látkou, zásobníkem teplé vody a oběhového čerpadla. Solární kolektory je možno podle konstrukce rozdělit na ploché, trubkové a koncentrační. Teplotonosnou látkou pro solární systémy je ve velké většině kapalina, například voda či nemrzoucí směs. Solární kolektory mohou být s jednoduchým nebo vícevrstevným zasklením eventuálně bez zasklení. Tento systém lze použít pro vytápění i ohřev vody.



Obrázek 2.2 - Schéma solárního systému [18]

Výhodou získávání sluneční energie jsou nejen vysoké úspory, ale i dlouhá životnost a šetrnost k životnímu prostředí. Jedná se o bezhlučný provoz s jednoduchou instalací a snadnou elektronickou regulací.

Nevýhodou je kolísání intenzity slunečního záření, krátká průměrná roční doba svitu, malá účinnost přeměny energie na teplo nebo nutnost záložního zdroje.

3. Tepelná ztráta objektu

3.1. Tepelná ztráta

Tepelná ztráta je množství tepla, které v daném okamžiku uniká z domu do exteriéru. A nezáleží na tom, zda prostupem přes stěny či okna, nebo větráním. Hodnota tepelné ztráty domu se počítá pro konkrétní teplotu – pro extrémnější chlad. V České republice se tepelné ztráty počítají obvykle pro teplotu -15 °C , v horských lokalitách je to o něco více (-18 °C) a naopak ve městech a teplých oblastech méně (-12 °C).

Tepelná ztráta prostupem tepla je přímo úměrná ploše, přes kterou prochází teplo v důsledku rozdílné teploty mezi vnější a vnitřní stranou konstrukce. Tepelná ztráta větráním je způsobena větráním vytápěného prostoru z hygienického důvodu. Tato hodnota je přímo úměrná objemu místnosti a minimální intenzitě výměny venkovního vzduchu n za hodinu [h^{-1}]. Hodnota minimální intenzity výměny venkovního vzduchu závisí na typu místnosti, například pro obývací prostory má hodnotu 0,5, ale pro koupelny a kuchyně 1,5 [24].

Určení tepelných ztrát budovy je naprosto nezbytné pro návrh tepelného výkonu vytápěcího zdroje, aby byl zajištěn efektivní provoz z ekonomického a ekologického hlediska a tepelná pohoda i při těch nejnepríznivějších venkovních podmínkách.

V České republice je výpočet tepelného výkonu, respektive tepelných ztrát určen normou ČSN EN 12 831.

3.2. Součinitel prostupu tepla – U

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K . Čím je tato hodnota vyšší, tím horší tepelně izolační vlastnosti konstrukce má a uniká tak skrze ni více tepla. [25]

V současné době je doporučená hodnota dle normy ČSN 73 0540-2 (Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky) pro těžké obvodové zdi $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Norma ČSN 73 0540-2 označuje izolační materiál ten, který má tepelnou vodivost $\lambda < 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$. [26]

Součinitel prostupu tepla se počítá dle normy ČSN EN ISO 6946 [27] (Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

Kde :

- $U \text{ [W}/\text{m}^2\text{K}]$ je součinitel prostupu tepla
- $R_{si} \text{ [m}^2\text{K}/\text{W}]$ je vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla
- $R_{se} \text{ [m}^2\text{K}/\text{W}]$ je vnější tepelný odpor při přestupu tepla
- $R_n \text{ [m}^2\text{K}/\text{W}]$ je tepelný odpor n-té stavební konstrukce
- $s_n \text{ [m]}$ je tloušťka stěny n-té stavební konstrukce
- $\lambda_n \text{ [W}/\text{mK}]$ je součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce

Celkový tepelný odpor konstrukce se pak rovná:

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}$$

Součinitel prostupu tepla U je převrácenou hodnotou celkového odporu konstrukce R_T při přestupu tepla. Celkový odpor se rovná součtu vnitřního a vnějšího tepelného odporu při přestupu tepla a součtu tepelných odporů n stavebních konstrukcí.

Hodnoty vnějšího a vnitřního tepelného odporu neprůsvitné části konstrukce stanovuje norma ČSN EN ISO 6946 [27] a jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.1. .

Tab 3.1. : Hodnoty tepelných odporů

Tepelný odpor [W/m ² K]	směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolu
R _{si}	0,1	0,13	0,17
R _{se}	0,04		

4. Výpočet tepelných ztrát dle normy ČSN EN 12 831

4.1. Popis objektu

V této práci se určí tepelná ztráta pro rodinný dům, který byl postaven v roce 1960. Je situován na kraji obce, lze říci, že jeho poloha je nechráněná.

Jedná se o dvoupodlažní dům, se světlou výškou místností 270 cm. Obvodové zdi jsou postaveny z pálených cihel tloušťky 45 mm. Ke snížení jeho energetické náročnosti bylo obvodové zdivo zatepleno polystyrenem tloušťky 6 mm v roce 2010.

V následující tabulce 4.1. jsou uvedeny základní údaje o místnostech, které tvoří daný objekt. Jedná se o plochu S_i, objem V_i, plochu obvodů S_{obvod} a plocha oken v dané místnosti S_{oken}.

Tab. 4.1.: Údaje jednotlivých místností

	S _i [m ²]	V _i [m ³]	S _{obvod} [m ²]	S _{oken} [m ²]
Předsíň	6,0	15,6	7,4	3,4
WC	1,0	2,5	3,0	0,1
Chodba(přizemí)	6,2	16,0	5,7	2,3
Špíz	3,9	10,0	9,9	0,1
Kuchyň	18,9	49,2	18,1	4,5
Koupelna	5,1	13,4	8,1	1,1
Ložnice	18,5	48,0	20,1	2,3
Chodba(1. patro)	6,4	16,6	3,6	3,9
Pokoj č.1	16,8	43,6	8,9	2,3
Pokoj č.2	11,2	29,1	15,7	2,3
Půda	18,2	47,3	30,7	0,8

4.2. Klimatické údaje

Objekt se nachází v obci Krupá v okrese Rakovník. Pro tuto lokalitu je délka otopného období 250 dní, pokud je mezní venkovní teplota T_{em} 13°C. Dodávka tepelné energie se zahájí

v otopném období, když mezní denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě poklesne pod +13 °C ve 2 dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den. [29]

Mezní denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot měřených ve stínu s vyloučením vlivu sálání okolních ploch v 7:00, 14:00 a ve 21:00 hod., přičemž teplota měřená ve 21:00 hod. se počítá dvakrát. [30]

Průměrná venkovní teplota T_p otopného období v této lokalitě se pohybuje mezi teplotami 7 až 8 °C . Výpočtová venkovní teplota T_e je -15 °C . [31]

4.3. Vnitřní výpočtová teplota

Vnitřní výpočtová teplota T_i je užitá pro výpočet návrhových tepelných ztrát. V tomto případě byla zvolena teplota $T_i = 22$ °C ve všech vytápěných místnostech. Zvolením stejné teploty T_i ve vytápěných místnostech nedojde k prostupu tepla přes příčky mezi místnostema.

4.4. Součinitel prostupu tepla jednotlivých stavebních částí konstrukce

4.4.1. Obvodová zeď

Obvodové zdivo je tvořeno čtyřmi vrstvami. Základní vrstvou jsou pálené cihly o tloušťce 45 mm. Další vrstvou je polystyren o tloušťce 6 mm. Ve vnější straně zdi je 1,5mm perlitové omítky a ve vnitřní straně je 1,5 mm vápenné omítky.

Základní parametry jednotlivých vrstev jsou uvedeny v tabulce 2.2 – tloušťka a součinitel tepelné vodivosti. Hodnoty tepelných vodivostí jednotlivých vrstev jsou převzaty z TZB-info. [32]

V následující tabulce 4.2. jsou uvedeny parametry vrstev zdi, pomocí kterých je výpočteny tepelný odpor $R = \frac{s}{\lambda}$.

Tab. 4.2. : Části obvodové zdi

Materiál	l[m]	λ [W/mK]	R[m ² K/W]
Vápenná omítka	0,015	0,88	0,017
Pálená cihla	0,45	0,78	0,577
Pěnový polystyren	0,07	0,051	2,941
Perlitová omítka	0,015	0,015	0,14

Další potřebné hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla jsou vnější a vnitřní tepelné odpory při přestupu tepla. Směr tepelného toku vzhledem k obvodovým zdem je vodorovný, proto na základě normy ČSN EN ISO 6946 [27] je zvoleno: $R_{se} = 0,13$ (m²K)/W a $R_{si} = 0,04$ (m²K)/W .

Hodnota součinitele tepla:

$$U_{\text{obvod}} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{s}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \left(\frac{0,015}{0,88} + \frac{0,45}{0,78} + \frac{0,06}{0,051} + \frac{0,015}{0,015} \right) + 0,04}$$

$$U_{\text{obvod}} = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4.4.2. Podlaha na zemině

Součinitel prostupu tepla podlahy se počítá dle normy ČSN EN ISO 13 370 [33].

Pro výpočet součinitele U musíme nejprve stanovit charakteristický rozměr B' .

$$B' = \frac{A_g}{P}$$

Kde :

- A_g [m] je plocha podlahové konstrukce. V našem případě je to celková plocha podlahy.

- P [m] je délka obvodových stěn, které oddělují vytápěný prostor budovy od venkovního prostoru. V našem případě je to celkový obvod objektu.

$$B' = \frac{A_g}{P} = \frac{59,5}{49,74} = 1,196$$

Dalším nezbytným parametrem je ekvivalentní tloušťka podlahy d_t , která je funkcí tepelného odporu podlahy, tepelné vodivosti zeminy λ a tloušťky obvodových zdí w .

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot \left(R_{si} + \sum \frac{s}{\lambda} + R_{se} \right)$$

Kde :

- w [m] je tloušťka obvodových zdí
- λ_{zeminy} [W/mK] je tepelná vodivost zeminy

Pro zeminu, která je složena z hlíny a jílu je obecně $\lambda_{zeminy} = 2 \text{ W/mK}$.

$$d_t = 0,54 + 2 \cdot (0,17 + (0,15 + 0,03 + 0,08 + 0,19) + 0,04) = 1,83 \text{ m}$$

V tabulce 4.3. jsou údaje o složení podlahové konstrukce.

Tab. 4.3. : Skladba podlahy

Materiál	l[m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Vinyl	0,005	0,033	0,15
Sádrová stěrka	0,01	0,3	0,03
Železobeton	0,12	1,43	0,08
Škvára	0,05	0,27	0,19

Pro výpočet $U_{podlahy}$ vycházíme z porovnání hodnot B' a d_t .

$$\text{Pokud platí že } d_t \leq B' : U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right)$$

$$\text{Pokud platí že } d_t \geq B' : U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t}$$

Z přechozích výpočtů je zřejmé, že platí $d_t \geq B'$ (1,83 \geq 1,196)

$$U_{\text{podlahy}} = \frac{\lambda_{\text{zeminy}}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2}{0,457 \cdot 1,196 + 1,83} = \mathbf{0,8423 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

4.4.3. Oddělovací příčka vytápěného prostoru z nevytápěného

Přestup tepla mezi vytápěným a nevytápěným prostorem v tomto objektu je zejména přes vnitřní zdi oddělovací WC a chodbu se spíží, chodbu (1. patro) a pokoj č.1 s půdou.

Skladba vnitřních zdí je uvedena v tabulce 4.4. .

Tab. 4.4. : Skladba příčky

Materiál	l[m]	λ [W/mK]	R[m ² K/W]
Vápenná omítka	0,015	0,88	0,02
Pálená cihla	0,15	0,78	0,19
Vápenná omítka	0,15	0,88	0,17

Další potřebné hodnoty pro výpočet součinitele prostupu tepla jsou vnější a vnitřní tepelné odpory při přestupu tepla. Směr tepelného toku vzhledem ke zdem je vodorovný, proto na základě normy ČSN EN ISO 6946 [27] je zvoleno: $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ a $R_{si} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

$$U_{\text{příčky}} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{1}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + (0,017 + 0,192 + 0,17) + 0,04}$$

$$\mathbf{U_{\text{příčky}} = 1,82 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

4.4.4. Střecha

Jelikož nejsou dostupné žádné údaje o skladbě střechy bude se počítat se součinitelem prostupu tepla $\mathbf{U_{\text{střecha}} \approx 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}}$.

4.4.5. Okna a balkonové dveře

Okna jsou v plastovém provedení a podle výrobce mají hodnotu $U_{\text{okna}} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Okna a dveře jsou tvořeny dvojskly a dvojitým těsněním. Mají 4 vzduchové komory uvnitř rámu.

4.4.6. Vchodové dveře

Dveře jsou také ve plastovém provedení a dle normy ČSN 730540-3 (Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin) je požadovaná minimální hodnota součinitele prostupu tepla U ($\text{W/m}^2\text{K}$) je pro dveřní výplň otvoru včetně rámu z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $U_{\text{dveře}} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ [34].

4.5. Vlastní výpočet tepelných ztrát

Celková tepelná ztráta objektu byla vypočtena dle normy ČSN EN 12 831. Výpočet byl proveden jen pro jednu místnost ale postup je analogický i pro zbývající místnosti.

Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru Φ_i [W] je dána součtem tepelné ztráty prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ [W] a tepelné ztráty větráním $\Phi_{V,i}$ [W] :

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$$

4.5.1. Tepelná ztráta prostupem

Tepelná ztráta prostupem se počítá podle následujícího vzorce :

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (T_i - T_e)$$

Kde:

- $H_{T,ie}$ [W/K] je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí
- $H_{T,iue}$ [W/K] je součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do nevytápěného

- $H_{T,ig}$ [W/K] je součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy
- $H_{T,ij}$ [W/K] je součinitel tepelné ztráty prostupem do nevytápěného prostoru
- T_i [°C] je vnitřní výpočtová teplota
- T_e [°C] je venkovní výpočtová teplota

Pro výpočet součinitele $H_{T,ie}$ do venkovního prostředí využijeme zjednodušenou metodu výpočtu dle normy ČSN EN 12 831, která zahrnuje vliv lineárních tepelných mostů pomocí korigovaného součinitele prostupu tepla U_{kc} .

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}$$

Kde :

- U_{kc} [W/m²K] je korigovaný součinitel prostupu tepla
- U_k [W/m²K] je součinitel prostupu tepla dané konstrukci
- ΔU_{tb} [W/m²K] je korekční součinitel, který závisí na druhu stavební části [24]

Hodnota korekčního součinitele ΔU_{tb} se volí dle tabulky 4.5. .

Tab. 4.5.: Hodnoty korekčního součinitele dle [24]

Plocha stavební části [m ²]	Δu_{tb} [W/m ² K]
0-2	0,5
> 2 - 4	0,4
> 4 - 9	0,3
> 9 - 20	0,2
> 20	0,1

Zjednodušený vztah pro výpočet tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí :

$$H_{T,ie} = \sum A \cdot U_{kc} \cdot e_k = A_{obvod} \cdot (U_{obvod} + \Delta U_{tb}) \cdot e_k + A_{oken} \cdot (U_{okna} + \Delta U_{tb}) \cdot e_k$$

Hodnota korekčního činitele vystavení povětrnostním vlivům jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru e_k se volí rovná 1.

$$H_{T,ie} = 18,1 \cdot (0,32 + 0,2) \cdot 1 + 4,5 \cdot (1,5 + 0,3) \cdot 1 = 17,51 \frac{W}{K}$$

4.5.2. Tepelná ztráta prostupem do venkovního prostředí :

$$\Phi_{T,ie} = H_{T,ie} \cdot (T_i - T_e) = 17,51 \cdot (21 - (-15)) = 647,54 W$$

4.5.3. Tepelná ztráta nevytápěným prostorem :

Součinitel prostupu tepla se vypočítá podle následujícího vztahu :

$$H_{T,iue} = \sum S \cdot U_{kc} \cdot b_u$$

Kde :

b_u je redukční součinitel, který zahrnuje rozdíl teplot mezi vytápěným a nevytápěným prostorem a venkovní návrhovou teplotou.

$$b_u = \frac{T_i - T_u}{T_i - T_e} = \frac{22 - 18}{22 - (-15)} = 0,108$$

Jelikož typová místnost (kuchyň) je vedle chodby, která se vytápí na 18°C, bude probíhat prostup tepla z jedné místnosti do druhé.

$$H_{T,iue} = (2 \cdot 2,6) \cdot 2,02 \cdot 0,108 = 3,8586 W/K$$

Tepelná ztráta bude :

$$\Phi_{T,iue} = H_{T,iue} \cdot (T_i - T_e) = 3,858 \cdot (22 - 18) = 15,43 W$$

4.5.4. Tepelná ztráta prostupem do země :

Norma ČSN EN 12 831 se řídí při výpočtu tepelné ztráty do zeminy normou ČSN EN ISO 13 370. V této normě je popsán jak podrobný, tak i zjednodušený výpočet, který je dále uveden.

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum S \cdot U_{equiv} \right) \cdot G_w$$

Kde :

- f_{g1} je korekční součinitel, který zahrnuje roční změny teplot
- f_{g2} je korekční součinitel, který zahrnuje rozdíl roční průměrné venkovní teploty T_p a výpočtové venkovní teploty T_e . Je určen pomocí následujícího vztahu :

$$f_{g2} = \frac{T_i - T_p}{T_i - T_e}$$

- U_{equiv} [W/m²K] je ekvivalentní součinitel prostupu tepla
- $G_w = 1$ je korekční součinitel zohledňující vliv podzemní vody

Pro danou místnost :

$$f_{g2} = \frac{T_i - T_p}{T_i - T_e} = \frac{22 - 7,5}{22 - (-15)} = \mathbf{0,39}$$

$$f_{g1} = 1,45 \text{ dle normy ČSN EN 12 831}$$

$$U_{equiv} = U_{zeminy} = 0,84 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum S \cdot U_{equiv} \right) \cdot G_w = 1,45 \cdot 0,39 \cdot 18,9 \cdot 0,84 \cdot 1 = \mathbf{9,055 \text{ W/K}}$$

$$\Phi_{T,ig} = H_{T,ig} \cdot (T_i - T_e) = 3,858 \cdot (22 - (-15)) = \mathbf{335,05 \text{ W}}$$

4.5.5. Tepelná ztráta z vytápěného prostoru do sousedního prostoru:

Jelikož se celý objekt vytápí přibližně na stejné teploty (22 ° C), nebude tato tepelná ztráta významná.

Celková tepelná ztráta prostupem této místnosti je :

$$\Phi_{T,i} = \Phi_{T,ie} + \Phi_{T,iue} + \Phi_{T,ig} = 647,54 + 15,43 + 335,05 = \mathbf{998 \text{ W}}$$

V tabulce 4.6. jsou uvedeny ztráty prostupem všech místností.

Tab. 4.1.: Tepelné ztráty prostupem

Tepelné ztráty prostupem				
	$\Phi_{T,ie}$ [W]	$\Phi_{T,iue}$ [W]	$\Phi_{T,ig}$ [W]	Celková ztráta prostupem [W]
Předsíň	552,73	149,84	106,25	808,82
WC	98,15	163,98	17	279,13
Chodba(přízemí)	253,43	114,58	79	447,01
Špíz	182,4	46,14	11,75	240,29
Kuchyň	647,54	15,43	335	997,97
Koupelna	260,5	35,25	91,1	386,85
Ložnice	461,48	142,77	327,26	931,51
Chodba(1. patro)	338,21	149,84	0	488,05
Pokoj č.1	305,14	149,84	0	454,98
Pokoj č.2	422,7	142,77	0	565,47
Půda	394,6	42	0	436,6
Střecha	3225			
Celková ztráta prostupem objektu [W]				9261,68

4.6. Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním je počítána dle následujícího vzorce:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (T_i - T_e)$$

Kde :

- $H_{V,i}$ [W/K] je součinitel tepelné ztráty větráním

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním závisí na výměně vzduchu, na hustotě vzduchu a na jeho měrné tepelné kapacitě dle následujícího vztahu:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i$$

Kde :

- \dot{V}_i [m³/sec] je výměna vzduchu ve vytápěném prostoru

Hodnota výměny vzduchu vytápěného prostoru \dot{V}_i , jež je užitá pro výpočet součinitele návrhové tepelné ztráty větráním, se určí jako maximální hodnota z výměny vzduchu infiltrací

V_{inf} spárami a styky obvodového pláště budovy a z minimální výměny vzduchu V_{min} , která je nezbytná z hygienických důvodů:

$$V_i = \max(V_{inf}; V_{min})$$

Hygienické množství vzduchu V_{min}

Minimální množství vzduchu je požadováno z hygienických důvodů a dle normy ČSN EN 12 831 je jej možné vypočítat dle vztahu:

$$V_{min} = n_{min} \cdot V_i$$

Kde :

- n_{min} [h^{-1}] je minimální intenzita výměny vzduchu

Pro běžné obytné prostory se n_{min} volí $0,5 h^{-1}$ a pro koupelny s okny nebo kuchyně se n_{min} volí $1,5 h^{-1}$.

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy V_{inf}

Množství vzduchu infilrací vytápěného prostoru, jenž je způsobeno účinkem větru a vztlaku na plášť budovy, lze spočítat následovně:

$$V_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

Kde :

- V_i [m^3] je objem vytápěné místnosti
- N_{50} [h^{-1}] je intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaku 50 Pa
- e_i [-] je stínící součinitel
- ε_i [-] je korekční výškový součinitel

Hodnota stínícího součinitele e_i se volí 0,02 a hodnota korekčního výškového součinitele ε_i je rovna 1.

Tepelná ztráta větráním viz. Příloha 1.

4.7. Celková tepelná ztráta

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} = 9261,7 + 3099,6 = 12360,6 \text{ W} \cong \mathbf{12,5 \text{ kW}}$$

Z předchozího výpočtu je patrné, že celková tepelná ztráta tohoto objektu činí 12,5 kW. Tato ztráta se skládá ze ztráty prostupem tepla (74 % celkové ztráty) a ze ztráty větráním (26 % celkové ztráty).



Graf 4.1.: Skladba tepelných ztrát objektu

4.8. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY S ON-LINE KALKULAČKAMI

Na internetu lze nalézt velké množství kalkulaček pro spočítání tepelné ztráty budovy, nejčastěji rodinného domu. Je jich poměrně velké množství, avšak způsobem výpočtu a výsledky se od sebe liší.

4.8.1. Kalkulačka webu Vytápění.cz

Tato kalkulačka je poměrně jednoduchá a dokonce je uvedena jako odhadová [59]. Vstupy, které musí uživatel volit, jsou:

- Lokalita budovy
- Venkovní vypočtová teplota
- Střední venkovní teplota topného období
- Počet dnů topného období
- Poloha objektu
- Prosklení objektu
- Průměrná vnitřní teplota

- Vytápěná plocha objektu
- Konstrukční výška

Výstupy kalkulačky můžeme vidět v následující tabulce

Tab. 4.7.: Výstupy kalkulačky z vytápění.cz

Typ objektu	Tepelná ztráta objektu [kW]
Pasivní dům	1,2
Nízkoenergetický dům	3,6
Dům, jehož tepelné vlastnosti splňují současné požadavky	11
Dům, jehož tepelné vlastnosti odpovídají letem 1993-2003	12,9
Dům, jehož tepelné vlastnosti odpovídají letem před 1993	15,4

Řešený dům byl postaven před rokem 1993, ale v roce 2010 byl zateplen polystyrenem a vyměnily se dřevěná okna a vchodové dveře na plastové, tak lze říci, že jeho tepelné vlastnosti odpovídají letem 1993-2003. Z předchozí tabulky je vidět, že tepelná ztráta pro takový objekt je kolem 12,9 kW. Jestli tuto hodnotu porovnáme s vypočtenou tepelnou ztrátou ($\approx 12,5$ kW), můžeme vidět, že se liší pouze o 0,4 kW.

4.8.2. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám – TZB-info

Jedná se o zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy [60]. V porovnání s kalkulačkou na Vytápění.cz má mnohem více vstupů, které uživatel může ovlivnit a tím pádem co nejvíce přizpůsobit budově, jejíž tepelnou ztrátu potřebuje znát.

Nejdříve se určí poloha, kde se budova nachází. Kalkulačka na to zareaguje tím, že sama zvolí venkovní výpočtovou teplotu, průměrnou venkovní teplotu a délku otopného období

Hlavním rozdílem této kalkulačky oproti předchozí on-line kalkulačce je tabulka, do které uživatel blíže specifikuje parametry jednotlivých ochlazovaných konstrukcí.

Výstupem této kalkulačky byla tepelná ztráta, která se rovná 12,3 kW.

Tato hodnota je přesnější a to díky většímu počtu vstupu. I když rozdíl těchto dvou kalkulaček není nějak výrazný, v případě určení tepelné ztráty pouze pomocí on-line kalkulaček, byla by vhodnější kalkulačka z TZB-info.

Tepelná ztráta, která byla určena normou ČSN EN 12 831 se zanedbatelně liší od hodnot určených pomocí kalkulaček, tak můžeme říct, že tepelná ztráta odpovídá realitě.

5. Roční potřeba tepla

Pro určení spotřeby tepla na vytápění v dané otopné sezóně se používá charakteristika počet denostupňů, na základě které lze také provést porovnávání intenzity jednotlivých zimních období mezi sebou. Počet denostupňů otopného období vychází z počtu topných dní a rozdílu průměrné venkovní teploty v topných dnech a průměrné vnitřní teploty. V následující tabulce 5.1 jsou vidět základní údaje otopného období [31].

Tab. 5.1.: Základní údaje otopného období

Lokalita	Nadmořská výška h [m]	Venkovní výpočtová teplota t_e [°C]	Otopné období pro $t_{em}=15^\circ\text{C}$	
			t_{es} [°C]	d [dny]
Rakovník	332	-15	13	250

5.1. Klimatické denostupně

Dalším krokem k zjištění roční potřeby tepla je analýza pomocí denostupňové metody.

K výpočtu potřebujeme hodnoty denostupňů po měsících pro klimatický normál. Základem metody je znalost průběhů venkovních teplot z meteorologických dat [31]. Výpočet se provádí pomocí denních průměrných teplot venkovního vzduchu, které jsou vidět v tabulce 5.2.

Tab. 5.2. : Údaje o teplotách v okrese Rakovník v roce 2020

Kraj (Okres)		měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Středočeský (Rakovník)	T	1,4	4,8	4,6	10,1	11,7	17	18,7	19,6	14,8	9,6	4,4	2,5	9,9
	N	-1,2	-0,2	3,7	8,6	13,7	16,5	18,5	18	13,5	8,7	3,4	-0,1	8,6
	O	2,6	5	0,9	1,5	-2	0,5	0,2	1,6	1,3	0,9	1	2,6	1,3

Kde :

- T [°C] je teplota vzduchu
- N [°C] je dlouhodobý normál teploty vzduchu v období 1981-2012
- O [°C] je odchylka od normálu

V následující tabulce 5.3. jsou vidět základní parametry pro výpočet denostupňů a počet denostupňů pro každý měsíc a celkem (teploty jsou průměrem průměrných teplot posledních 20 let).

Základní výpočtový vztah denostupňů:

$$D_{tis}^{\circ} = d \cdot (t_{is} - t_{es})$$

Tab. 5.3.: Základní údaje a denostupně

Měsíc	Průměrná max. T [C°]	Průměrná min. T [C°]	průměrná T [C°]	Denostupně [-]	Topné dny [-]	Vnitřní průměrná T [C°]
Leden	2	-3	-0,5	666,5	31	21
Únor	4	-3	0,5	574	28	21
Březen	8	0	4	527	31	21
Duben	14	4	9	360	30	21
Květen	18	8	13	248	31	21
Červen	21	11	16	0	0	21
Červenec	23	13	18	0	0	21
Srpen	24	13	18,5	0	0	21
Září	19	9	14	210	30	21
Říjen	15	5	10	341	31	21
Listopad	8	2	5	480	30	21
Prosinec	3	-1	1	620	31	21
Denostupně celkem				4026,5		

5.2. Potřeba tepla na vytápění a ohřevu TUV

5.2.1. Potřeba tepla na vytápění

Výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody počítá celkovou roční potřebu energie na vytápění a ohřev vody v MWh/rok dle lokality, venkovní výpočtové teploty, délky otopného období a dalších okrajových podmínek [35].

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_{es})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

Kde :

- Q_c je tepelná ztráta objektu [kW]
- $Q_{VYT,r}$ je potřeba tepla na vytápění [J]

- t_{is} je vnitřní výpočtová teplota [°C]
- t_{es} je vnější průměrná teplota [°C]
- D je počet denostúpňů [-]
- ϵ je opravný součinitel [-]
- η_o je účinnost regulace [-]
- η_r je účinnost rozvodů [-]

Součinitel ϵ se volí podle typu staveb a jejich provozu. Pro náš případ je to pro stavby střední s krátkými otopnými přestávkami a součinitel ϵ se rovná 0,765.

Účinnost regulace η_o se volí v rozmezí 0,9 pro kotelnu na pevná paliva bez rozdělení kotelny na sekce až po 1 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí.

Účinnost rozvodů η_r se volí v rozmezí 0,95 až 0,98 podle provedení.

Q_c se rovná předem vypočtené tepelné ztráty objektu (12,5 kW).

$$Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_{es})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 12,5 \cdot 250}{(21 - 4)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 108,1 \frac{\text{GJ}}{\text{r}} = \mathbf{30 \frac{\text{MWh}}{\text{r}}}$$

5.2.2. Potřeba tepla na ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600}$$

Kde :

- $Q_{TUV,d}$ je denní potřeba tepla na ohřev vody [kWh]
- z je koeficient energetických ztrát systému [-]
- ρ je hustota vody [kg/m³]
- c je měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]
- V_{2p} je potřebný objem teplé vody za den [m³]

- t_1 je teplota studené vody [°C]
- t_2 je teplota ohřáté vody [°C]

U staveb pro bydlení uvažujeme potřebný objem teplé vody $0,082 \text{ m}^3/(\text{osobu den})$. Jelikož v tomto rodinném domě budou bydlet 4 osoby V_{2p} bude přibližně $0,3 \text{ m}^3/\text{den}$.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,3 \cdot (55 - 10)}{3600}$$

$$= 26,7 \text{ kWh/den}$$

Jelikož $Q_{TUV,d}$ je denní potřeba tepla na ohřev teplé vody, roční potřebu určíme pomocí následujícího vztahu [36] :

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_1 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

Kde :

- $Q_{TUV,d}$ je denní potřeba tepla pro ohřev vody [kWh]
- d je délka otopného období [dny]
- t_{svl} je teplota studené vody v letě [°C]
- t_{svz} je teplota studené vody v zimě [°C]
- N je počet pracovních dní soustavy v roce [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \frac{t_2 - t_{svl}}{t_1 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

$$= 25,7 \cdot 250 + 0,8 \cdot 25,7 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 250) = 26,7 \frac{\text{GJ}}{\text{r}} = 7,6 \frac{\text{MWh}}{\text{r}}$$

Celková potřeba tepla :

$$Q_r = Q_{VTP,r} + Q_{TUV,r} = 30 + 7,6 = 37,6 \frac{\text{MWh}}{\text{r}}$$

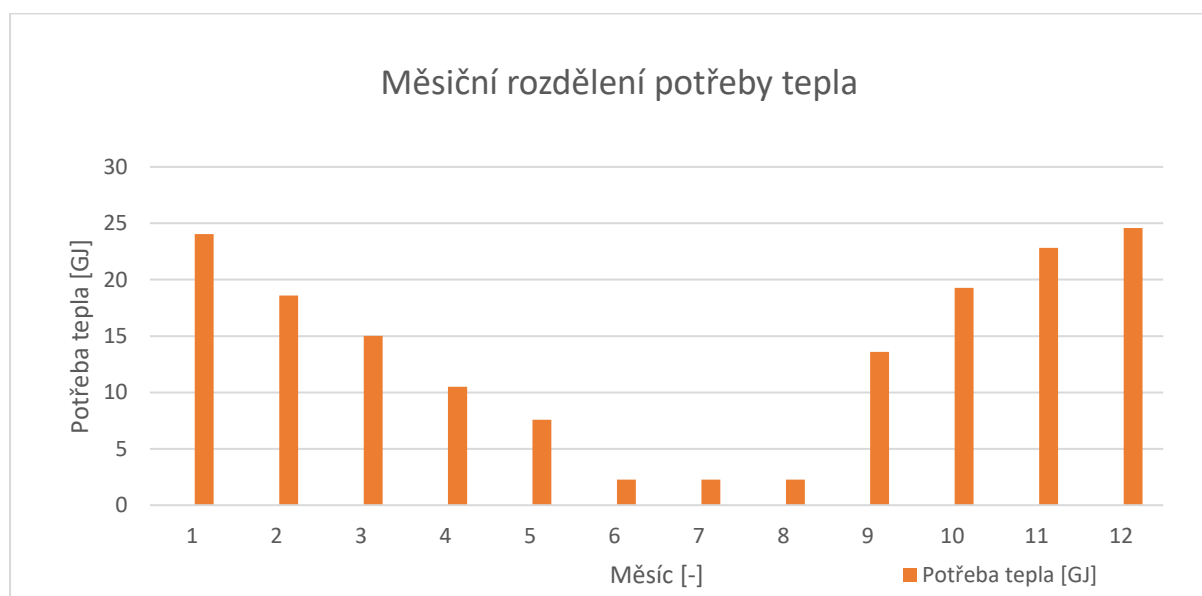
Pro dany objekt se navrhne 5 variant zdrojů tepla. Celková tepelná ztráta činí $12,5 \text{ kW}$ a celková roční potřeba tepla je $37,6 \text{ MWh/r}$.

Celková potřeba tepla pro dany rodinný dům je vidět v tabulce 5.4. :

Tab. 5.4. : Bilance potřeby tepla

Bilance potřeby tepla	
Potřeba tepla na vytápění Q_{vyt} [GJ]	108,1
Potřeba tepla na ohřev TUV Q_{TUV} [GJ]	26,7
Součet [GJ]	134,8

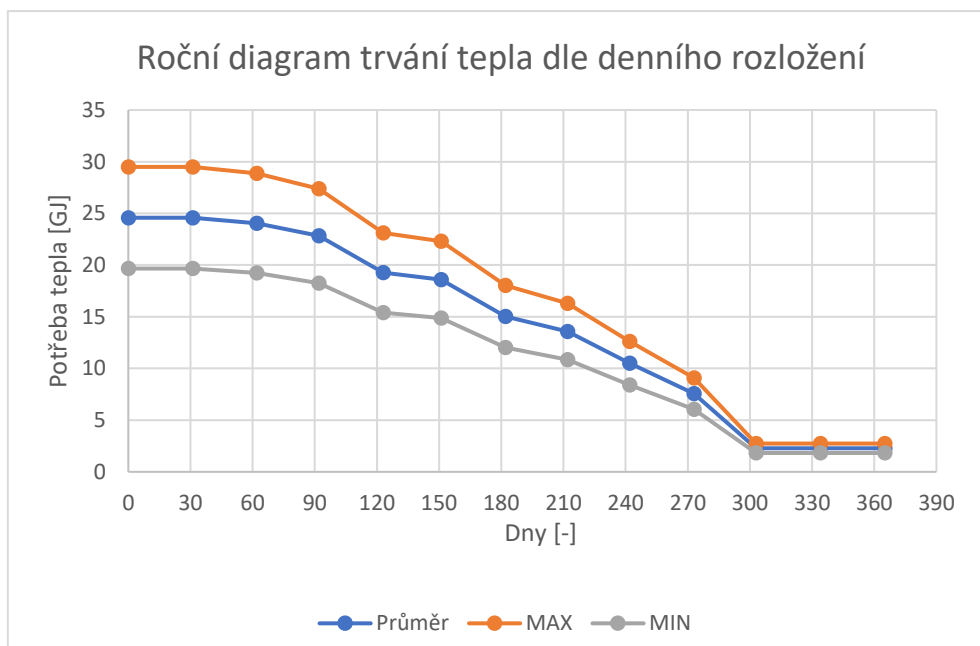
Pomocí denostupňů byly zjištěny potřeby tepla pro každý měsíc. Jednotlivé potřeby jsou vidět v následujícím grafu 5.1. .



Graf 5.1. : Měsíční rozdělení potřeby tepla

Dalším užitečným grafem je graf 5.2., kde vidíme roční trvání potřeby tepla dle denního rozložení. V tomto grafu je vidět průměrná potřeba tepla.

V praxi ale obvykle u maximální potřeby tepla dosahujeme 1,2-2,5 násobku průměrné potřeby tepla a pro minimum 0-0,7 násobku průměru. To zaleží na velikosti objektu a na instalovaném výkonu. Proto jsou v grafu zahrnuté maximální (x1,2) a minimální (x0,7) hodnoty potřeby tepla.



Graf 5.2 : Roční diagram trvání tepla

6. Návrh způsobu vytápění

Minimální výkon zdroje na vytápění musí se rovnat tepelné ztrátě objektu, která je 12,5 kW. Jelikož budeme ale stejným zdrojem ohřívat i teplou vodu, je nutné aby navržený zdroj měl o něco větší výkon než je tepelná ztráta. Proto bude výkon dále navržených zdrojů minimálně 14 kW.

6.1. Zemní plyn

Pro první variantu vytápění tohoto rodinného domu byl vybrán plynový kondenzační kotel. Kondenzační kotel oproti kotlům bez kondenzace využívá i latentní teplo obsažené ve spalinách, které normální kotle nevyužívají. Proto mají kondenzační kotle vyšší účinnosti. Latentní teplo ze spalin odebírají tak, že pokud je teplota zpáteční vody nižší než teplota rosného bodu spalin, zpáteční voda začne odebírat teplo ze spalin, ty předají svoje latentní teplo obsažené ve vodní páře a zkondenzují. [37]

Zdroj tepla se navrhuje na celkový instalovaný výkon v objektu, potřebný instalovaný výkon v objektu je 14 kW. Při hledání zdroje jsem hledal kotel s co nejnižším výkonem, který by vyhověl požadovanému výkonu. Vybral jsem kotel GC2300iW 15 P23 od výrobce Bosch s maximálním výkonem 15 kW, který má regulační schopnost od 13% maximálního výkonu. Sezonní účinnost plynového kotle je 93%. [50]



Obr. 6.1. : BOSCH GC2300iW 15 P23 [50]

Při zjišťování potřeby paliva, budu určovat potřebné množství m^3 zemního plynu, které je potřeba pro uhrazení skutečné potřeby tepla za otopné období.

$$U_p = \frac{Q_d}{H_u \cdot \eta_s}$$

Kde :

- U_p je skutečná potřeba paliva [m^3]
- Q_d je teoretická potřeba tepla [J]
- H_u je výhřevnost zemního plynu [kJ/m^3]
- η_s je sezonní účinnost kotle [%]

Ve výpočtu jsem uvažoval s výhřevností zemního plynu $33,48 MJ/m^3$ a skutečnou potřebou tepla $134,8 GJ/rok$. Potřeba paliva vyšla $4350 m^3$ zemního plynu.

6.2. Elektřina

6.2.1. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Dle potřebného výkonu je vybráno tepelné čerpadlo VISSMANN VITOCAL 100-A. Tepelné čerpadlo bude fungovat s výstupní teplotou $T_v = 55^\circ\text{C}$. Jmenovitý výkon čerpadla je 15,6 kW a topný faktor může dosáhnout hodnoty 4,5.

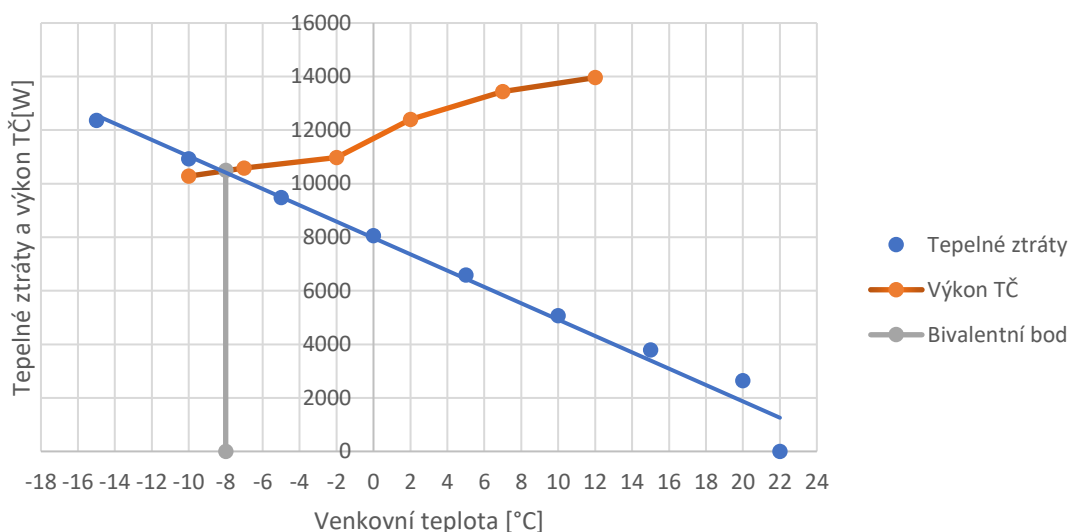


Obr. 6.2. : TČ Vitocal 100-A [51]

Stanovení bivalentního bodu

Výkon tepelného čerpadla vzduch-voda se mění dle teploty exteriéru. Pro model VITOCAL 100-A AWO-M-AC 101.A12 vychází bivalentní bod kolem -2°C , což je poměrně vysoká teplota a tím by se prodražil provoz kvůli častému zapojování druhého zdroje. Pro tepelné ztráty objektu vychází efektivnější model VITOCAL 100-A AWO-M-AC 101.16, jehož bivalentní bod

vychází kolem -8°C jak je vidět z následujícího grafu 6.1. . Jmenovitý výkon tepelného čerpadla je 15,6 kW. [51]



Graf 6.1. : Stanovení bivalentního bodu TČ

Stanovení spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřev TUV pro tepelné čerpadlo vzduch-voda

Roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV: $Q_r = 37,6 \text{ MWh}$. Abychom dostali spotřebu elektřiny tepelného čerpadla pro pokrytí této potřeby tepla musíme vzít v úvahu i topný faktor TČ. Topný faktor (COP) je ukazatelem účinnosti tepelného čerpadla. Jednoduše řečeno, je to poměr mezi získanou tepelnou energií a spotřebovanou energií tepelným čerpadlem.

Topný faktor zpravidla bývá v rozpětí od 2 do 4 u tepelných čerpadel vzduch–voda a od 3 do 5 u tepelných čerpadel země–voda.

Topný faktor se v průběhu roku mění. Je závislý na teplotě okolního prostředí, ze kterého tepelné čerpadlo teplo odebírá i na teplotě vody (tzv. výstupní teplotě), která vyhřívá daný objekt prostřednictvím radiátorů nebo podlahového vytápění. Obecně platí, že tepelné čerpadlo vyrobí teplo výhodněji při menších mrazech a nižší výstupní teplotě. [21]

V následující tabulce 6.1. můžeme vidět potřebu tepla pro vytápění a ohřev TUV pro každý měsíc, spotřebu elektrické energie TČ a celkové roční náklady na vytápění. Potřeba tepla byla

rozdělena podle počtů denostupňů a COP se rovná podílu potřeby tepla na vytápění a spotřebou elektrické energie TČ.

Tab. 6.1. : Spotřeba TČ

Měsíc	Vytápění[MWh]	průměrná teplota [°C]	COP[-]	Spotřeba TČ [MWh]
Leden	6,7	-0,5	2,3	2,9
Únor	5,2	0,5	2,7	1,9
Březen	4,2	4,0	2,7	1,5
Duben	2,9	9,0	3,1	0,9
Květen	2,1	13,0	3,6	0,6
Červen	0,6	16,0	3,6	0,2
Červenec	0,6	18,0	3,6	0,2
Srpen	0,6	18,5	3,6	0,2
Září	3,8	14,0	3,6	1,1
Říjen	5,4	10,0	3,1	1,7
Listopad	6,3	5,0	2,7	2,3
Prosinec	6,8	1,0	2,7	2,5
Spotřeba celkem [MWh]				16,0

6.2.2. Elektrokotel

Z možností vytápění elektrickou energií jsem zvolil závěsný elektrokotel, a to od firmy Protherm –RAY 14 KE. Celá soustava je řízena signálem HDO, což poskytuje vysoký komfort. Nastavitelný výkon se pohybuje mezi 2,3 – 14 kW. Ve výsledku se jedná o zcela bezobslužný provoz. Technický list elektrického kotle viz. [52]



Obr. 6.3. : Elektrokotel RAY 14 KE 1 [57]

Očekávaná roční spotřeba je 37,6 MWh/rok.

6.3. Biomasa

Biomasa je označení pro všechnu organickou hmotu na planetě, biologické palivo je dřevní hmota ve formě briket, pelet, štěpků nebo kusového dřeva. Její výhodou je vyrovnaná bilance oxidu uhličitého a dostupnost. Výhřevnost závisí hlavně na procentuálním hmotnostním podílu vody v hmotě.

Pro případ vytápění biomasou, budou se řešit dvě varianty :

- Vytápění dřevní štěpkou
- Vytápění pelety

Vytápění štěpkou :

Pro vytápění dřevní štěpkou jsem si vybral kotel zplyňovací VERNER V140 EXTRA s jmenovitým výkonem 14kW od výrobce VERNER SK s.r.o. . Kotel dosahuje účinnosti až 91% a má široký rozsah regulovatelnosti (50-100%) . Sezonní účinnost tohoto kotle je 78% a třída energetické účinnosti je A+. Technický list viz. [53]



Obr. 6.4. : Kotel VERNER V140 EXTRA [53]

Vytápění pelety :

Pro případ vytápění pelety byl vybrán teplovodní kotel ATMOS D 14 P s automatickou dodávkou paliva od výrobce ATMOS s.r.o. . Kotel má jsmenovitou účinnost až 90% a výkon 4-14kW. Sezonní účinnost činí 78% a třída energetické účinnosti tohoto kotle je A+. Technický list viz. [54]



Obr. 6.5. : Kotel ATMOS D 14 P [54]

6.4. Kotel na uhlí

Dle doporučení uživatelů, pro spalování hnědého uhlí jsem vybral univerzální litinový zplyňovací kotel od firmy VIADRUS U 22 16 kW. Kotel je určen pro spalování hnědého uhlí, alternativním palivem je černé uhlí a palivové dřevo. Kvalitní regulace umožňuje spalovat s vysokou účinností i při sníženém výkonu. Výrobce uvádí účinnost až 89%. Kotel spadá do 5. emisní třídy dle EN 303-5. Sezonní účinnost tohoto kotle je 79%. Technický list viz. [55].



Obr. 6.6. : VIADRUS U 22 16 kW [55]

Roční potřeba tuhých paliv (štěpka, pelety a hnědé uhlí) se určí v následující kapitole, kde pomocí stechiometrických rovnic a reálného prvkového složení paliv určíme jejich reálnou výhřevnost.

7. Porovnání zdrojů vytápění z emisního hlediska a určení reálné výhřevnosti tuhých paliv

Dalším krokem této práce je zjistit produkci CO_2 při spalování předtím zjištěných množství paliva. Jelikož pro tepelné čerpadlo a elektrokotel se používá elektřina, pro určení produkci CO_2 využijeme produkci CO_2 při výrobě elektřiny v českých elektrárnách.

7.1. Výpočet emisí CO₂ pomocí stechiometrických rovnic

Pro výpočet emisí CO₂ produkovaných při spálení 1 kg (m_n³) paliva použijí stechiometrické rovnice. Pomocí stechiometrických rovnic dokáží zjistit přesný objem spalin vzniklých při dokonalém spálení paliva. Pro náš další postup výpočtů je důležitá pouze hodnota objemu oxidu uhličitého a výhřevnost pro tuhá a kapalná paliva, a hodnota pro plynná paliva.

Mezi naše neznámé vystupujících v stechiometrických rovnicích jsou složky použitých paliv a jejich hmotnostní procenta. Složení tuhých paliv je v katalogích často uváděno v různých stavech, které jsou označovány jako stav bez vody a popela (dry ashfree – daf), stav bezvodný (dry – d) a stav původní (real – r). Hodnoty uváděné v stechiometrických rovnicích musí být ve stavu původním. Následující vztahy nám umožní tento původní stav určit. Hodnoty pro plynná paliva není nutné takto převádět, jelikož v našem případě je zemní plyn tvořen alkany, se kterými stechiometrické rovnice pro plynná paliva pracují. [41]

$$A^r = A^d \cdot (1 - W^r)$$

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - A^r - W^r)$$

$$H^r = H^{daf} \cdot (1 - A^r - W^r)$$

$$S^r = S^{daf} \cdot (1 - A^r - W^r)$$

$$N^r = N^{daf} \cdot (1 - A^r - W^r)$$

$$O^r = O^{daf} \cdot (1 - A^r - W^r)$$

$$S^{daf} = \frac{S^d(1 - W^r)}{1 - A^r - W^r}$$

7.1.1. Stechiometrické rovnice pro tuhá paliva

Minimální objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva :

$$O_{o2min} = 22,39 \cdot \left(\frac{C^r}{12,1} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,06} + \frac{O^r}{32} \right) [m_n^3/kg]$$

Minimální objem suchého vzduchu potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva :

$$O_{vsmin} = \frac{O_{o2min}}{0,21} \text{ [m}_n^3/\text{kg]}$$

Objem suchých spalin :

$$O_{ssmin} = O_{co2} + O_{so2} + O_{N2} + O_{Ar} \text{ [m}_n^3/\text{kg]}$$

Objem oxidu uhličitého :

$$O_{co2} = \frac{22,26}{12,01} \cdot C^r + 0,0003 \cdot O_{vsmin} \text{ [m}_n^3/\text{kg]}$$

7.1.2. Stechiometrické rovnice pro plynná paliva

Minimální objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 m_n³ plynu :

$$O_{o2min} = 0,5 \cdot O_{H2} + 0,5 \cdot O_{CO} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot O_{CmHn} - O_{o2} \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$$

Minimální objem suchého vzduchu potřebný pro dokonalé spálení 1 Nm³ plynu:

$$O_{vsmin} = \frac{O_{o2min}}{0,21} \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$$

Objem suchých spalin :

$$O_{ssmin} = O_{co2} + O_{so2} + O_{N2} + O_{Ar} \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$$

Objem oxidu uhličitého :

$$O_{co2} = o_{co2} + 0,994 \cdot (o_{co} + \sum m \cdot o_{CmHn}) + 0,0003 \cdot O_{vsmin} \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$$

7.2. Chemické složení paliv

V následujících tabulkách 7.1. a 7.2. můžeme vidět chemické složení řešených paliv, potřebné pro výpočet emise CO₂ při spalování.

Tab. 7.1. : Chemické složení a spalné teplo hnědé uhlí, peletů a dřevní štěpky [42], [44], [45], [56]

Prvek	Palivo		
	Reálný stav		
	Hnědé uhlí	Pelety	Dřevní štěpka
C-uhlík [%]	41,2	47,1	26
O-kyslík [%]	11,9	38,5	20,3
H-vodík [%]	3,4	6,3	3
N-dusík [%]	0,6	0,3	0,1
S-síra [%]	1,2	0	0,3
W-voda [%]	28	7,3	50
A-popelovina [%]	14,8	0,2	0,4
Spalné teplo [kJ/kg]	17286	18445	9887
Spalné teplo hořlaviny [kJ/kg]	30200	19934	19934

Tab. 7.2. : Chemické složení zemního plynu [43]

Zemní plyn	
CH ₄ -metan	98,39%
C ₂ H ₆ -etan	0,44%
C ₃ H ₈ -propan	0,16%
C ₄ H ₁₀ -butan	0,07%
C ₅ H ₁₂ -pentan	0,03%
N ₂ - dusík	0,84%
CO ₂ - oxid uhličitý	0,07%

7.3. Reálná výhřevnost tuhých paliv

Na výhřevnost tuhých paliv hraje velkou roli i obsah vody. Výhřevnost dřeva (a dřevní štěpky) například se běžně uvádí při jeho vlhkosti kolem 25 % (za půl roku po kácení, syrové má přes 50 %), kdy má výhřevnost kolem 13 MJ/kg. Pokud toto dřevo necháme však schnout ještě další rok, můžeme se dostat až na 15 % vlhkosti, a tím zvýšíme jeho výhřevnost na 15 MJ/kg, tedy o 15 %. Navíc i české kvalitní hnědé uhlí pro domácnosti má podle těžební lokality výhřevnost od 16 MJ/kg do 18 MJ/kg a obsahuje od 10 % do 30 % vody. Z toho vyplývá jediné – nakupováním kvalitního uhlí a biopaliv a jejím skladováním v suchých a větraných prostorách, můžeme částečným vyschnutím jím zvýšit výhřevnost. V tabulce 8.1. můžeme

vidět rozdíl spalných tepel tuhých paliv v reálném stavu a ve stavu kde máme pouze hořlavinu (tj. bez vody a popela).

Reálnou výhřevnost předem zmíněných paliv můžeme určit přepočtem ze spalného tepla pomocí vzorce [41] :

$$Q_i^r = Q_s^r - 2453 \left(\frac{W^r}{100} + 8,94 \cdot \frac{H^r}{100} \right) \text{ [kJ/kg]}$$

Kde :

- Q_i^r je výhřevnost paliva [kJ/kg]
- Q_s^r je spalné teplo paliva [kJ/kg]
- Hodnota 2453 je latentní teplo vody
- W^r je obsah vody v palivu v reálném stavu [%]
- H^r je obsah vodíku v palivu v reálném stavu [%]

Výsledné reálné výhřevnosti řešených tuhých paliv s prvkovým složením podle tabulky 8.1. jsou vidět v tabulce 7.3. .

Tab. 7.3. : Reálné výhřevnosti tuhých paliv

Palivo-reálný stav	Výhřevnost Q_{ir} [MJ/kg]
Hnědé uhlí	15847
Pelety	16877
Dřevní štěpka	8003

Podle těchto výhřevností jsme teď schopní určit reálnou potřebu paliva pro pokrytí energetických potřeb řešeného objektu.

7.4. Roční potřeba tepla tuhých paliv

Roční potřeba paliva se stanoví dle vzorce : $B_R = \frac{Q_r}{\eta_s \cdot Q_i^r}$

Kde :

- Q je potřeba tepla objektu [MJ/rok]
- η_s je sezonní účinnost kotle [-]
- Q_i^r je výhřevnost paliva [MJ/kg]

Roční potřeba tepla řešeného objektu je 134,8 MJ/rok.

Tab. 7.4. : Reálná potřeba paliva

Palivo	Výhřevnost	Sezonní účinnost kotle	Roční potřeba paliva
	Q_i	η_{sez}	B_R
	[MJ/kg]	[-]	[tun/rok]
Piliny, štěpka	8,0	0,78	22,1
Brikety, peletky	16,9	0,78	10,5
Hnědé uhlí	15,8	0,62	14,0

Zajímavostí je, že pomocí vhodného skladování aby se to palivo částečně vyschlo (Hnědé uhlí na 15% obsah vody a dřevní štěpka na 25% obsah vody) můžeme výhřevnost výrazně zvýšit a tím snížit celkovou potřebu paliva. V případě hnědého uhlí tímto způsobem zvýšíme výhřevnost o 27% a snížíme množství potřebného paliva o 27%. Pro dřevní štěpku výhřevnost se zvýší o 41% a o stejné procento se sníží potřebné palivo. Pro pelety bychom nedosáhli výraznému zvýšení výhřevnosti, jelikož se kupuje se sníženou vlhkostí, která se dosáhne výrobou z poměrně suchého dřeva. Výhřevnost a potřebu tepla po částečném vyschnutí vidíme v tabulce 8.5.

Tab. 7.5. : Údaje o palivu po částečném vyschnutí

Palivo	Výhřevnost	Sezonní účinnost kotle	Roční potřeba paliva
	Q_i	η_{sez}	B_R
	[MJ/kg]	[-]	[tun/rok]
Piliny, štěpka (25% vody)	13,6	0,78	13,0
Brikety, peletky	16,9	0,78	10,4
Hnědé uhlí (15% vody)	21,8	0,62	10,2

7.5. Celková potřeba všech paliv

Celkovou potřebu všech paliv můžeme vidět v následující tabulce 7.6. .

Tab. 7.6. : Roční potřeba paliv

Palivo	Sezonní účinnost kotle	Roční potřeba paliva
	η_{sez}	B_R
	[-]	[tun/rok] [MWh/rok] [m ³ /rok]
Piliny, štěpka	0,78	22,1
Brikety, peletky	0,78	10,5
Uhlí	0,79	14
Zemní plyn	-	4047
Elektrokotel	-	38,3
Tepelné čerpadlo	-	16

7.6. Produkce emisí CO₂

V následující tabulce 8.7. jsou uvedeny hodnoty objemu oxidu uhličitého pro jednotlivá paliva, vypočtené pomocí stechiometrických rovnic.

Tab. 7.7.: Měrná produkce CO₂

	Hnědé uhlí	Zemní plyn	Pelety	Dřevní štěpka
O_{CO_2}	0,7653 [m _n ³ /kg]	0,9993 [m _n ³ /m _n ³]	0,8741 [m _n ³ /kg]	0,483 [m _n ³ /kg]

Abychom dostali roční produkci CO₂ při spalování daných paliv, musíme tyto hodnoty vynásobit s předtím zjištěnou potřebu paliva. Takhle dostaneme produkci CO₂ v m_n³/rok. Abychom dále dostali produkci v tunách za rok musíme použít hustotu CO₂ při normálních podmínkách, které hodnota je $\rho_{CO_2nm} = 1,9768 \text{ kg/m}^3$ [46].

Vzorec pro výpočet : $m_{CO_2} = V_{CO_2/rok} \cdot \rho_{CO_2nm}$

Roční produkce CO₂ je spočítána pro paliva v původním stavu (reálný) bez částečného vyschnutí.

Pro výpočet produkci CO₂ při provozu tepelného čerpadla a elektrokotle je možné vyjít z hodnoty uvedené ve vyhl. 480/2012 Sb. [47]. Jelikož, největší část elektrické energie v České republice se vyrábí v hnědouhelných elektrárnách, můžeme počítat s emisním faktorem pro hnědouhelné elektrárny uvedeným ve zmíněné vyhlášce, tj. 360 949 g/MWh. Je nutné zdůraznit, že se jedná o hodnotu emisního faktoru, která se vztahuje k energii přivedené v palivu (příkon), nikoli o hodnoty vztažené k produkci energie (výkon).

Dále je zapotřebí získat hodnotu měrné výrobní emise, která by byla vztažena nikoliv na teplo přivedené v palivu, ale na jednotku dodané elektrické energie. Budeme předpokládat, že celková účinnost výroby elektrické energie v hnědouhelných elektrárnách i se zahrnutím ztrát v přenosové síti bude : $\eta_{HUE} = 34 \%$ [48].

Následující výpočet představuje měrné výrobní emise, které odpovídají spotřebě elektrické energie u konečného odběratele.

$$\text{Emisní faktor CO}_2 : \mathbf{EF^{\text{Odběratel}}_{\text{CO}_2}} = \frac{EF_{\text{CO}_2}^{\text{palivo}}}{\eta_{HUE}} = \frac{360\,949}{0,34} = \mathbf{1\,061\,614\,g/MWh}$$

Emise pro provoz tepelného čerpadla

Tab. 7.8.: Roční produkce CO₂

Způsob vytápění	Produkce CO ₂ [m _n ³ /kg(m _n ³)]	Roční potřeba paliva [kg(m ³)/rok]	Roční produkce CO ₂ [m _n ³ /rok]	Hustota CO ₂ při normálních podmínkách [kg/m ³]	Roční produkce CO ₂ [tun/rok]
Hnědé uhlí	0,7653	14000	10714,2	1,9768	21,2
Zemní plyn	0,9993	4047	4044,2		8,0
Pelety	0,8741	10500	9178,1		18,1
Dřevní štěpka	0,483	22100	10674,3		21,1

Tepelné čerpadlo při provozu neprodukuje žádné emise CO₂, ale spotřebovává elektrickou energii, která se v České republice vyrábí převážně z fosilních paliv. Proto je vhodné s předtím

vypočteným emisním faktorem určit emise, které se vyprodukují pro výrobu elektrické energie potřebné pro provoz tepelného čerpadla.

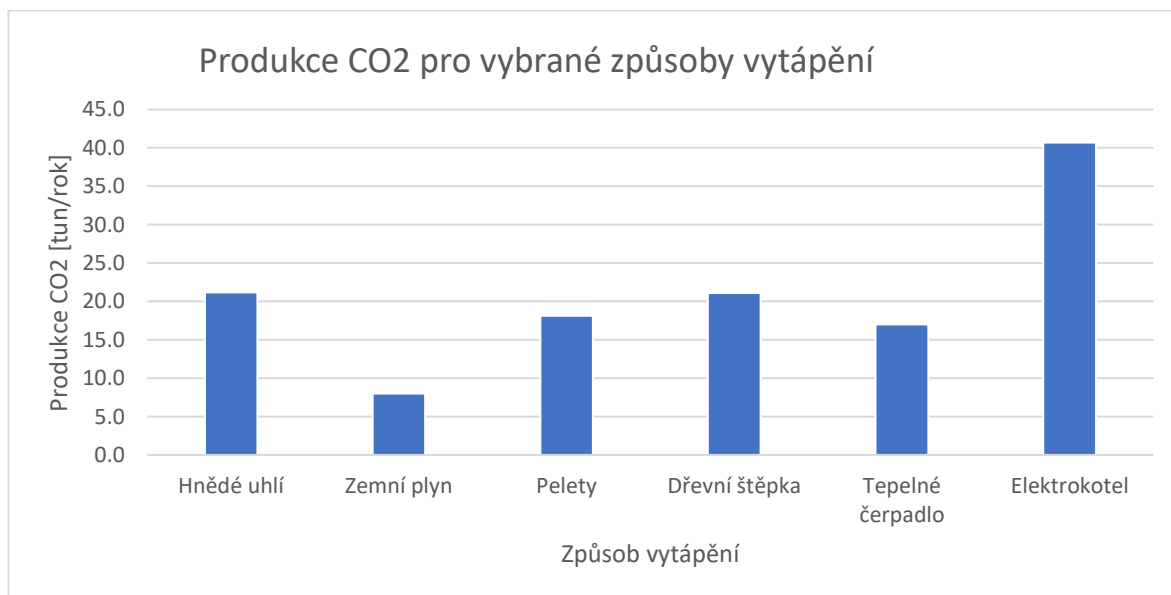
Pro provoz tepelného čerpadla bylo předtím určeno, že je roční potřeba 16 MWh elektrické energie. Z toho dostáváme :

$$O_{CO_2} = EF^{odběratel}_{CO_2} \cdot 16 = 1\,061\,614 \cdot 16 = 16\,985\,824 \text{ g/rok} = \mathbf{16,985 \text{ tun}_{CO_2}/rok}$$

V případě vytápění elektrokotlem bude spotřeba elektrické energie zhruba 2,5-krát vyšší než u tepelného čerpadla. Elektrokotel spotřebuje ročně 38,3 MWh elektrické energie. Z takové spotřeby elektrické energie se vyprodukuje v českých hnědouhelných elektrárnách:

$$O_{CO_2} = EF^{odběratel}_{CO_2} \cdot 38,3 = 1\,061\,614 \cdot 38,3 = 40\,659\,816 \text{ g/rok} = \mathbf{40,66 \text{ tun}_{CO_2}/rok}$$

V následujícím grafu je vidět porovnání různých způsobů vytápění z hlediska produkce emise CO₂.



Graf 7.1. : Porovnání zdrojů z hlediska emisí

Z předchozího grafu je vidět, že nejvýhodnější způsob vytápění z hlediska produkce emisí CO₂ je nejvýhodnější plynový kotel a po něm tepelné čerpadlo. Oproti ním nejhorší z tohoto hlediska je elektrokotel.

Je dobře taky zmínit, že se při spalování uhlí produkují i jiné škodlivé emise jako oxidy síry SO₂, oxidy dusíku NO_x a oxid uhelnatý CO. Produkci těchto škodlivin se dá přepočítat na ekvivalent CO₂ a tím by se celkové emise při spalování uhlí zvýšily.

Z hlediska produkci emisí CO₂ při použití biomasy (v našem případě dřevní štěpka a pelety), můžeme říct že spalování je CO₂ neutrální, neboť rostliny během růstu spotřebovávají CO₂.

Dalo by se tedy říct, že z emisního hlediska je na tom nejlíp biomasa a po ní zemní plyn.

8. Ekonomické hodnocení jednotlivých variant vytápění

Při volbě správného rozhodnutí se na jedné straně zohledňují pořizovací náklady a jednoduchost, popř. složitost vlastní instalace technologie. Dalším hlediskem jsou provozní náklady. Pro výběr optimální varianty jsem použil hledisko nejlepší finanční bilance, tzn. zahrnutí jak investičních, tak provozních nákladů za dobu 15 let a hledisko možnosti použití v budoucnosti. Uvažuje se i s každoroční rostoucí inflací cen energií.

8.1. Investiční náklady

Celkové pořizovací náklady zahrnují veškeré výdaje na pořízení i uvedení do provozu dané technologie. Ceny investičních nákladů jsou uvedeny včetně DPH, aby podaly investorovi informaci o skutečné ceně.

8.2. Plynový kondenzační kotel

Jako zástupce zdroje na zemní plyn byl vybrán nástěnný plynový kondenzační kotel GC2300iW 15 P23 od výrobce Bosch s maximálním výkonem 15 kW a regulační schopností už od 13% maximálního výkonu. Závěsný kotel má sezonní účinnost 93%. Výhodou je taky vysoký komfort teplé vody díky pohotovostní funkci. Technický list plynového kotle viz. [50]

Tab. 8.1.: Investiční náklady za kondenzační kotel [50]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Plynový kotel Bosch GC2300iW 15 P23	27 588
Montáž plynového kotle	8 990
Revize plynového kotle	2 000
Spuštění do provozu	3 000
Celkem	41 578

Celkové náklady pro plynový kotel činí 41 578 Kč. Vyhodou je, že objekt je připojen k plynovodní soustavě a tím se náklady sníží skoro o 50%.

8.3. Elektrokotel

Na základě potřebného výkonu na pokrytí tepelné ztráty objektu a ohřevu teplé vody byl navržen závěsný Protherm RAY 14 KE. K elektrokotli je doplněn zásobník na teplou vodu pro lepší pokrytí odběrové špičky teplé vody. Technický list elektrického kotle viz. [52].

Tab. 8.2. : Investiční náklady za elektrokotel [57]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Elektrokotel PROTHERM RAY 14 KE + zásobník 120 l	27 206
Montáž elektrokotle včetně elektroinstalace	9 200
Celkem	36 406

Celkové náklady pro pořízení a instalaci elektrokotle činí 36 406 Kč.

8.4. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Vybrán byl stroj Vitocal 100-A od osvědčeného výrobce VIESSMANN, který nabízí řady venkovních monoblokových jednotek. Vyhodou je jednoduchá instalace, spolehlivost a že je vhodné pro modernizaci. Technický list TČ viz. [51].

Tab. 8.3. : Investiční náklady za TČ [58]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Tepelné čerpadlo Vitocal-100-A 16	207 288
Venkovní konzole na zem	3 468
Stavební prostupy 3ks	865
Expanzní nádoba 50 l	2 965
Zásobník TUV 234 l	3 000
Bezdrátový termostat	2 860
Elektroměr jednosazbový	1 980
Revizní technik elektro	1 860
Doprava	2 000
Celkem	226 286

Po sečtení orientačních cen všech nezbytných prvků sestavy tepelného čerpadla se vstupní cena pohybuje okolo 226 tisíc. Vyhodou je, že prodejce nabízí montáž v ceně tepelného čerpadla

8.5. Biomasa

8.5.1. Kotel na pelety

Kotel pro spalování pelet volím od firmy ATMOS – D 14 P s automatickou dodávkou. Jedná se o ocelový zplynovací kotel. Jmenovitý výkon je 14 kW, účinnost až 90%. Kotel spadá do 5. emisní třídy dle ČSN EN 303-5. Technický list viz. [54]

Tab. 8.4.: Investiční náklady za kotel na pelety [61]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Kotel na pelety ATMOS D 14 P	38 739
Atmos hořák na pelety A25	23 196
Atmos nádrž na pelety 240 B	18 295
Montáž	5 000
Celkem	85 230

Celkové náklady na pořízení automatického kotle na pelety činí 85 230 Kč. Cena samotného kotle není až tak vysoká, ale k tomu investor musí taky si taky pořídit hořák a nádrž na pelety.

8.5.2. Kotel na dřevní štěpku

Pro vytápění dřevní štěpkou jsem si vybral kotel zplyňovací VERNER EXTRA s jmenovitým výkonem 14kW od výrobce VERNER SK s.r.o. . Technický list viz. [53]

Kotle značky VERNER jsou zařazeny v emisní třídě 5 dle ČSN EN 303-5 a i nadále je lze provozovat po roce 2022.

Tab. 8.5. : Investiční náklady za kotel na dřevní štěpku [62]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Kotel VERNER V210 extra 14 kW	79 316
Montáž	5 000
Celkem	84 316

8.6. Kotel na uhlí

Pro spalování hnědého uhlí jsem vybral kotel od firmy VIADRUS U 22 16 kW. Jedná se o univerzální litinový zplyňovací kotel. Kotel je určen pro spalování hnědého uhlí, alternativním palivem je černé uhlí a kusové dřevo. Technický list viz. [55]

Tab. 8.6. : Investiční náklady za kotel na uhlí [55]

Položka	Cena vč. DPH [Kč]
Kotel ATMOS - C 15 S	79 990
Montáž	5 000
Celkem	84 990

9. Provozní náklady jednotlivých variant

Pod pojmem provozní náklady míním spotřebu energie, respektive paliva. U všech zařízení se dají předpokládat těžko vyčíslitelné náklady na údržbu, které budou u všech variant přibližně srovnatelné, a proto je do srovnání nezahrnuji.

Tab. 9.1. : Roční náklady pro jednotlivé varianty

Palivo	Roční potřeba paliva	Cena za palivo	Roční náklady
	B_R	P	P_r
	[tun/rok] [MWh/rok] [m ³ /rok]	[Kč/tun] [Kč/MWh] [Kč/m ³]	[Kč/rok]
Piliny, štěpka	22,1	1500	33150
Brikety, peletky	10,5	6000	63000
Uhlí	14	3890	54460
Zemní plyn	4047	16	63376
Elektrokotel	38,3	2435	93273
Tepelné čerpadlo	16	2338	37410

Tepelné čerpadlo spadá do zvýhodněné sazby D56d. Pro výpočet nákladů tepelného čerpadla uvažuji cenu elektrické energie 2,34 Kč/kWh. Elektrokotel spadá do zvýhodněné sazby D545d. Pro výpočet uvažuji cenu elektrické energie 2,43 Kč/kWh. Hodnota ceny za plyn je stanovena na 1,48 Kč/kWh [49].



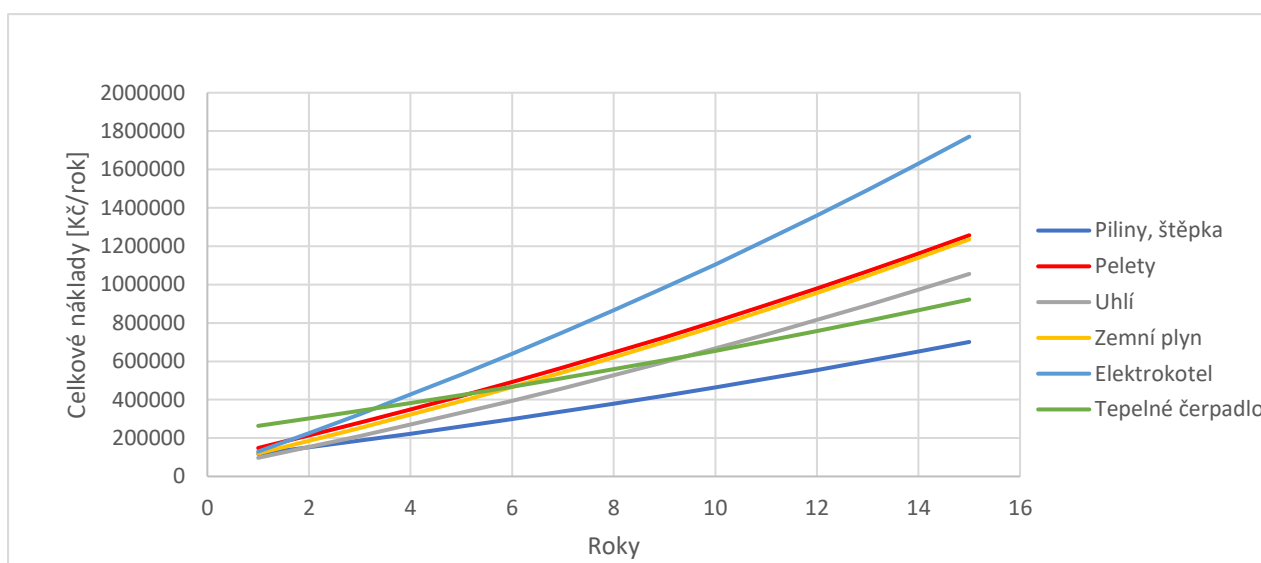
Graf 9.1. : Roční náklady za palivo

Za roční provoz zařízení vyšly bezkonkurenčně nejvyšší provozní náklady u elektrokotle. Plynový kotel se pohybuje přibližně uprostřed celoročních nákladů společně s kotlem na pelety. Tepelné čerpadlo společně se štěpkou vycházejí v ročním období nejúsporněji.

10. Celkové náklady

Vyvrcholením rozhodnutí pro určení zdroje tepla by měl být graf porovnávající celkové náklady uvažovaných zdrojů.

Předpokládaný dlouhodobý nárůst cen energií je zohledněn průměrným navýšením každý započatý rok o hodnotu 2%. Hodnotící doba odpovídá garantované životnosti zdrojů.



Graf 10.1.: Celkové náklady

Dle intenzity vzrůstu křivek v grafu je zjevné, že z celkové bilance po sečtení počátečních a provozních nákladů vychází z dlouhodobějšího hlediska nejlépe kotel na dřevní štěpku a kotel a tepelné čerpadlo vzduch-voda. Po nich kotel na uhlí. Nejnákladnější varianta vychází varianta s elektrokotlem.

Ze třech nejlevnějších variant (tj. štěpka, uhlí a tepelné čerpadlo) bylo by dlouhodobě nejvyhodnější tepelné čerpadlo, a to protože uhlí jako palivo má nejistou budoucnost kvůli emisním opatřením a před uplynutím jeho životnosti by mohlo dojít k výrazným restrikcím. Problem se dřevní štěpkou je její skladování, který vyžaduje velké prostory, které nemusí být všem k dispozici.

11. Závěr

Cílem této práce bylo porovnání produkci emisí CO₂ pro různé varianty vytápění modelového rodinného domu. Aby se určila tato produkce emisí, bylo nutné si nejdříve určit tepelnou ztrátu objektu dle normy ČSN EN 12 831. Hodnota tepelné ztráty činí 12,5 kW a mohla by se ještě snížit přidáním další vrstvy polystyrenu do obvodových zdí a rekonstrukcí střechy, která už je zastaralá.

Dalším krokem bylo určení celkové roční potřeby tepla tohoto objektu. Tato potřeba tepla se skládá z potřeby tepla na vytápění a potřeby tepla na ohřev teplé užitkové vody a rovná se $Q_r = 37,6$ MWh/rok. Poté podle tepelné ztráty byly vhodně vybrána zařízení na vytápění tohoto domu a podle jejich parametrů (sezonní účinnost) a parametrů paliva (výhřevnost), určil jsem reálnou potřebu paliva pro pokrytí energetických potřeb objektu. Návrhnuté zařízení pro vytápění byly kotel na zemní plyn, kotel na hnědé uhlí, kotle na biomasu (pro pelety a dřevní štěpku), elektrokotel a tepelné čerpadlo.

Po určení spotřeby paliva, byly pomocí stechiometrických rovnic pro tuhá a plynná paliva určeny měrné produkce emisí CO₂ při provozu těchto zařízení. Pro tepelné čerpadlo a elektrokotel jsem vycházel z měrného emisního faktoru CO₂ pro výrobu jedné MWh v českých hnědouhelných elektrárnách.

Z hlediska emisí, nejekologičtější možnost vytápění je plynový kondenzační kotel s produkcí 8 tun_{CO2}/rok. Oproti plynovému kotli má největší „nepřímou“ produkci emisí CO₂ elektrokotel, který pro svůj provoz spotřebovává 38,3 MWh/rok. Pro výrobu této elektrické energie v českých hnědouhelných elektrárnách se vyprodukuje 40,7 tun_{CO2}/rok.

V poslední části této práci jsem se zabýval ekonomickým vyhodnocením navržených zdrojů vytápění. Při ekonomickém hodnocení byl zohledněn dlouhodobý nárůst cen energií a životnost zdrojů. Nejvhodnějšími variantami vytápění z hlediska ekonomie vyšly štěpka a uhlí, ale kvůli problémům se skladováním štěpky a nejistou budoucností uhlí, bylo by vhodně si vybrat tepelné čerpadlo.

12. Citace

- [1] Černé uhlí: Informační a prodejní stránka [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <http://www.cernehli.cz/vznik-uhli/>
- [2] Ceny paliv a energií [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <http://www.tzbinfo.cz/ceny-paliv-a-energi/7840-vyvoj-cen-pevnych-paliv-pro-domacnosti-v-letech2007-2010>
- [3] HOLZ, Thomas. Topíme dřevěnými peletami. Praha: Grada Publishing, 2007, 133 s. Profi & Hobby. ISBN 9788024716343.
- [4] EKO brikety: Dřevěné brikety [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <http://www.ekobrikety.cz/drevne-brikety.html>
- [5] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá: Biom.cz [online]. [cit. 2021-01-06]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [6] Petroleum: Topné oleje [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/topne-oleje.aspx>
- [7] PETRÁŠ, Dušan. Vytápění rodinných a bytových domů. Bratislava: Jaga, 2005, 246 s. Vytápění. ISBN 8080760209.
- [8] NOVÁK, Jan. *Výhřevnosti paliv* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [9] *Vlastnosti BP* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm
- [10] SUCHÁNEK, Laboutka. *Porovnání vlastností topných plynů* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/52-porovnani-vlastnosti-topnych-plynu>
- [11] BAREŠ, Petr. *Jaká je účinnost tepelného čerpadla a co je topný faktor?* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.alpha-innotec.cz/clanky/jaka-je-ucinnost-tepelnych-cerpadel-a-co-je-topny-faktor/>
- [12] KARLÍK, Robert. Tepelné čerpadlo pro váš dům. Praha: Grada, 2009, 109 s. Profi & hobby. ISBN 9788024727202.
- [13] EkoBonus: Tepelné čerpadlo voda/voda [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.ekobonus.cz/tepelne-cerpadlo-voda-voda-dobra-volba-vyzadujicispecificke-prirodni-podminky-odebrano>
- [14] *Sluneční energie* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/OZE-p4-1.pdf>

- [15] Tzb-info: Chladiva [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzbinfo.cz/tepelna-cerpadla/333-chladiva>
- [16] *Umístění solárních panelů a orientace střechy* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <http://www.energie.snadno.eu/vase-strecha-a-caste-dotazy.html>
- [17] MasterTherm: Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://www.mastertherm.cz/caste-dotazy#/tabs1-zeme>
- [18] *Zapojení solárních systémů* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <http://www.solarpraha.cz/zapojeni/>
- [19] *Podmínky výstavby FVE v České republice* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <http://www.frankensolar.eu/cz/podminky-vystavby-fve-v-ceske-republice.html>
- [20] *Odhad tepelných ztrát a roční potřeby tepla* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <http://www.frankensolar.eu/http://www.vytapani.cz/kalkulacky/tepelne-ztraty?ztrata=10.9&potreba=24244&potrebaGJ=87.3&ztrata4=12.9&potreba4=28522&potrebaGJ4=102.7&ztrata5=15.4&potreba5=34032&potrebaGJ5=122.5&ztrata2=1.0&potreba2=1471&potrebaGJ2=5.3&ztrata3=2.9&potreba3=3432&potrebaGJ3=12.4&te=-15&ti=20&tes=4&dny=250&plocha=98.06&mesto=51&poloha=2&proskleni=2&objem=303.986&vyska=3.1cz/podminky-vystavby-fve-v-ceske-republice.html>
- [21] *Princip a funkce tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla.php>
- [22] *Vybíráme tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzbinfo.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>
- [23] *Země/voda - vodní plocha* [online]. [cit. 2021-01-31]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vodni-plocha>
- [24] *ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. ICS: 91.140.10. 2.* Praha: ÚNMZ, březen 2005.
- [25] *Součinitel prostupu tepla* [TZB-info]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzbinfo.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [26] *ČSN 730540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. ICS: 91.120.10. 2.* Praha: ÚNMZ, listopad 2011.
- [27] *ČSN EN ISO 6946 Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda. ICS: 91.060.01. 2.* Praha: ÚNMZ, prosinec 2008.
- [28] BOHÁČ, Jindřich. *TEPELNÉ ZTRÁTY ČSN EN 12 831* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18614881-Cviceni-c-2-tepelne-ztraty-csn-en-12-831.html>
- [29] *Otopná sezona. Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona>

- [30] HORÁKOVÁ, Alena. *KLIMATOLOGICKÉ ÚDAJE* [online]. Praha, Prosinec 2013 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/EF13_3105_STU-E_Klimatologie.pdf
- [31] Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [32] TZB-info [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-vypocet-prostupu-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubehu-teplot-v-konstrukci>
- [33] ČSN EN ISO 13 370 *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. ICS: 91.120.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, únor 2009.
- [34] ČSN 730540-3 *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. ICS: 91.120.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, listopad 2005.
- [35] TZB-info [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [36] *Projekční podklady a pomůcky - Tepelná bilance objektu - denostupňová metoda* [online]. Katedra technických zařízení budov ČVUT v Praze [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>
- [37] *Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů* [online]. TZB-info [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [38] STUPAVSKÝ, Vladimír, HOLÝ, Tomáš: *Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá*. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>>. ISSN: 1801-2655.
- [39] STUPAVSKÝ, Vladimír: *Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety*. *Biom.cz* [online]. 2010-01-01 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>>. ISSN: 1801-2655.
- [40] *Ceny paliv a energií*. TZB-info [online]. 2011 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/7840-vyvoj-cen-pevnych-paliv-prodomacnosti-v-letech-2007-2010>
- [41] DLOUHÝ, Tomáš. *Spalování paliv* [online]. In: . [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/VTK-pr5-1.pdf>
- [42] DLOUHÝ, Tomáš, ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE a STROJNÍ FAKULTA. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 978-80-01-02591-8.
- [43] FÍK, Josef. *Složení zemního plynu* [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/89-slozeni-zemnich-plynu>

- [44] Mostecké uhlí [online]. B.m.: Northtrade. Dostupné z: http://northtrade.cz/wpcontent/uploads/Katalog_MHU_2012.pdf
- [45] IBLER, Zbyněk. *Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR* [online]. 2003 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/biomasa.pdf>
- [46] *Oxid uhličitý* [online]. VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: https://irz.cz/dokumenty/irz/metody_mereni/ovzdusi/oxid_uhlicity.pdf
- [47] *Vyhláška č. 480/2012 Sb.: Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-480>
- [48] *Emisní faktory při výrobě elektrické energie v ČR* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://emise.cz/wp-content/uploads/2020/11/Emisni-faktory-elektrina.pdf>
- [49] *ELEKTRINA-CENÍK* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2021/moo/web-new-cenik-elektrina-dobu-neurcitou-moo-2020-12-cezdi.pdf>
- [50] *Technický list kotle GC2300iW 15 P 23* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: https://www.topenilevne.cz/bosch-gc2300iw-15-p23-kondenzacni-kotel-p78696/?gclid=Cj0KCQjwhr2FBhDbARIsACjwLo3aWVu3kSmuU31EKSZtaLnQvxcyTTLOW1PmXOIUI45W1IAGxd4-w68aAs-dEALw_wcB
- [51] *VITOCAL 100-A* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/tepelna-cerpadla/splitova-tepelna-cerpadla-vzduchvoda/vitocal-100s.html>
- [52] *Informace o produktu RAY 14KCZ13* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/files/downloads/product-information/product-information-electric-boiler-ray-14kcz13-542913.pdf>
- [53] *Informační list výrobku VERNER V210* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <http://www.kotle-verner.cz/data/sharedfiles/5793/informacny-list-v21038.pdf>
- [54] *Informační list kotlů ATMOS* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: https://www.atmos.eu/upload/ekolabeling_05_2017.pdf
- [55] *VIADRUS U22 ECONOMY 16 kW* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: https://www.protopeni.cz/eshop-viadrus-u22-economy-16-kw.html?utm_campaign=Heureka&utm_medium=product&utm_source=heureka.cz&utm_term=70288
- [56] *Výpočet výhřevnosti biopaliva a hnědého uhlí* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/129-vypocet-vyhrevnosti-biopaliva-a-hnedeho-uhli>
- [57] *PROTHERM Sestava elektrokotle RAY 14 KE + 120l zásobník TV (0010030828)* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni-a-ohrev->

vody/protherm-sestava-elektrokotle-ray-14-ke-120l-zasobnik-tv-0010030828?gclid=Cj0KCQjw2NyFBhDoARIsAMtHtZ75icIZoKodcW4e_NSDXD1ewTDP9XisYJP yH67tsgluq7puy9Kp4vlaAm_TEALw_wcB

[58] *Tepelná čerpadla Viessmann VITOCAL 100-A* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.topitelevne.cz/vitocal-100-a>

[59] *Odhad tepelných ztrát a roční potřeby tepla* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <http://www.vytapeni.cz/kalkulacky/tepelne-ztraty>

[60] *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám: Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>

[61] *Atmos D 14 P Kotel na tuhá paliva* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: https://www.topenilevne.cz/atmos-d-14-p-p43648/?gclid=Cj0KCQjw--GFBhDeARIsACH_kdawGY3RK9JoJW-Gi_VV7Rx4PB5gaec3D6BiQz_0fveUZ-LaQDFH_L8aAjXyEALw_wcB

[62] *Kotel VERNER V140 EXTRA (V210 s redukováným výkonem)* [online]. [cit. 2021-6-1]. Dostupné z: <https://www.vtk.cz/kotel-verner-v140-extra>

13. Seznam příloh

Příloha 1 – Tepelná ztráta větrání

14. Přílohy

PŘÍLOHA 1: Tepelná ztráta větráním 1

Místnost	Objem místnosti [m ³]	Vnitřní teplota [°C]	Vnější teplota [°C]	$n_{\text{min}} [\text{h}^{-1}]$	$V_{\text{min}} [\text{m}^3/\text{h}]$	$n_{50} [\text{h}^{-1}]$	ϵ_i	e_i	$V_{\text{inf}} [\text{m}^3/\text{h}]$	$V = \max(V_{\text{min}}, V_{\text{inf}})$	$H_{V,i} [\text{W/K}]$	$\Phi_{V,i} [\text{W}]$	Celková ztráta větráním [W]
Předstř	15,6	22,0	-15,0	0,5	7,8	7	1	0,02	4,4	7,8	2,7	98,1	3099,6
WC	2,5	22,0		1,5	3,8				0,7	3,8	1,3	47,2	
Chodba	16,0	18,0		0,5	8,0				4,5	8,0	2,7	89,8	
Špíz	10,0	10,0		0,5	5,0				2,8	5,0	1,7	42,5	
Kuchyň	49,2	22,0		1,5	73,8				13,8	73,8	25,1	928,4	
Koupelna	13,4	22,0		1,5	20,1				3,8	20,1	6,8	252,9	
Ložnice	48,0	22,0		1,0	48,0				13,4	48,0	16,3	603,8	
Chodba (1.pátro)	16,6	22,0		0,5	8,3				4,6	8,3	2,8	104,4	
Pokoj č.1	43,6	22,0		1,0	43,6				12,2	43,6	14,8	548,5	
Pokoj č.2	29,1	22,0		0,5	14,6				8,1	14,6	4,9	183,0	
Půda	47,3	10,0		0,5	23,7				13,2	23,7	8,0	201,0	