VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

MOŽNOSTI VE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

HEATING OPTIONS OF A HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Petr Klíma

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Filip Toman

SUPERVISOR

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Petr Klíma**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Filip Toman**
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možnosti ve vytápění rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Způsoby a možnosti vytápění rodinných domu, jsou v dnešní době velmi rozsáhlé. Od použití jednoho tepelného zdroje po kombinaci zdrojů několika. Pro správný návrh typu a dimenzování tepelného zdroje je nutné znát především tepelné vlastnosti dané stavby a ekonomickou situaci na energetickém trhu. Práce bude zaměřena na výpočet tepelných ztrát vybraného rodinného domu a následné ekonomické posouzení využití různých tepelných zdrojů, pro jeho vytápění.

Cíle bakalářské práce:

– Stručný přehled tepelných zdrojů pro rodinné domy.
– Výpočet tepelných ztrát vybraného objektu.
– Ekonomické zhodnocení možností vytápění vybraného objektu.

Seznam doporučené literatury:

PETRÁŠ, Dušan, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie. Bratislava: Jaga. 2008.Vytápění. ISBN 9788080760694

PAVELEK, Milan, Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 9788021443006

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

.....	.....
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
ředitel ústavu	děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce, zabývající se možnostmi vytápění rodinného domu, je rozdělena do tří částí. V první části jsou představeny zdroje tepla pro rodinné domy a paliva, která se využívají k vytápění. Ve druhé části se počítají tepelné ztráty již konkrétně vybraného domu a roční potřeba energie na vytápění. Třetí část se zabývá ekonomickým zhodnocením konkrétních zdrojů tepla.

Klíčová slova

Vytápění, tepelný zdroj, tepelné ztráty, náklady na vytápění, rodinný dům

ABSTRACT

The bachalor‘s thesis, dealing with the possibilities of heating a family house is devided into three parts. The first part presents heat sources for houses and fuels that are used for heating. In the second part, the heat losses of already specifically selected house and the annual energy demand for heating are calculated. The third part deals with the economic evaluation of specific heat sources.

Key words

Heating, heat source, heat loss, heating costs, family house

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KLÍMA, Petr. Možnosti ve vytápění rodinného domu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139727. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti ve vytápění rodinného domu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

....

Datum *Jméno a příjmení*

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipu Tomanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD 11
1 Paliva 12
1.1 Uhlí 12
1.2 Uhelné brikety 12
1.3 Kusové dřevo 13
1.4 Dřevní štěpka 14
1.5 Dřevěné pelety 14
1.6 Dřevěné brikety 14
1.7 Extralehký topný olej 14
1.8 Zemní plyn 14
1.9 Propan 15
2 Zdroje vytápění 16
2.1 Kotle na tuhá paliva 16
2.1.1 Prohořívací kotel 16
2.1.2 Odhořívací kotel 17
2.1.3 Zplyňovací kotel 17
2.1.4 Automatický kotel 18
2.2 Vestavená spalovací zařízení 19
2.2.1 Otevřený krb 19
2.2.2 Krbová vložka 19
2.2.3 Kachlová kamna 19
2.3 Lokální topidla 20
2.3.1 Krbová kamna 20
2.3.2 Kuchyňský sporák 20
2.4 Plynové kotle 20
2.4.1 Standardní kotel 20
2.4.2 Nízkoteplotní kotel 21
2.4.3 Kondenzační kotel 21
2.5 Olejové kotle 22
2.6 Elektrické zdroje 22
2.6.1 Přímotopné zdroje 22
2.6.2 Akumulační zdroje 24
2.6.3 Tepelná čerpadla 25
2.7 Solární vytápění 28
2.7.1 Kapalinové solární vytápění 28
2.7.2 Teplovzdušné solární vytápění 29
2.7.3 Fotovoltaické solární vytápění 29
3 Výpočet tepelných ztrát objektu 30
3.1 Popis vybraného objektu 30
3.2 Vstupní údaje objektu 31
3.3 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty prostupem 31

3.4 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty větráním ... 35
3.5 Výpočet celkového návrhové tepelného výkonu ... 37
3.6 Celková roční potřeba tepelné energie na vytápění ... 38

4 Ekonomické zhodnocení možností vytápění ... 40

4.1 Výběr zdroje tepla ... 40

4.1.1 Zplyňovací kotel na dřevo ATTACK DPX 15 STANDARD ... 40
4.1.2 Zplyňovací kotel na hnědé uhlí ATMOS C 15 S ... 41
4.1.3 Plynový kotel Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus ... 42
4.1.4 Elektrokotel BOSCH Tronic Heat H 15 ... 43
4.1.5 Tepelné čerpadlo NIBE F2040-12 + jednotka VVM S320 ... 44

4.2 Srovnání jednotlivých tepelných zdrojů a jejich náklady na vytápění ... 45

4.2.1 Počáteční investice ... 45
4.2.2 Roční náklady ... 46
4.2.3 Celkové náklady za daný časový úsek ... 55

4.3 Vliv změny vnitřní výpočtové teploty na roční náklady na vytápění ... 58

ZÁVĚR ... 60
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ ... 62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK ... 66
SEZNAM PŘÍLOH ... 70

ÚVOD

V dnešní době existuje mnoho variant vytápění v rodinných domech. Jaké máme vůbec způsoby vytápění a čím je možné vytápět? Jak si vypočítat tepelné ztráty domu a s tím související roční spotřebu tepelné energie? Jaký zdroj tepla pořídit, aby to nestálo celé jmění? Kolik peněz ušetřím, když budu vytápět místnosti na nižší teplotu? Na tyto otázky odpoví tato bakalářská práce, která je členěna do čtyř kapitol.

V první kapitole se seznámíme s jednotlivými tuhými, kapalnými a plynnými palivy, která se spalují uvnitř tepelných zdrojů za účelem vytváření tepelného komfortu. O palivech se dozvíme, za jakých procesů v dávné minulosti vznikala a jaké jsou jejich fyzikální a chemické vlastnosti, které zaručují to, že se s nimi vytápí.

V druhé kapitole je stručný přehled zdrojů tepla využívaných pro vytápění místností uvnitř rodinných domů. Pozornost je zde věnována kotlům, ať už plynovým, na tuhá paliva nebo využívajících elektrickou energii. Dále jsou zde zmíněny vestavěná spalovací zařízení a lokální zdroje tepla. Nemalá část kapitoly se věnuje tepelným čerpadlům.

Jestliže chceme správně navrhnout výkon tepelného zdroje, musíme znát tepelné ztráty domu. Problematice výpočtu tepelných ztrát se věnuje třetí kapitola, kde jako předloha je použita norma ČSN EN 12831-1.

Jaký zdroj tepla má nejnižší pořizovací cenu a jaké jsou roční náklady jednotlivých zdrojů popisuje závěrečná kapitola. Hlavním výstupem bakalářské práce je tedy ekonomické zhodnocení pěti vybraných zdrojů tepla a odhad toho ekonomicky nejvýhodnějšího zdroje pro daný dům na následujících patnáct let.

1 Paliva

Paliva můžeme dělit podle skupenství na tuhá (pevná), kapalná a plynná. Podle jejich původu je lze dělit na fosilní (neobnovitelné), obnovitelné zdroje a odpadní zdroje, tedy paliva vzniklá jako vedlejší produkt nějaké lidské činnosti. Důležitou vlastností paliv je jejich výhřevnost. Výhřevnost je definována jako teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg (popř. 1 m^3) paliva při ochlazení spalin na teplotu 20 ºC, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi [1].

1.1 Uhlí

Uhlí je pevné fosilní palivo přírodního původu. Získává se dolováním z hlubinných nebo povrchových dolů. Rozděluje se podle geologického stáří jeho vzniku na antracit (geologicky nejstarší), černé uhlí, hnědé uhlí, lignit a rašelinu (geologicky nejmladší) [1]. Vytvořilo se z pozemních a bažinných rostlin, které rostly na propadající se půdě. V první (biologické) fázi, různými chemickými a mikrobiologickými pochody při atmosférickém tlaku a povrchové teplotě, vznikala nejdříve rašelina. Ta se dále (zvyšováním teploty a tlaku) měnila na hnědé uhlí. Materiál se postupně zhutňoval a ztrácel vodu. V druhé (geologické) fázi (při dalším zvyšováním tlaku a teploty, způsobené především poklesem materiálu v půdě) se zvyšoval obsah uhlíku a snižoval se obsah vodíku a kyslíku. Vzniklo tak černé uhlí. Ve výjimečných případech se téměř všechen vodík a kyslík odstranil a vznikl antracit [2].

Jednotlivé druhy uhlí se tedy liší složením a výhřevností (viz tabulka 1). I v rámci jednoho druhu uhlí je složení mírně rozdílné. Je to dáno místem výskytu uhlí. Kromě uhlíku, vodíku a kyslíku, obsahuje uhlí v hořlavině ještě dusík, síru a další prvky v menším zastoupení. Rozhodující vliv na spalování mají první tři. Dusík a síra mají podstatný vliv na tvorbu emisí. Platí, že čím je uhlí geologicky starší, tím je obsah uhlíku vyšší a také má vyšší výhřevnost [3]. Pro vytápění se ještě používají upravená uhelná paliva. Jedná se o koks a brikety. Koks se vyrábí z kvalitního černého uhlí, procesem zvaným karbonizace. Jedná se o zahřátí nad teplotu 1000 ºC bez přístupu vzduchu. Využití koksu je ale převážně v metalurgii (výroba oceli, litiny, …). Další používané upravené palivo jsou uhelné brikety [1].

Tabulka 1: Hrubý a prvkový rozbor a vlastnosti různých druhů uhlí [1] [4]

	antracit	černé uhlí	hnědé uhlí	lignit	rašelina
vlhkost (%)	7,7	5,2	23,4	33,3	20,0
prchavá hořlavina (%)	6,4	40,2	40,8	43,6	68,0
popelovina (%)	10,5	9,1	5,2	11,1	12,0
uhlík (%)	83,7	74,0	72,0	63,3	57,5
vodík (%)	1,9	5,1	5,0	4,5	5,5
kyslík (%)	2,3	7,9	16,4	19,0	35,0
dusík (%)	0,9	1,6	0,9	1,0	1,9
síra (%)	0,7	2,3	0,4	1,1	0,1
výhřevnost ($MJ.kg^{-1}$)	23-28	15-30	10-15	7-9	-

1.2 Uhelné brikety

Brikety se vyrábí z hnědého, popřípadě z černého uhlí, které je předsušeno, rozemleto na menší kusy a poté lisováno nejčastěji do válečků nebo hranolů o rozměrech 50 mm až 200 mm.

Briketuje se za účelem zlepšení kvality uhlí. Sníží se obsah vody, zvýší se výhřevnost a získají se kusy stejné velikosti [5]. Výhřevnost hnědouhelných briket se pohybuje okolo 21 MJ/kg [1].

1.3 Kusové dřevo

Dřevo je nejstarší známé palivo, i když vznikem je nejmladší. Patří do druhu biomasy a je považováno za obnovitelný zdroj. Skládá se z celulózy, hemicelulózy, ligninu, pryskyřice a vosku. Čerstvě poražené dřevo obsahuje vysoké množství vody. Aby se snížil obsah vody na 20-30 %, tak se dřevo suší. Elementární složení je u všech druhů dřeva přibližně stejné (viz tabulka 2) [5]. Palivové dřevo rozlišujeme podle tvrdosti (tvrdé, měkké dřevo) a podle toho, z jaké dřeviny pochází (z listnatých, z jehličnatých stromů). Tvrdé dřevo je většinou listnaté a je vhodné např. do krbu, protože hoří dlouho a stabilně a také nejiskří. Měkké dřevo je především jehličnaté dřevo (ale také např. lípa nebo topol) a má vyšší obsah pryskyřice. Je tedy vhodné pro třísky na podpal. Měkké dřevo najde uplatnění v kotlích. Hoří rychle, tudíž je vhodné pro rychlé vyhřátí vytápěného prostoru.

Jestliže srovnáme dřeviny podle základních vlastností, mezi nejkvalitnější patří dubové dřevo. Podobnou kvalitu mají dále např. buk a jasan. Tyto dřeviny ovšem rostou desítky let. Zvláštní skupinu tvoří tzv. energetické dřeviny. Jsou to rychle rostoucí dřeviny (jednotky let), které mají dobrou výhřevnost. Mezi tyto dřeviny patří např. vrby, jasany a topoly [3].Palivové dříví se dodává ve formě kulatiny, polen a polínek, které se připravují přímo v těžebním prostoru, nebo následně řezacími a štípacími stroji. Důležitou vlastností jsou jeho základní rozměry – délka a průměr. Rozměry jsou důležité pro efektivní zaplnění místa v přikládací komoře kotle a pro dosažení vysokého výkonu [6].

Tabulka 2: Složení a vlastnosti dřeva [1]

	jehličnaté dřevo	listnaté dřevo
složka hořlaviny (%)		
uhlík	51,00	50,00
vodík	6,20	6,15
kyslík	42,20	43,25
dusík	0,60	0,60
chlor	0,03	0,04
popel (%)		
v sušině	1,00	1,00
v palivu	0,70	0,70
voda (%)		
v palivu	30,00	30,00
výhřevnost (%)		
hořlaviny	18,40	18,40
paliva	12,00	12,00

1.4 Dřevní štěpka

Dřevní štěpka je strojně zkrácená a nadrcená dřevní hmota na částice o délce od 30 mm do 250 mm. Získává se z odpadů dřevní těžby a průmyslového zpracování dřeva nebo z rychle rostoucích dřevin (kmeny o menších průměrech) [3].

1.5 Dřevěné pelety

Pelety se vyrábějí z různých druhů biomasy (dřevo, dřevní odpad, piliny, stébelniny) ve specializovaných výrobnách, nazývaných peletárny. Lisují se za vysokých tlaků na protlačovacích matricových lisech obvykle do válečků [7] o průměru 6 mm až 20 mm a do maximální délky 50 mm. Výhřevnost pelet bývá v intervalu 16,5 MJ/kg až 18,5 MJ/kg [6]. Jelikož mají relativně malé rozměry, tak jsou pelety vhodné hlavně jako palivo do automatických kotlů. Pro kotle používané v rodinných domech se používají hlavně dřevěné pelety. Pelety ze stébelnin jsou vhodné pro automatické kotle s vyšším výkonem, protože v topeništích s nižším výkonem mohou vznikat potíže s odhořováním a emisemi [6].

1.6 Dřevěné brikety

Brikety, stejně jako pelety, se vyrábí z různých druhů biomasy. Nejpoužívanější pro kotle v rodinných domech jsou však dřevěné brikety. Zpracovávají se mechanicky tlakem do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů o průměru 40 mm až 100 mm a o délce do 300 mm. Narozdíl od pelet jsou vhodným topidlem do malých topenišť, lokálních kamen a kotlů a krbů s ručním přikládáním. Také mají oproti peletám relativně drobivou a nestabilní strukturu. Jejich výhřevnost se pohybuje v rozsahu 16,5 MJ/kg až 19 MJ/kg [6].

1.7 Extralehký topný olej

Extralehký topný olej (také označovaný jako topný olej č. 2) se získává destilací z ropy. Vyznačuje se délkami uhlovodíkových řetězců v rozsahu C_{11}-C_{20}. Skládá se z derivátů alifatických uhlovodíků, derivátů nenasycených uhlovodíků a derivátů aromatických uhlovodíků. Tento druh lehkého oleje má nízkou teplotu varu a používá se převážně pro vytápění domácností [8].

1.8 Zemní plyn

Zemní plyn je plynné fosilní palivo přírodního původu. Podle nejrozšířenější teorie vznikal zemní plyn z odumřelých částí těl rostlin a živočichů, které byly uloženy na dně oceánu a časem byly pokryty vrstvami bahna a písku. Působením chemických reakcí a dále postupně zvyšujícím se tlakem a teplotou, z důvodu klesání organických zbytků hlouběji pod povrch, vznikl zemní plyn. Ten se ukládal do nádrží (dutiny v nepropustných sedimentárních horninách), odkud se nyní těží, často společně s ropou. Další způsob vzniku metanu, hlavní složkou zemního plynu, je biogeneze. Metan se tvoří pomocí mikroorganismů, kteří přispívají k transformaci organické hmoty. Tyto drobné mikroorganismy se vyskytují blízko povrchu země [9].

Zemní plyn se liší složením podle místa těžby (vzniku). Kromě metanu obsahuje řadu dalších složek jako např. etan, propan, butan, oxid uhličitý, dusík a další složky (viz tabulka 3). Po těžbě obsahuje zemní plyn mnoho nečistot. V několika krocích se postupně odstraňují nečistoty v podobě ropy, vody, síry a oxidu uhličitého. Dále se zemní plyn zkapalňuje na LNG a přepravuje se tankery nebo zůstává v plynném skupenství (CNG) a je distribuován, za zvýšených tlaků (až 10 MPa), plynovody tisíce km až k zákazníkovi [2]. Výhřevnost zemního plynu se pohybuje okolo 33 MJ/m^3 [4].

Tabulka 3: Typické složení zemního plynu [10]

složky zemního plynu	objemový podíl složky v zemním plynu
metan	80-99 %
etan	0–10 %
propan	0–5 %
butan	0–2 %
pentan	0-0,5 %
dusík	0-15 %
oxid uhličitý	0-1 %

1.9 Propan

Propan je tříuhlíkový alkan, který se vyskytuje v plynném skupenství při standardní teplotě a tlaku. Vyrábí se jako vedlejší produkt při zpracování zemního plynu nebo rafinací ropy. Skladuje se ovšem v kapalné podobě pod tlakem v nádržích, jelikož v kapalné podobě má 270krát vyšší hustotu energie než v plynné podobě [8].

2 Zdroje vytápění

Vytápění v domácnostech může mít mnoho podob. Od kotlů (nebo menších topidel) spalující tuhá, kapalná či plynná paliva, až po různé varianty elektrického vytápění. Níže je uveden stručný přehled tepelných zdrojů, které bývají využívané v rodinných domech.

2.1 Kotle na tuhá paliva

Ve střední Evropě jsou rozšířené teplovodní kotle. Jako teplonosné médium se používá voda. Jelikož potřebný výkon pro nízkoenergetické domy je příliš malý, doporučuje se ještě instalace akumulační nádrže, která slouží k odebrání přebytečného výkonu kotle a k uložení tepla na pozdější dobu [11].

2.1.1 Prohořívací kotel

U prohořívacích kotlů spalování probíhá v celé dávce paliva ve stejnou dobu. Palivo je dávkováno přes horní dveře a položeno na roštu. Ze spodu je přiváděn primární vzduch, který napomáhá hoření. Plamen a spaliny prohořívají a prochází přiloženou vrstvou paliva do horní části kotlového tělesa, ve které je umístěný výměník. Ve výměníku spaliny předávají teplo teplonosné látce, tedy vodě. Částečná regulace výkonu probíhá termostatickým regulátorem tahu. Přivádí se více či méně primárního vzduchu. Sekundární vzduch je přiváděn nad dávku paliva, kde probíhá druhé spalování. Popel se odstraňuje přes spodní dvířka.

Tento typ kotle je konstrukčně nejjednodušší (konstrukce je obvykle z litiny) a také vývojově nejstarší ze zmíněných druhů kotlů. Kotle mají nižší účinnost transformace chemického paliva na tepelnou energii a jejich další nevýhodou je vyšší produkce emisí v porovnání s novějšími typy kotlů. Průběh spalování paliva bývá periodický. Tedy kolísá výkon a s tím spojená teplota otopné vody. Čím kratší je interval přikládání paliva, tím je zajištěn plynulejší chod kotle, což ovšem není moc přívětivé pro uživatele, který musí často ručně přikládat palivo. Řez prohořívacím kotlem je na obrázku 1 [12] [13] [3].

Obrázek 1: Funkční schéma prohořívacího kotle [13]

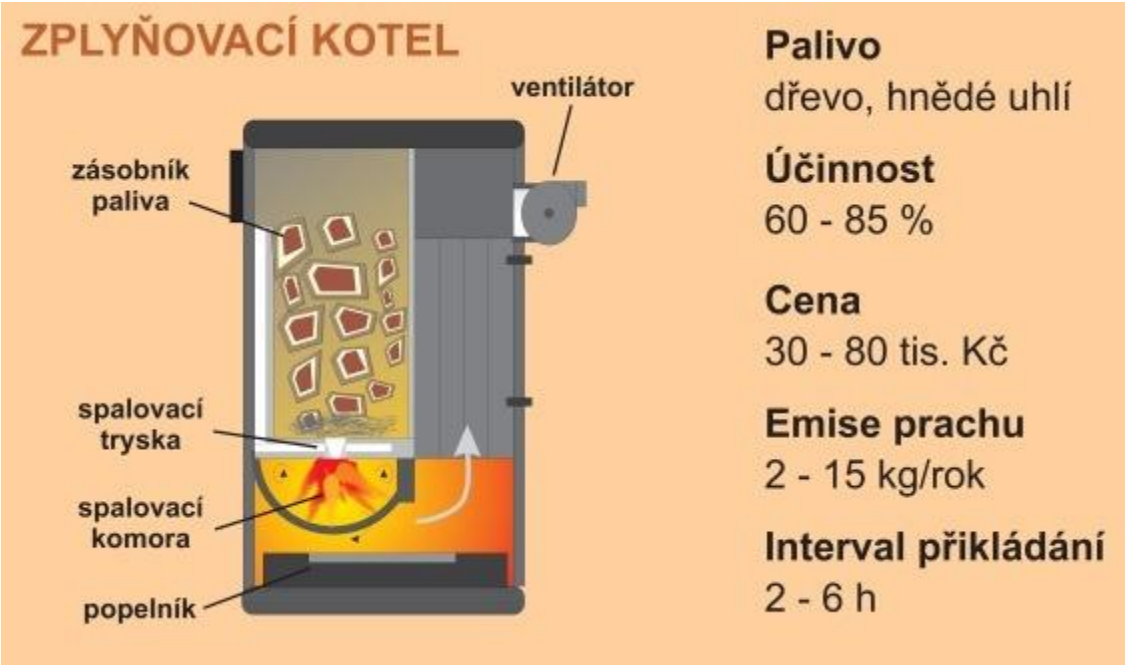
2.1.2 Odhořívací kotel

Odhořívací kotel je opět typ kotle s ručním přikládáním paliva, které se umisťuje do násypky. Palivo se postupně vlastní vahou sesypává na rošt, kde dochází k hoření. Spaliny a spalovací vzduch jsou vedeny dospod nebo do boku topeniště a prochází pouze malou vrstvou paliva. Dochází tedy ke kvalitnějšímu vyhoření než u prohořívacích kotlů. Popel propadá skrz rošt do popelníku. Interval přikládání paliva a částečná regulace výkonu jsou podobné jako u prohořívacích kotlů. Běžně se v odhořívacím kotli využívá přirozeného tahu pro odvod spalin, některé kotle bývají vybaveny ventilátorem. Řez prohořívacím kotlem je na obrázku 2 [12] [13] [3].

Obrázek 2: Funkční schéma odhořívacího kotle [13]

2.1.3 Zplyňovací kotel

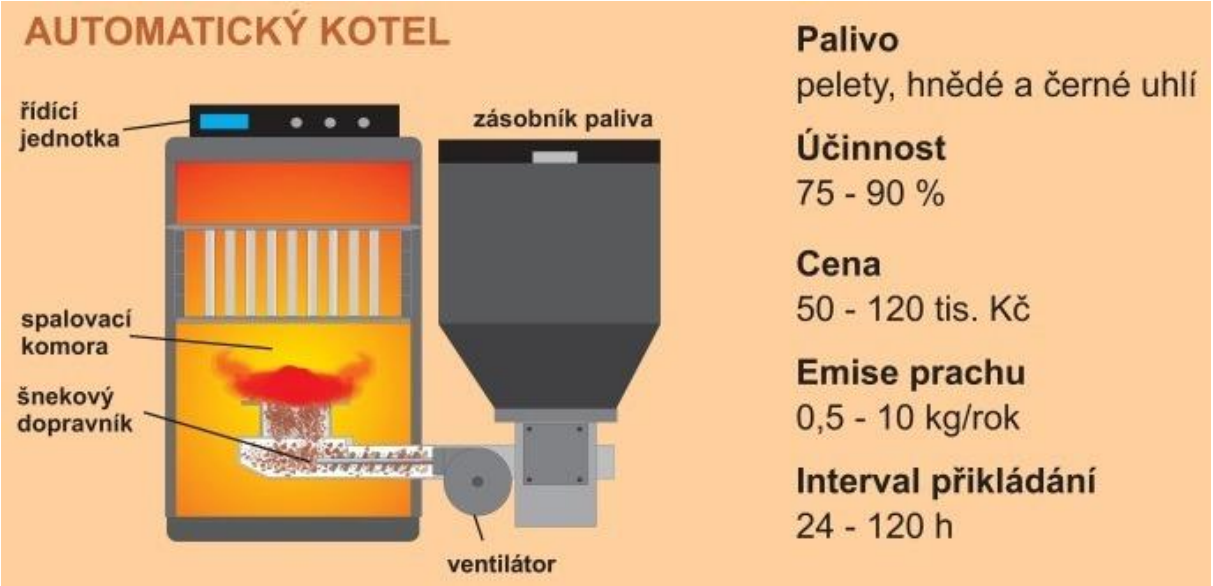
Nejmodernější způsob spalování paliva nabízí zplyňovací kotel. Zplyňování je proces, kdy se některé organické a anorganické látky v palivu, za mírného přetlaku primárního vzduchu vytvářeného vzduchovým ventilátorem, tepelně rozkládají a vznikají některé hořlavé plyny (vodík, oxid uhličitý a methan) a nehořlavé produkty. Zplyňování probíhá v zásobníku kotle. Pod zásobníkem se nachází žárobetonová nebo keramická tryska, kterou prochází již vzniklé hořlavé plyny, které se smísí s předehřátým sekundárním vzduchem. Vznikne hořící směs plynů, která hoří ve spalovacím prostoru kotle. Spaliny jsou odváděny přes trubkový výměník tepla do komína. Zplyňovací kotle mají vyšší účinnost než předešlé dva kotle. Také se vyprodukováno méně emisí. Řez zplyňovacím kotlem je vyobrazen na obrázku 3 [12] [13] [3].



Obrázek 3: Funkční schéma Zplyňovacího kotle [13]

2.1.4 Automatický kotel

Jedná se o ekologicky a uživatelsky nejpřívětivější volbu spalovacího zařízení na tuhá paliva. Na druhou stranu bývají tyto kotle také dražší z důvodu technické náročnosti konstrukce a stupně automatizace kotle. Velice důležitou součástí bývá řídící jednotka, která komunikuje s uživatelem a řídí všechny procesy dávkování a s tím spojené spalování paliva. Zásobník paliva je umístěn mimo kotel. Ze zásobníku do hořáku se dodává automaticky pouze potřebné množství paliva a to pomocí (např. šnekového) dopravníku. Palivo se přikládá do zásobníku v intervalu několika jednotek dní, narozdíl od předešlých kotlů na tuhá paliva, kde je interval přikládání v rámci několika hodin. U automatických kotlů se můžeme setkat s různými druhy konstrukcí topenišť. Nejčastěji se v nich spalují dřevní pelety nebo hnědé uhlí. Řez automatickým kotlem je na obrázku 4 [12] [13] [3].



Obrázek 4: Funkční schéma automatického kotle [13]

2.2 Vestavená spalovací zařízení

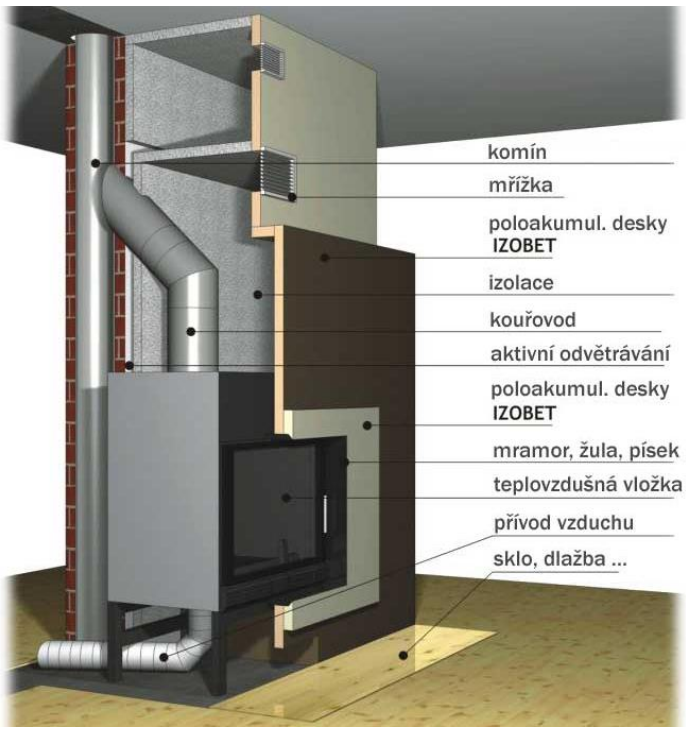
Vestavená spalovací zařízení spalují tuhá paliva a mají spalovací prostor obestavěný akumulačními nebo izolačními deskami. Bývají součástí stavby. Mezi typická vestavená spalovací zařízení patří krby, krbové vložky a kachlová kamna [1].

2.2.1 Otevřený krb

Jedná se o nejméně vhodný způsob vytápění. Tento krb má velmi nízkou účinnost (přibližně 10 %), protože v ohništi je velký přebytek vzduchu a převážná část tepla odchází komínem. Ohřev v místnosti probíhá pouze sáláním plamene a žhavé vrstvy paliva. Další nevýhoda je, že jedovaté spaliny mohou odcházet do místnosti. Ohniště je součástí stavby a jeho přední část je otevřená, tedy bez dvířek. Stěny jsou tvořeny cihlami nebo kamenem [1].

2.2.2 Krbová vložka

Jedná se o uzavřený krb s účinností až 80 %. U tohoto typu krbu nehrozí únik spalin do místnosti nebo vypadnutí žhavého paliva nebo jisker ven z krbu. Krb uzavírají přední prosklená dvířka a spalovací prostor je tvořený ocelovými nebo litinovými stěnami. Uvnitř je spalovací prostor obložen keramickou vyzdívkou. Přívod spalovacího vzduchu je zaváděn ve třech místech do spalovací komory. Skrze rošt za účelem zapálení paliva. Dále skrze otvory umístěné většinou v zadní stěně krbu za účelem dohoření prchavé hořlaviny. A nakonec na horní okraj skla za účelem zabránění usazování sazí na skle [1].



Obrázek 5: Schéma teplovzdušného krbu s teplovzdušnou krbovou vložkou [57]

2.2.3 Kachlová kamna

Předností kachlových kamen je jejich akumulační funkce, tedy uchovávání tepla. Tyto kamna jsou schopny vytápět místnost i den po vyhasnutí ohně. Stěny kamen jsou často obloženy keramickými prvky. Většinou se jejich topeniště nachází mimo vytápěnou místnost, mohou však být i ve variantě s prosklenými dvířky (podobný efekt jako krb). Dále obsahují akumulační prvky, mohou obsahovat teplovodní výměník a mohou sloužit i k jiným účelům (např. k vaření) než k vytápění [1].

2.3 Lokální topidla

Lokální topidla jsou zařízení stojící samostatně. Jejich konstrukce i instalace jsou jednoduché. Kamna se kouřovodem připojí na komín. Teplo uvolněné spalováním tuhých paliv bývá odváděno zářením a konvekcí skrze stěnu do místnosti. Hlavní typy lokálních topidel jsou kamna (často krbová) a kuchyňský sporák [1].

2.3.1 Krbová kamna

Základem konstrukce krbových kamen je svařenec z ocelových plechů. Prostor topeniště se obkládá cihlami, či deskami, které odolávají vysokým teplotám. Přikládací dvířka jsou prosklené. Uprostřed dna topeniště se nachází litinový rošt. V horní části krbových kamen je přivařen výměník [14].

2.3.2 Kuchyňský sporák

Hlavním úkolem sporáku je vaření a pečení pokrmů. Vedlejším efektem je pak topení. Velkou nevýhodu je, že není možné obě funkce dokonale oddělit. Tedy když se vaří, tak se zároveň i topí [11].

2.4 Plynové kotle

Spotřebiče na zemní plyn jsou rozděleny podle přívodu vzduchu a odvodu spalin na 3 kategorie (A, B a C), viz tabulka 4. Nejčastěji se využívají malé kotle na zemní plyn. Vyrábí se ve variantě závěsné (zavěšené na zdi) nebo stacionární (stojící na podlaze). Využívají se buď pouze k vytápění nebo k vytápění a k přípravě teplé vody (kombinované kotle). Podle teploty odcházejících spalin lze kotle rozlišit na tři typy. Standartní, nízkoteplotní a kondenzační kotle [1].

Tabulka 4: Rozdělení spotřebičů na zemní plyn do kategorií [1]

kat.	přívod vzduchu	odvod spalin	příklady spotřebičů v dané kategorii
A	z prostoru, kde je spotřebič instalován	do prostoru, kde je spotřebič instalován	plynové sporáky, vařiče, velkokuchyňské spotřebiče
B	z prostoru, kde je spotřebič instalován	do venkovního prostoru	většina plynových kotlů s atmosférickými hořáky, některé typy topidel
C	z venkovního prostoru	do venkovního prostoru	závěsné kotle s přívodem vzduchu a odvodem spalin na fasádu, kotel se samostatným kouřovodem

2.4.1 Standardní kotel

V standardním (klasickém) plynovém kotli dochází ke spalování plynných paliv, které produkují teplo a teplem se ohřívá teplonosná látka. Může sloužit k vytápění i k přípravě teplé vody v domácnostech [15]. Tento typ kotle je navržený pro provoz se suchými spalinami, tj. se spalinami, jejichž teplota je vyšší než teplota rosného bodu. Teplota vstupní vody do kotle bývá vyšší než 60 ºC a teplota spalin v rozsahu 120 ºC až 180 ºC. Na rozdíl od kondenzačního kotle nedochází ke kondenzaci vlhkosti z vodní páry obsažené ve spalinách. Účinnost tohoto typu kotle tedy bývá nižší [16].

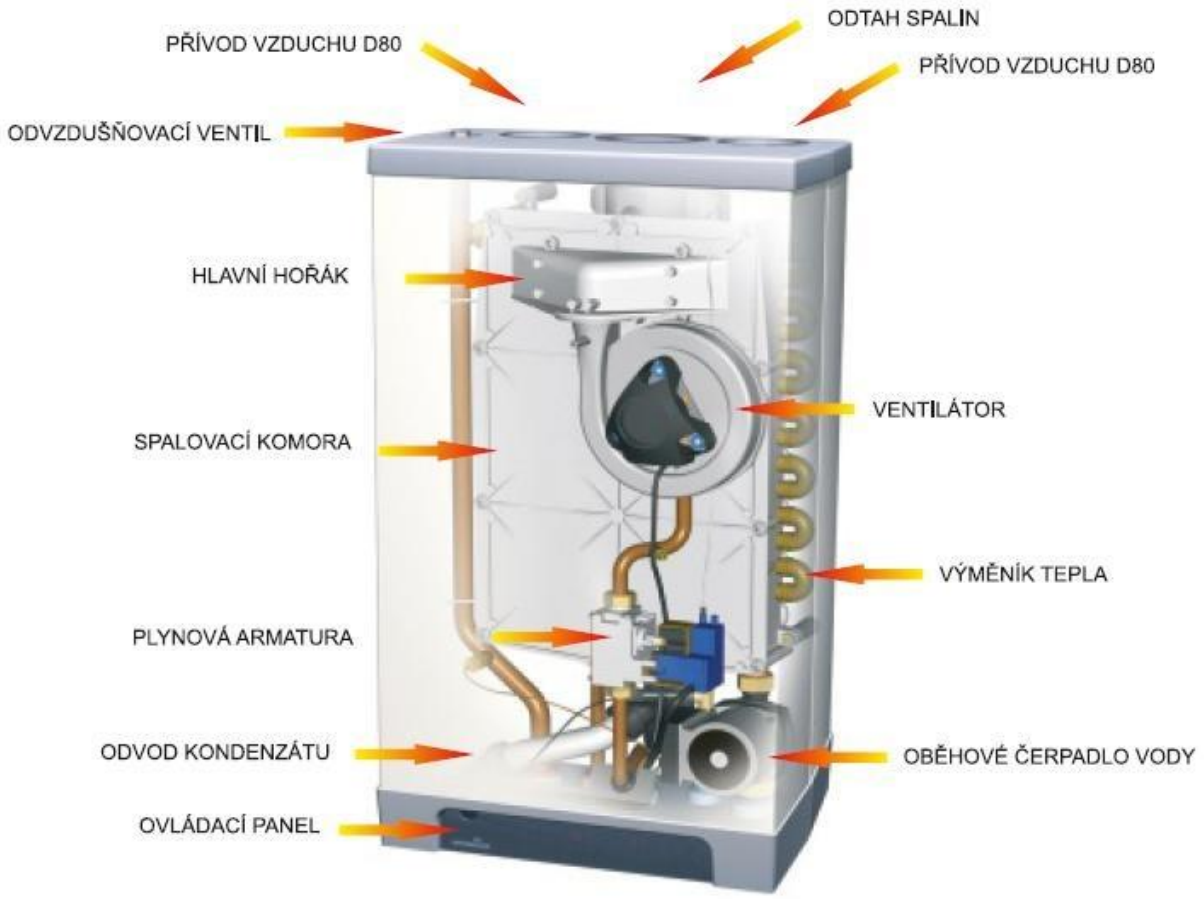
2.4.2 Nízkoteplotní kotel

Nízkoteplotní kotel je vhodný provoz se suchými spalinami, ale může uvnitř za určitých podmínek docházet ke kondenzaci. Aby tyto kotle dobře odolávaly korozi, jejich teplosměnná plocha je z litiny. Teplota spalin bývá v rozsahu 90 ºC až 120 ºC [1].

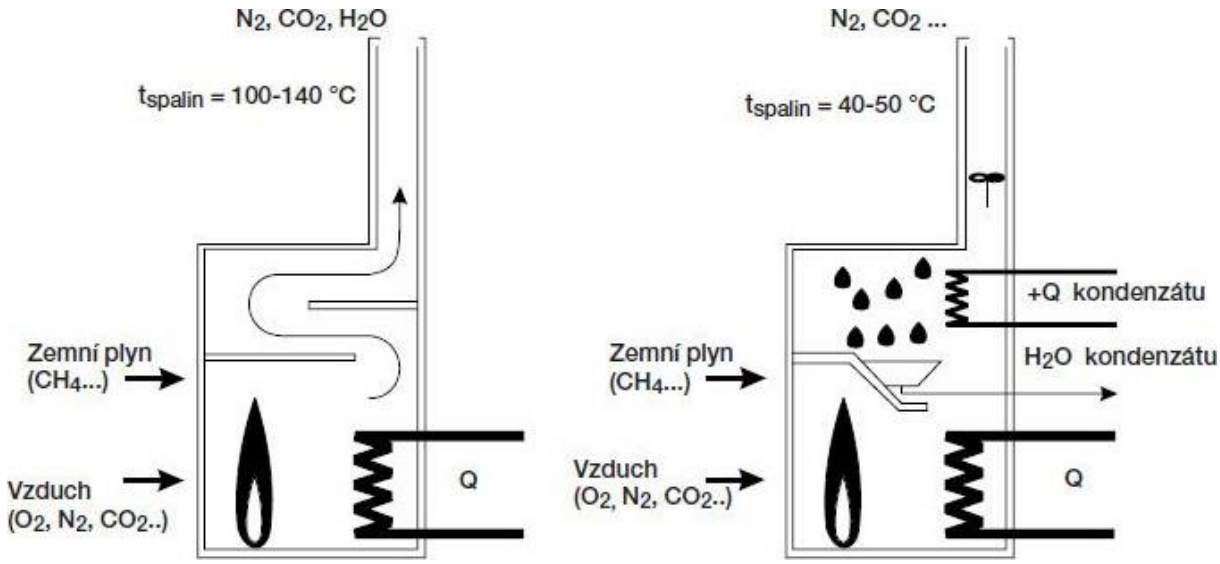
2.4.3 Kondenzační kotel

Kondenzační kotel využívá principu kondenzace. Při spalování zemního plynu vznikají spaliny, jejichž součástí je i vodní pára. Kondenzační kotel ji dokáže využít na rozdíl od standardního kotle, u kterého vodní pára odchází komínem nevyužitá. Vodní pára se v kotli ochlazuje pomocí vratné studené vody (voda, která se vrací z otopného systému do kotle) a kondenzuje. Vodní pára tedy předá teplo vratné vodě a ta se předehřeje (mírně zvýší svoji teplotu). Kotel už pak dohřeje vodu na požadovanou teplotu. Díky předehřátí kotel nemusí ohřívat vodu o tolik stupňů, sníží se tedy spotřeba plynu.

Většina kondenzačních kotlů funguje při teplotě vratné vody do 55 ºC, protože při vyšších teplotách již nedochází ke kondenzaci [17]. Teplota spalin je v rozsahu 40 ºC až 90 ºC. Jelikož je tato teplota relativně nízká, nestačí pro vytvoření dostatečného tahu v komíně. V kondenzačním kotli se proto instaluje vzduchový nebo spalinový ventilátor [15]. Řez kondenzačním plynovým kotlem a znázornění jeho hlavních částí je na obrázku 5.



Obrázek 6: Schéma kondenzačního plynového kotle [50]



Obrázek 7: Schematické porovnání standardního (vlevo) a kondenzačního (vpravo) kotle [18]

2.5 Olejové kotle

Olejové vytápění se skládá z několika částí. A to z tepelné techniky, ze systému odvodu spalin pomocí kouřovodů a z uložiště paliva (extralehkého topného oleje), tedy nádrže. Do tepelné techniky se řadí samotný kotel, hořák pro spalování oleje, bojler, regulace, oběhové čerpadlo atd. Kotle jsou nabízeny (obdobně jako u plynových kotlů) v provedení stacionárním nebo závěsném. Rovněž typy olejových kotlů, nízkoteplotní a kondenzační kotel (popis těchto typů kotlů viz plynové kotle), fungují na stejném principu jako kotle plynové, akorát nespalují zemní plyn, ale kapalný extralehký topný olej. Kotle mohou být připojeny k tepelné soustavě (radiátory, podlahové topení) [19].

2.6 Elektrické zdroje

U elektrického topení dochází k přeměně elektrické energie na tepelnou. Šíření tepelné energie může probíhat prouděním (konvekcí), sáláním (radiací), popř. kombinací obojího [20]. Podle zdrojů tepla se dá roztřídit topení elektřinou na přímotopné zdroje, akumulační zdroje a tepelná čerpadla, která rovněž mohou využívat elektrickou energii.

Pro odběr elektřiny se využívají dvoutarifové sazby. Elektřina je dodávána k zákazníkovi v nízkém nebo vysokém tarifu. Nízký tarif šetří peníze. Ovšem časové úseky u nízkého tarifu musí být maximálně jednohodinové. Ve zbylém čase je elektřina dodávána ve vysokém tarifu. U topení elektřinou se využívá často kombinace vytápějících zdrojů [21].

2.6.1 Přímotopné zdroje

Přímotopné zdroje mění elektrickou energii na tepelnou pomocí speciálních vodičů (drát, kabel, fólie) s potřebným odporem, kterými protéká elektrický proud. Tepelná energie je poté předána do vytápěného prostoru. Tyto zdroje tepla mohou topit přímo ve vytápěné místnosti (přímotopné konvektory, sálavé panely, infrazářiče a topné folie či kabely) nebo i mimo místnost (elektrokotel, přímotopný ohřívač vzduchu ve větracím systému) a dodávají teplo prostřednictvím otopné vody nebo ohřívaného vzduchu do požadovaných místností [21].

- **Nástěnný elektrický konvektor**

Předává teplo konvekcí, když nastává v místnosti teplotní deficit. Dodávku tepla řídí vestavěný termostat. Vzduch je nasáván v dolní části topidla, dále proudí kolem topného tělesa a ohřátý samovolně nebo nuceně pomocí ventilátoru vystupuje mřížkou v horní části topidla [20] [22].

- **Nástěnný sálavý přímotop**

Jedná se o jakýsi hybrid mezi elektrickým konvektorem a sálavým panelem. Asi polovina tepla se šíří konvekcí, další polovina sáláním. Tento přímotop současně ohřívá vzduch topidlem a vyzařuje teplo absorbované v plášti topidla [20].

Obrázek 8: Nástěnný elektrický konvektor [51]

Obrázek 9: Nástěnný sálavý přímotop [52]

- **Podlahový elektrický konvektor**

Tento elektrický konvektor je umístěný v podlahovém žlabu s krycí mřížkou. Funguje na stejném principu jako nástěnný konvektor. Je vybavený ventilátorem, který nasává chladný vzduch [22].

- **Sálavý stropní panel**

U sálavých stropních panelů převažuje sálavá složka přenosu tepla. Jedná se o desky vyrobené z ocelového pozinkovaného plechu se speciální povrchovou úpravou nebo o desky skleněné. Topným prvkem tohoto panelu bývá tkaná topná fólie na bázi grafitu [20].

- **Nástěnný sálavý panel**

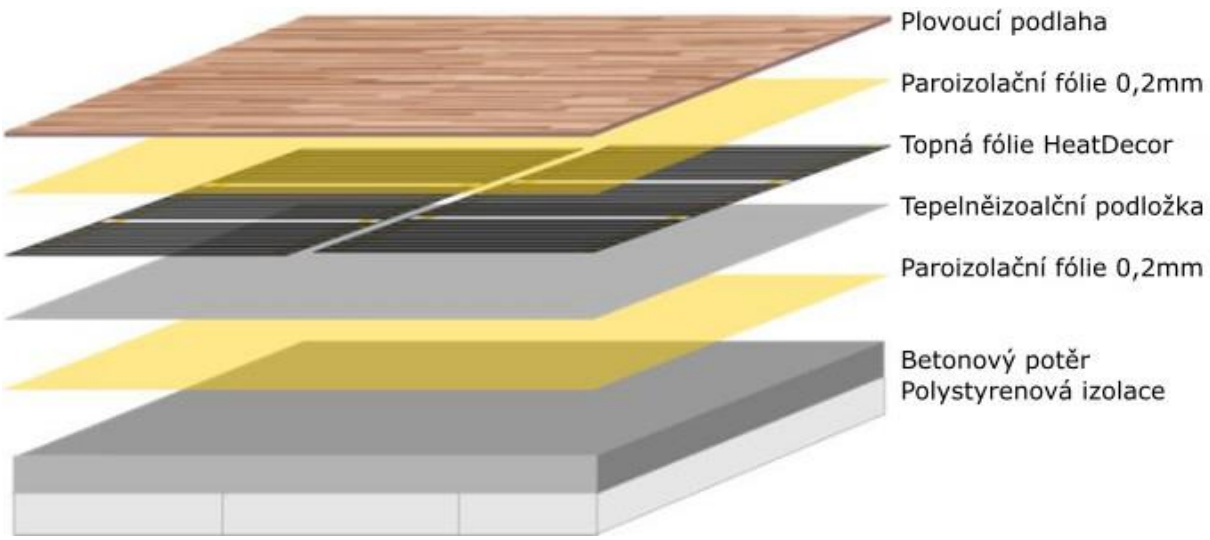
Funguje stejně jako stropní sálavý panel. Vyrábí se z tvrzeného skla nebo z kamene [20].

- **Infrazářič**

Infrazářič využívá infračervené záření, tedy sálání. Topným prvkem je několik infražárovek ve tvaru tenké trubice [20].

- **Podlahová topná fólie**

Jedná se o tenkou fólii o tloušťce 0,4 mm. Používá se při suché skladbě podlahové konstrukce a umisťuje se pod finální vrstvou podlahy (plovoucí podlaha, PVC, koberec). Podlahová topná fólie funguje jako přímotopný zdroj tepla, protože finální vrstva podlahy nemá dostatečnou akumulační schopnost [20].



Obrázek 10: Schéma uložení podlahové topné fólie [23]

- **Elektrokotel**

U elektrokotlů se mění v topných tělesech elektrický proud na teplo. Jednotlivá topná tělesa se spínají v určitém časovém odstupu, aby se zabránilo nadměrnému zatížení sítě při sepnutí. Následně ohřátá teplá voda se rozvádí pomocí oběhového čerpadla po celém topném systému [24].

2.6.2 Akumulační zdroje

Akumulační zdroje ukládají tepelnou energii vyrobenou z elektřiny v době nízkého tarifu do akumulátoru tepla (teplovodní zásobník, magnezitové cihly, betonová vrstva podlahy). Tepelná energie může být pak využitá v době vysokého tarifu. Akumulační zdroje jsou umístěné buď přímo ve vytápěné místnosti (akumulační kamna) nebo v rámci otopné soustavy (akumulační teplovodní zásobník) [21].

- **Akumulační kamna**

Akumulační kamna se skládají z tepelně izolovaného pláště a uvnitř výhřevným jádrem. Jádro může být například z magnezitových cihel a mezi těmito cihlami jsou vložené topné tyče. Energie dodávaná topnými tyčemi se uloží v akumulačních cihlách a následně se využije v době vysokého tarifu. Přenos tepla je konvekcí. Vzduch proudí samovolně kolem cihel nebo pomocí ventilátoru. Nahřívání cihel bývá řízeno hromadným dálkovým ovládáním dodavatelem elektrické energie [22].

- **Stěnová topná fólie**

Jedná se o 0,4 mm tlustou fólii, která zahřívá pomocí sálání sádrokartonovou desku ve stěně. Nepředává tedy teplo do místnosti napřímo, ale akumuluje teplo v sádrokartonové desce [20].

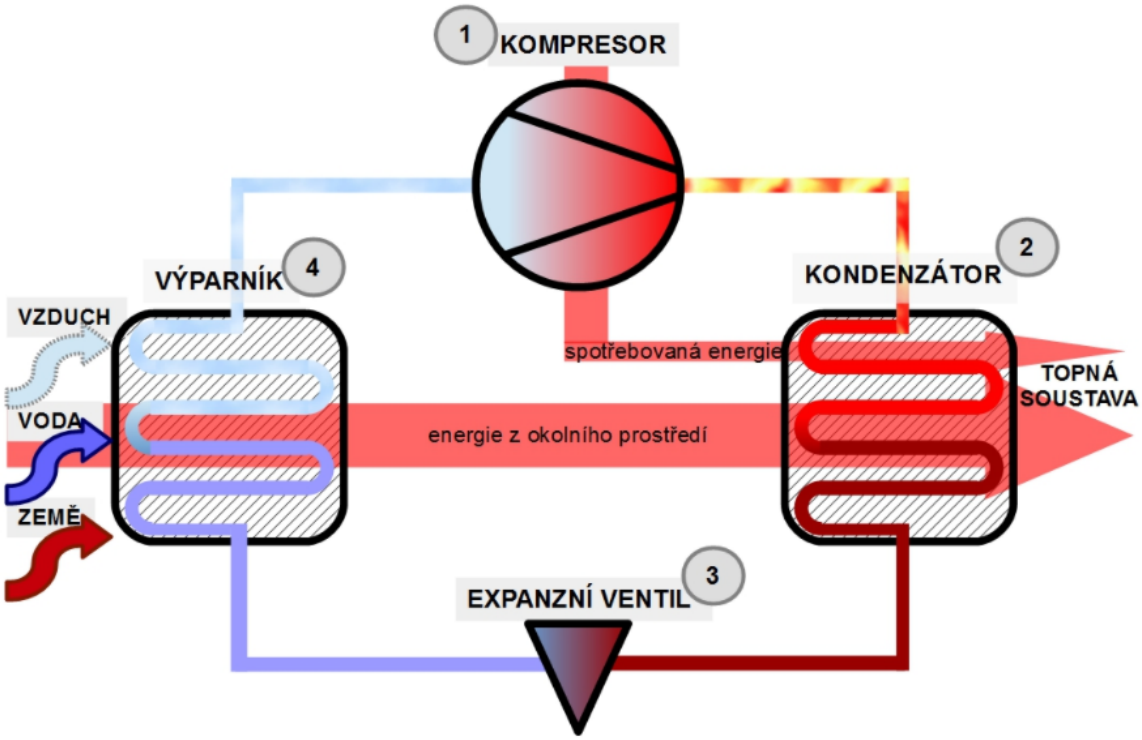
- **Topný kabel a rohože**

Topným prvkem je elektrický odporový kabel. Bývá volně položený (topný okruh) nebo zafixovaný na tkanině (topná rohož). Teplo se přenáší sáláním a akumuluje se v podlaze. Využívá se v mokré skladbě podlahové konstrukce. Kabely jsou zalité nejčastěji tenkou vrstvou betonu [20].

2.6.3 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které odnímá teplo z jedné teplonosné látky (voda, vzduch nebo země) s nižší teplotou a předává ho do jiné teplonosné látky (vzduch, voda) s vyšší teplotou. Slouží tedy k transportu tepelné energie. Tento proces neprobíhá samovolně, proto musíme dodat energii. Energii dodáváme na pohon kompresoru nebo na procesy probíhající v sorpčním materiálu [25].

Kompresorové tepelné čerpadlo je založeno na skutečnosti, že teplota varu chladícího média (nejčastěji freon, oxid uhličitý, propan nebo čpavek) závisí na tlaku. Chladivo mění (kvůli změnám tlaků) cyklicky své skupenství v uzavřeném pracovním okruhu. Tento okruh se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu. Ve výparníku se chladivo vypaří za nízké teploty a tím spotřebuje teplo. Poté se chladivo ve formě plynu stlačí kompresorem. Kompresor je poháněn vnější energií, nejčastěji elektrickou. Dále v kondenzátoru se stlačené chladivo ochladí a zkondenzuje. Vznikne teplo, které odvádí ohřívaná látka. V expanzním (škrtícím) ventilu se sníží tlak chladiva na výchozí hodnotu a cyklus se znovu opakuje [26]. V současné době se používají nejčastěji spirálové kompresory typu scroll nebo rotační lamelové kompresory [25].



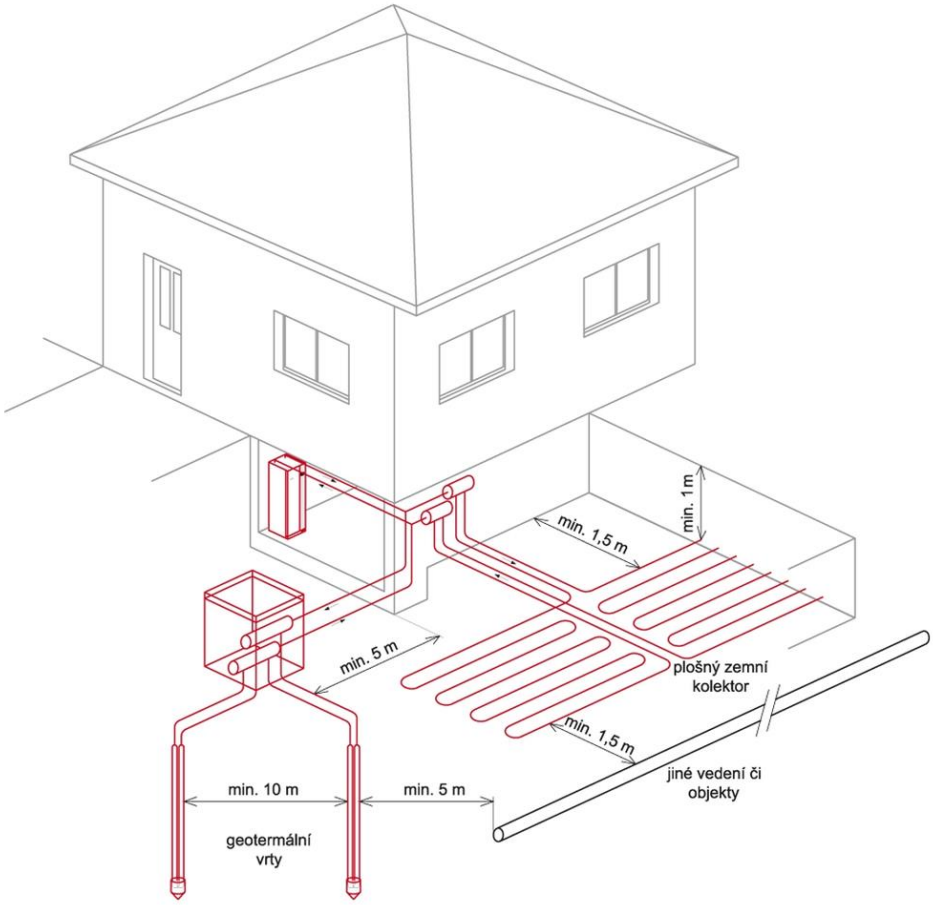
Obrázek 11: Schéma kompresorového tepelného čerpadla [53]

Dalším typem tepelného čerpadla, je čerpadlo sorpční. Využívá se fyzikálního děje absorpce (popř. adsorpce). Místo kompresoru se využívá tepelná energie, která umožňuje cyklický proces navazování chladiva (nejčastěji čpavek nebo bromid lithný) při nízké teplotě na absorbent (nebo adsorbent) a její opětné uvolňování při teplotě vyšší [25].

Energetická efektivita se popisuje u tepelného čerpadla topným faktorem. Topný faktor udává poměr získané tepelné energie ku spotřebované elektrické energii. Obvykle se tato hodnota pohybuje v intervalu 2,5 až 5 a platí, že čím je tato hodnota vyšší, tím je provoz tepelného čerpadla efektivnější [27].

- **Tepelné čerpadlo země-voda**

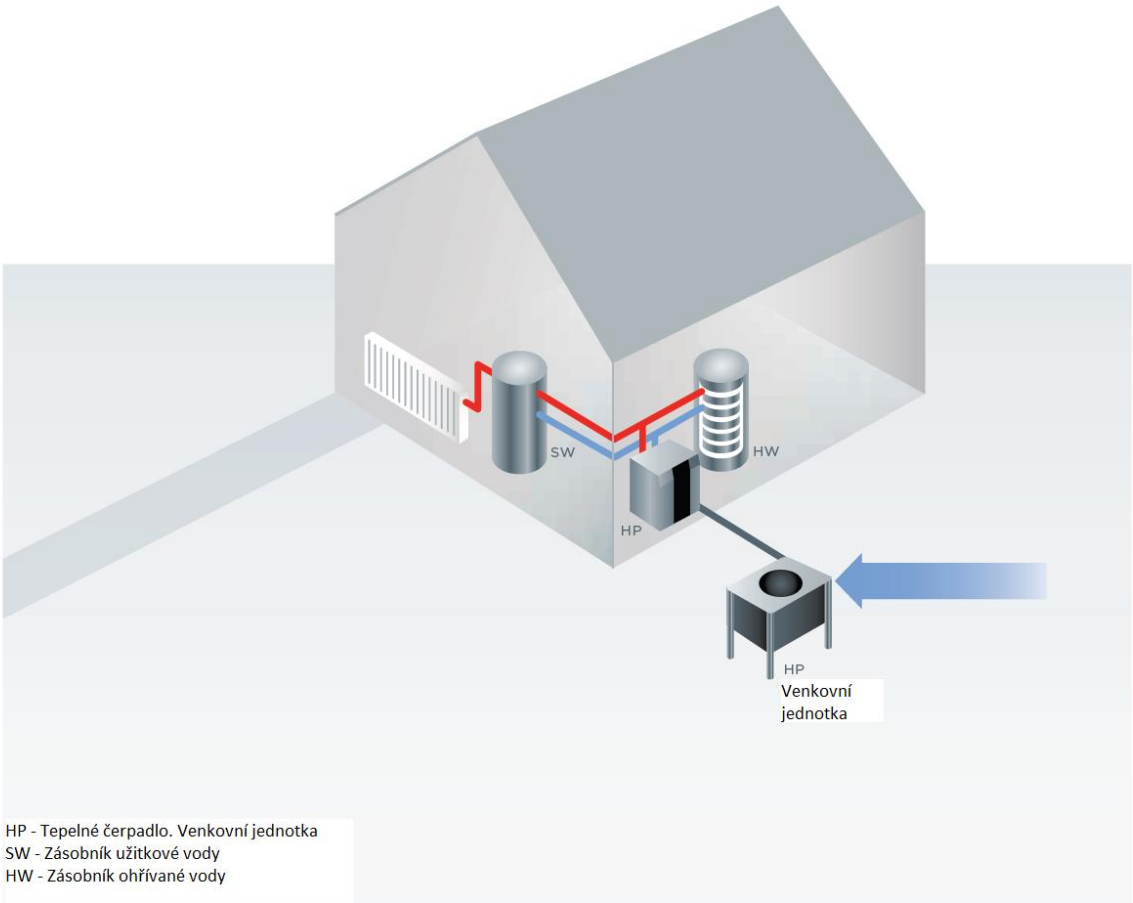
Tento typ čerpadla odebírá teplo z půdy a předává ho vodě do topného systému. Existují dvě varianty, jak získat teplo z půdy. Využívá se hlubinných vrtů nebo zemního plošného kolektoru. Hloubka a počet vrtů závisí na výkonu tepelného čerpadla. Např. pro tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW je potřeba přibližně 120–180 m délky vrtů. Do vrtů se vkládá plastová trubka, v které proudí nemrznoucí kapalina. Hlavní předností tepelného čerpadla využívajících hlubinných vrtů je stabilní teplota zdroje tepla z vrtu a tím i provoz s nízkými náklady. Hlavní nevýhodou jsou poměrně vysoké pořizovací náklady na vytvoření vrtů. Druhou možností je odběr tepla z půdy v hloubce přibližně 1-1,8 m plastovou trubkou (zemním kolektorem), kterou proudí nemrznoucí kapalina. Pro tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW je potřeba přibližně 250-350 m^2 plochy pozemku. Je tedy nutnost mít dostatečně velký pozemek [28].



Obrázek 12: Schéma hlubinných vrtů a zemních kolektorů [54]

- **Tepelné čerpadlo vzduch-voda**

Tepelné čerpadlo vzduch-voda odebírá teplo z venkovního vzduchu a předává ho vodě do topného systému. Vyrábí se ve třech mírně odlišných variantách. První variantou je samostatná venkovní a vnitřní jednotka, tzv. splitové provedení, další variantou je kompaktní provedení venkovní (celé tepelné čerpadlo je venku) a poslední možnost je kompaktní provedení vnitřní (celé tepelné čerpadlo je ve vnitřních prostorách). Tento typ tepelného čerpadla lze použít téměř ve všech případech. Není omezen místními podmínkami jako např. velikostí pozemku, vhodnosti podloží, výskytem vody apod. Nevýhodou je, že čím nižší je venkovní teplota, tím více klesá výkon tepelného čerpadla. Zvyšují se také náklady na provoz [28].



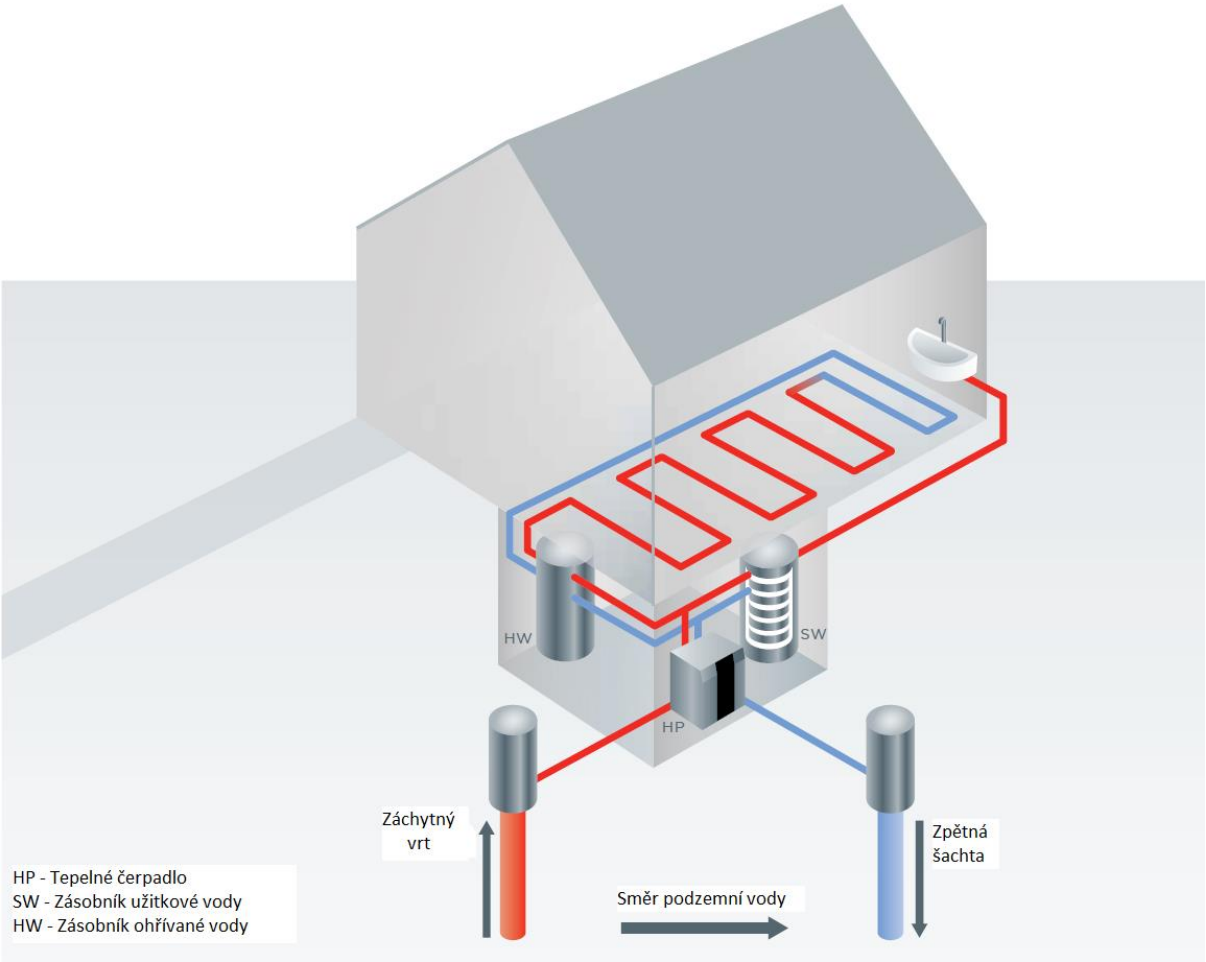
Obrázek 13: Schéma tepelného čerpadla vzduch-voda s venkovní jednotkou s ventilátorem [55]

- **Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch**

Tento typ tepelného čerpadla odebírá teplo z venkovního vzduchu a předává ho vnitřnímu vzduchu. Je tedy určeno pro teplovzdušné vytápění nebo pro klimatizaci [28].

- **Tepelné čerpadlo voda-voda**

Tepelné čerpadlo voda-voda získává teplo ze studny nebo z povrchové vody (rybník, řeka) a předává ho vodě do topného systému. Voda ze studny se čerpá většinou klasickým ponorým čerpadlem, v tepelném čerpadlem se ochladí a vrací se zpět do vsakovací studny. Je tedy potřeba zhotovit celkem dvě studny (sací a vsakovací). Další možností je využít vodu z rybníka nebo z řeky. Na dně leží kolektor z plastových trubek, kterým proudí nemrznoucí teplonosná látka. Obě tyto možnosti mají nižší pořizovací náklady např. ve srovnání s hlubinnými vrty. Problémem je ale výskyt dostatečného množství neznečištěné vody v dané lokalitě [28].



Obrázek 14: Schéma tepelného čerpadla voda-voda se sací a vsakovací studnou [56]

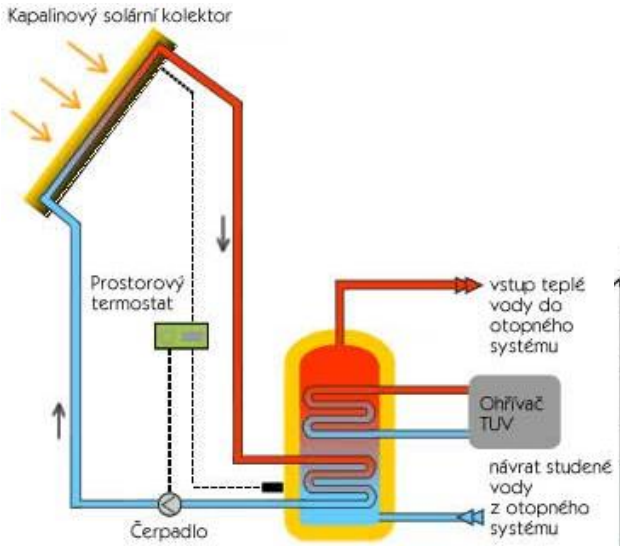
2.7 Solární vytápění

Obnovitelná energie ze Slunce se využívá na výrobu elektřiny (fototermická a fotovoltaická zařízení) a na ohřívání vody (sluneční kolektory). Pro vytápění se solární energie využívá velmi málo. Důvodů je několik. Např. nejvíce tepla vyrobí sluneční záření v létě (v našich zeměpisných šířkách), kdy není teplo potřeba a v zimních obdobích je vyrobeno tepla podstatně méně. Stejně tak přes den se vyrobí více tepelné energie než v noci.

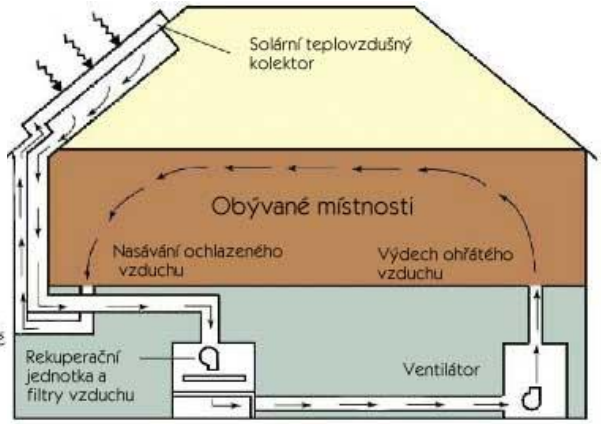
Energie získaná v létě lze uchovat na zimu ve velkých zásobnících vody. Musí být však dobře zaizolovaná budova a instalované nízkoteplotní topení (např. vytápění podlahou, stěnami, stropem). Tato akumulace přes zimu je však ekonomicky velmi nákladná [29]. Solární vytápění lze rozlišovat pomocí tří technologií. Solární vytápění kapalinové, teplovzdušné a fotovoltaické [30].

2.7.1 Kapalinové solární vytápění

Základní částí jsou kapalinové solární ploché kolektory. Jsou to desky, složené z pláště kolektoru, absorbéru, tepelné izolace a průhledného krytu. Sluneční záření proniká průhledným krytem (sklem) a dopadá na absorbér. Absorbér pohltí záření a tím se zahřeje. Absorbérem protéká kapalina (nejčastěji voda) v trubkách. Z kolektoru je voda vedena do otopného systému [29].



Obrázek 16:Schéma kapalinového solárního vytápění [30]



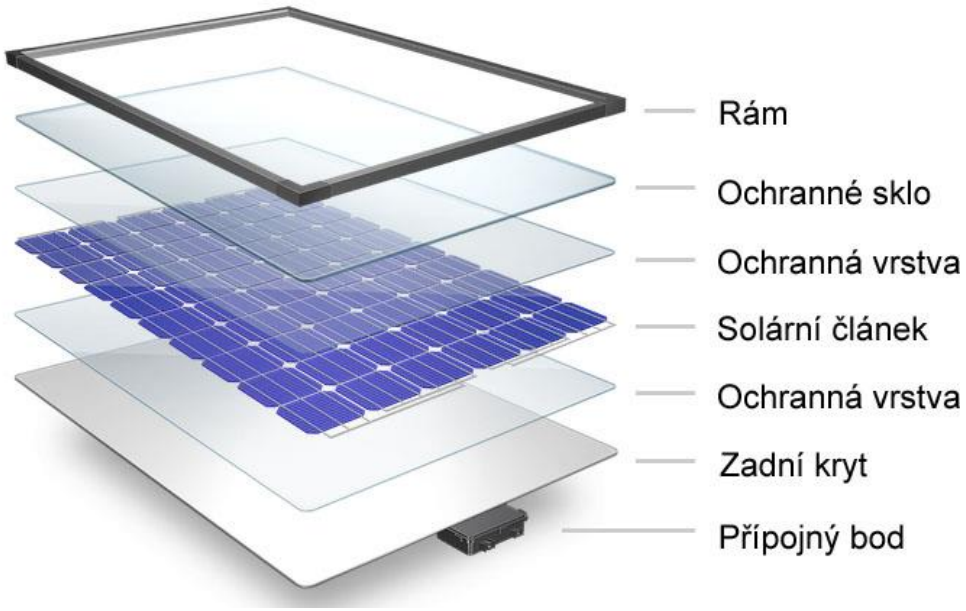
Obrázek 15: Schéma teplovzdušného solárního vytápění [30]

2.7.2 Teplovzdušné solární vytápění

Základní částí jsou teplovzdušné solární ploché kolektory. Ty jsou podobné jako u kapalinového solárního vytápění, s tím rozdílem, že v absorbéru v trubkách neproudí voda, ale vzduch. Teplovzdušné solární kolektory jsou napojeny na teplovzdušné vytápění domu. Ohřátý vzduch je ventilátory vháněn do systému teplovzdušného vytápění objektu, kde společně s rekuperační jednotkou slouží jak vytápění, ventilace a klimatizace dohromady [30].

2.7.3 Fotovoltaické solární vytápění

Základní částí jsou fotovoltaické solární panely. Panely jsou opatřeny vrstvou fotovoltaických článků, které mění přímo sluneční záření na elektrickou energii. Ta je pak využitá v elektrických zdrojích tepla (přímotopné zdroje, akumulační zdroje, tepelná čerpadla) [30].



Obrázek 17: Schéma fotovoltaického panelu [58]

3 Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet tepelných ztrát byl realizován dle normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Byla použita základní metoda, která je univerzální a všestranná [31].

3.1 Popis vybraného objektu

Vybraný modelový dům (viz. obrázek 18) je rodinný dům, nacházející se v kraji Vysočina ve městě Telč. Konkrétně ve východní části města. Tento dům byl postaven v roce 1936. V průběhu let zde probíhaly postupně rekonstrukce a modernizace v podobě např. nových dveří, vnitřních příček, přístavby malé části domu, nové střechy a také stará okna byla vyměněna za nová. Výkresová dokumentace domu je přiložena v příloze B.

Rozměrově se jedná poměrně o velký dům. Je vysoký téměř 14 metrů, široký 6,5 metrů a dlouhý 14 metrů. Součástí pozemku je garáž a zahrada. Dům má celkem čtyři patra. 1. nadzemní podlaží (1. NP), 2. nadzemní podlaží (2.NP), 3. nadzemní podlaží (3. NP) a půdu. 1. NP a půda jsou nevytápěné. Pro výpočet tepelných ztrát objektu jsou důležité především vytápěné 2. NP a 3. NP.2.NP obsahuje tyto místnosti: Kuchyň + obývací pokoj, WC, schodiště + chodbu, pokoj pro hosty, koupelnu, pracovnu a spíž. Ve 3. NP se nachází chodba + schodiště + vstup na půdu, šatna, dětský pokoj, ložnice a koupelna.

Obrázek 18: Fotka vybraného rodinného domu

3.2 Vstupní údaje objektu

Pro výpočet tepelných ztrát je nutné si nejprve zjistit některé parametry vybraného objektu. Důležité jsou plochy místností A_k, venkovních zdí, oken, střech a objemy jednotlivých vytápěných místností V_i. Ostatní fyzikální veličiny lze dohledat v normě [31].

Tabulka 5: Vstupní údaje objektu

Název místnosti	Podlaží	A_k [m²]	V_i [m³]
Kuchyně + obývací pokoj	2. NP	39,74	102,93
WC	2. NP	2,89	8,76
Schodiště + chodba	2. NP	8,81	26,69
Pokoj pro hosty	2. NP	18,39	55,72
Koupelna	2. NP	3,76	11,39
Pracovna	2. NP	5,08	12,19
Spíž	2. NP	2,02	4,85
Chodba + schodiště + vstup půda	3. NP	12,53	31,01
Šatna	3. NP	6,8	16,83
Dětský pokoj	3. NP	22,48	44
Ložnice	3. NP	13,87	27
Koupelna	3. NP	8,04	18
Σ		**144,41**	**359,37**

3.3 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty prostupem $\Sigma\Phi_{T,i}$

Dílčí návrhová tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ se pro každou místnost počítá na základě měrných tepelných toků prostupem a rozdílů teplot způsobujících tepelné ztráty. Výpočet ukazuje rovnice (3.1) [31].

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e). \tag{3.1}$$

Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí $H_{T,ie}$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) byl stanoven podle rovnice (3.2) [31].

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k} \rangle, \tag{3.2}$$

kde je

$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e),	$[W/K]$
A_k	plocha stavební části (k),	$[m^2]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části (k),	$[W/(m^2 \cdot K)]$
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb,	$[W/(m^2 \cdot K)]$

$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy,	$[-]$
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel.	$[-]$

Součinitel prostupu tepla U_k lze zjednodušeně stanovit z normy podle roku výstavby dané stavební části. Ovšem tato možnost určení součinitele prostupu tepla se nezdá být dostatečně přesná, proto byl zvolen výpočet pomocí vzorce. Součinitel prostupu tepla U_k vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše $1\,m^2$ při rozdílu teplot jejich povrchů $1\,K$. Dá se spočítat pomocí rovnice (3.3) jako převrácená hodnota součtu všech tepelných odporů [32].

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}, \tag{3.3}$$

kde je

R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R	odpor konstrukce,	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce.	$[(m^2 \cdot K)/W]$

Odpory při přestupu tepla na vnitřní nebo vnější straně konstrukce byly stanoveny z normy podle směru tepelného toku (nahoru, vodorovně, dolů). Tepelný odpor konstrukce vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu $1\,W$, viz. rovnice (3.4) [33].

$$R = \frac{d}{\lambda}, \tag{3.4}$$

kde je

d	tloušťka vrstvy,	$[m]$
λ	součinitel tepelné vodivosti.	$[W/(m \cdot K)]$

Výpočet všech součinitelů prostupu tepla je v příloze A, v tabulce 6 je uveden vzorový výpočet podle rovnic (3.3) a (3.4) pro jednu konkrétní stavební plochu.

Tabulka 6: Vzorový výpočet součinitele prostupu tepla U_k pro podlahu 1. NP – 2. NP

	beton	**vápenocementová omítka**	**vzduchová mezera**	**dřevěná prkna**	**záklop smrk**
$d\ [m]$	0,08	0,01	0,3	0,025	0,05
$\lambda\ [W/(m \cdot K)]$	0,78	0,99	0,1875	0,41	0,41
$R_{si}[(m^2 \cdot K)/W]$	0,17				
$R_{se}[(m^2 \cdot K)/W]$	0,04				
Součinitel prostupu tepla pro podlahu 1. NP – 2. NP U_k $[W/(m^2 \cdot K)]$					**0,4749**

Pro zohlednění tepelných mostů se volí přirážka na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0{,}10$. Tato hodnota byla určena z normy [31].

Ve výpočtu se počítá s opravným činitelem $f_{U,k}$, který zohledňuje vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy. Hodnota $f_{U,k} = 1$ byla určena z normy a platí v případě, že není požadována žádná oprava U-hodnot nebo nejsou k dispozici žádné národní údaje [31]. Teplotní opravný činitel $f_{ie,k}$ byl spočítán podle rovnice (3.5) [31].

$$f_{ix,k} = f_1 + f_2, \tag{3.5}$$

kde je

f_1	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou,	$[-]$
f_2	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru (i) a průměrnou povrchovou teplotou stavební části (k).	$[-]$

Vzorce pro opravné činitele f_1 a f_2 jsou uvedeny v rovnicích (3.6) a (3.7) [31].

$$f_1 = \frac{\theta_{int,i} - \theta_x}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \tag{3.6}$$

kde je

$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i),	$[°C]$
θ_x	teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x),	$[°C]$
θ_e	venkovní výpočtová teplota,	$[°C]$

$$f_1 = \frac{\theta^*_{int,i} - \theta_{int,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \tag{3.7}$$

kde je

$\theta^*_{int,i}$	průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části.	$[°C]$

Pro venkovní prostředí (e) byla zvoleno z normy $f_1 = 1$. Pro nízkou výšku (méně než 4 metry) uvažovaných prostorů (i) bylo zvoleno z normy $f_2 = 0$. Z toho vyplývá, že teplotní opravný činitel je podle rovnice (3.5) $f_{ie,k} = 1$ [31].

Výpočet měrného tepelného toku prostupem do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ je zobrazen v příloze A, v tabulce 7 je uveden vzorový výpočet pro jednu konkrétní vytápěnou místnost.

Tabulka 7: Vzorový výpočet $H_{T,ie}$ z pokoje pro hosty do venkovního prostředí

Pokoj pro hosty (2. NP)	A_k $[m^2]$	U_k $[W/(m^2 \cdot K)]$	ΔU_{TB} $[W/(m^2 \cdot K)]$	$f_{U,k}$ $[-]$	$f_{ie,k}$ $[-]$	$H_{T,ie}$ $[W/K]$
Venkovní zeď 1	19,365	1,277	0,1	1	1	26,668
Venkovní zeď 2	12,059	1,679	0,1	1	1	21,457
Okna – dřevěný rám, dvojité sklo	2,785	2,7	0,1	1	1	7,797
Součet měrných tepelných toků prostupem z místnosti ven $\Sigma H_{T,ie}$ $[W/K]$						**55,922**

Měrný tepelný tok prostupem do sousedního vytápěného prostoru $H_{T,ia}$
U všech vytápěných místností je vnitřní výpočtová teplota stejná a to $\theta_{int,i} = 20\ °C$. Kvůli stejné teplotě teplo neprostupuje z jedné vytápěné místnosti do druhé vytápěné místnosti a tudíž $H_{T,ia} = 0\ W/K$ [31].

Měrný tepelný tok prostupem přes sousední nevytápěný prostor $H_{T,iae}$
Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) přes sousední nevytápěný prostor (ae) byl stanoven podle rovnice (3.8) [31]. Byl uvažován prostup tepla podlahou (stropem) z 2. NP do nevytápěného 1. NP a z 3. NP do nevytápěné půdy.

$$H_{T,iae} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{iae,k} \rangle, \tag{3.8}$$

kde je

$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) přes sousední nevytápěný prostor (ae),	$[W/K]$
A_k	plocha stavební části (k),	$[m^2]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části (k),	$[W/(m^2 \cdot K)]$
$f_{iae,k}$	teplotní opravný činitel.	$[-]$

Teplotní opravný činitel $f_{iae,k}$ byl spočítán podle rovnic (3.5), (3.6) a (3.7). Výpočty jsou shrnuty v tabulce 8 a také v příloze A. Venkovní výpočtová teplota byla zvolena z norem pro klimatickou oblast Jihlava s ohledem na nadmořskou výšku a to $\theta_e = -15\ °C$. Teplota v 1. NP byla podle norem zvolena $\theta_{x1} = 0\ °C$. Teplota na půdě byla podle norem zvolena $\theta_{x2} = -6\ °C$ [31].

Tabulka 8: Ukázka výpočtu teplotního popravného činitele $f_{iae,k}$

Teplotní ztráta z (i)	Teplotní ztráta do (ae)	$\theta_{int,i}$ $[°C]$	θ_x $[°C]$	θ_e $[°C]$	$f_{iae,k}$ $[°C]$
2. NP	1. NP	20	0	-15	0,571
3. NP	Půda	20	-6	-15	0,743

Kompletní výpočet měrného tepelného toku prostupem přes sousední nevytápěný prostor $H_{T,iae}$ je uveden v příloze A. V tabulce 9 je uveden vzorový výpočet pro konkrétní vytápěnou místnost, konkrétněji pro strop (nebo podlahu) mezi vytápěným a nevytápěným prostorem.

Tabulka 9: Vzorový výpočet $H_{T,iae}$ z pokoje pro hosty do nevytápěných místností v 1. NP

Pokoj pro hosty (2. NP)	A_k $[m^2]$	U_k $[W/(m^2 \cdot K)]$	$f_{iae,k}$ $[-]$	$H_{T,iae}$ $[W/K]$
Podlaha mezi 1. NP a 2. NP	18,39	0,475	0,571	**4,991**

Měrný tepelný tok prostupem do zeminy $H_{T,ig}$
Jelikož všechny vytápěné místnosti nesousedí se zeminou (se zeminou sousedí pouze místnosti nevytápěné, nacházející se v 1. NP), je možné uvažovat $H_{T,ig} = 0\ W/K$ [31].

Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty prostupem $\Sigma\Phi_{T,i}$
Celková návrhová tepelná ztráta prostupem se spočítá jako součet všech dílčích návrhových tepelných ztrát $\Phi_{T,i}$ jednotlivých místností. Dílčí návrhová tepelná ztráta se spočítá z rovnice (3.1) [31]. Výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem znázorňuje tabulka 10 (a také příloha A).

Tabulka 10: Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem u jednotlivých místností

Název místnosti	$H_{T,ie}$ $[W/K]$	$H_{T,iae}$ $[W/K]$	$\theta_{int,i}$ $[°C]$	θ_e $[°C]$	$\Phi_{T,i}$ $[W]$
Kuchyně + obývací pokoj (2. NP)	52,820	10,785	20	-15	2226,200
WC (2. NP)	6,300	0,784	20	-15	247,962
Schodiště + chodba (2. NP)	19,893	2,391	20	-15	779,945
Pokoj pro hosty (2. NP)	55,921	4,991	20	-15	2131,930
Koupelna (2. NP)	9,806	1,020	20	-15	378,920
Pracovna (2. NP)	18,476	1,379	20	-15	694,921
Spíž (2. NP)	12,763	0,548	20	-15	465,904
Chodba + schodiště + vstup půda (3.NP)	18,557	1,576	20	-15	704,648
Šatna (3. NP)	10,403	0,757	20	-15	390,577
Dětský pokoj (3. NP)	34,830	1,290	20	-15	1264,200
Ložnice (3. NP)	18,207	1,099	20	-15	675,703
Koupelna (3. NP)	18,231	0,515	20	-15	656,099
Celková tepelná ztráta prostupem $\Sigma\Phi_{T,i}$ $[W]$					**10617,002**

3.4 Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty větráním $\Sigma\Phi_{V,i}$

Pro zjištění dílčí návrhové ztráty větráním $\Phi_{V,i}$, která se spočítá podle rovnice (3.9), byl použit zjednodušený výpočet, který je vhodný ve vzduchově těsných budovách bez nuceného větrání a bez koncových vzduchotechnických zařízení [31].

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{V,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \qquad (3.9)$$

kde je

$\Phi_{V,i}$	tepelná ztráta větráním místnosti (i),	$[W]$
ρ	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$,	$[kg/m^3]$
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě,	$[Wh/(kg \cdot K)]$
$q_{V,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i),	$[(m^3/h)]$
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i),	$[°C]$

θ_e venkovní výpočtová teplota. $[°C]$

Hodnota hustoty vzduchu byla zvolena z normy a to $\rho = 1{,}2\ kg/m^3$. Hodnota měrné tepelné kapacity byla také zvolena z normy a to $c_p = 0{,}28\ Wh/(kg \cdot K)$.

Minimální objemový průtok vzduchu v místnosti $q_{V,min,i}$ byl spočítán (v příloze A) podle rovnice (3.10) [31]. Vzorový výpočet pro jednu konkrétní místnost je ukázán v tabulce 10.

$$q_{V,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i, \tag{3.10}$$

kde je

$n_{min,i}$ minimální intenzita větrání místnosti (i), $[h^{-1}]$

V_i vnitřní objem (objem vzduchu) místnosti (i). $[m^3]$

Hodnota minimální intenzity větrání byla zvolena z norem podle druhu místnosti. Pro vnitřní místnosti bez oken byla zvolena hodnota $n_{min,i} = 0$ [31].

Tabulka 11: Vzorový výpočet minimální intenzity větrání pro místnost – pokoj pro hosty

Název místnosti	$n_{min,i}$ $[h^{-1}]$	V_i $[m^3]$	$q_{V,min,i}$ $[(m^3/h)]$
Pokoj pro hosty (2. NP)	0,5	55,72	27,86

Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty větráním $\Sigma\Phi_{V,i}$

Celková návrhová tepelná ztráta větráním se spočítá jako součet všech dílčích návrhových tepelných ztrát $\Phi_{V,i}$ jednotlivých místností. Dílčí návrhová tepelná ztráta se spočítá z rovnice (3.9) [31]. Výpočet návrhových tepelných ztrát větráním znázorňuje tabulka 12 (a také příloha A).

Tabulka 12: Výpočet návrhové tepelné ztráty větráním u jednotlivých místností

Název místnosti	ρ $[kg/m^3]$	c_p $[Wh/(kg \cdot K)]$	$q_{V,min,i}$ $[(m^3/h)]$	$\theta_{int,i}$ $[°C]$	θ_e $[°C]$	$\Phi_{V,i}$ $[W]$
Kuchyně + obývací pokoj (2. NP)	1,2	0,28	51,465	20	-15	605,228
WC (2. NP)	1,2	0,28	0	20	-15	0
Schodiště + chodba (2. NP)	1,2	0,28	0	20	-15	0
Pokoj pro hosty (2. NP)	1,2	0,28	27,860	20	-15	327,634
Koupelna (2. NP)	1,2	0,28	0	20	-15	0
Pracovna (2. NP)	1,2	0,28	6,096	20	-15	71,689
Spíž (2. NP)	1,2	0,28	2,425	20	-15	28,518
Chodba + schodiště + vstup půda (3.NP)	1,2	0,28	15,506	20	-15	182,349

Šatna (3. NP)	1,2	0,28	8,415	20	-15	98,960
Dětský pokoj (3. NP)	1,2	0,28	22,000	20	-15	258,720
Ložnice (3. NP)	1,2	0,28	13,500	20	-15	158,760
Koupelna (3. NP)	1,2	0,28	9,000	20	-15	105,840
Celková tepelná ztráta větráním $\Sigma\Phi_{V,i}$ [W]						**1837,699**

3.5 Výpočet celkového návrhové tepelného výkonu $\Sigma\Phi_{HL,i}$

Celková návrhová tepelná ztráta se spočítá, podle rovnice (3.11), jako součet všech návrhových tepelných ztrát jednotlivých místností [31].

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i}, \tag{3.11}$$

kde je

$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i),	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i),	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním místnosti (i),	[W]
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění,	[W]
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i), které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách.	[W]

Hodnoty $\Phi_{hu,i}$ a $\Phi_{gain,i}$ můžou být zanedbány, tedy $\Phi_{hu,i} = \Phi_{gain,i} = 0$, protože neuvažujeme přerušované vytápění a trvalé tepelné zisky [31].

Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu je uveden v tabulce 13 (a také v příloze A).

Tabulka 13: Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu

Název místnosti	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
Kuchyně + obývací pokoj (2. NP)	605,228	2226,200	2831,430
WC (2. NP)	0	247,962	247,962
Schodiště + chodba (2. NP)	0	779,945	779,945
Pokoj pro hosty (2. NP)	327,634	2131,930	2459,560
Koupelna (2. NP)	0	378,920	378,920
Pracovna (2. NP)	71,689	694,921	766,609
Spíž (2. NP)	28,518	465,904	494,422
Chodba + schodiště + vstup půda (3.NP)	182,349	704,648	886,997
Šatna (3. NP)	98,960	390,577	489,537

Dětský pokoj (3. NP)	258,720	1264,200	1522,920
Ložnice (3. NP)	158,760	675,703	834,463
Koupelna (3. NP)	105,840	656,099	761,939
Celkový návrhový tepelný výkon vybraného objektu $\Sigma\Phi_{HL,i}$ $[W]$			**12454,704**

Celkový návrhový tepelný výkon rodinného domu vyšel přibližně $12455\ W$. Tato hodnota se zdá být poměrně vysoká, ovšem musíme zvážit velké rozměry vybraného objektu a také to, že se jedná o poměrně starou budovu, kde jsou dobře zatepleny pouze stropy. Obvodové venkovní zdi nejsou zatepleny, skládají se pouze z plných cihel a omítky, tudíž velké množství tepla uniká právě přes tyto zdi.

3.6 Celková roční potřeba tepelné energie na vytápění

Výpočet potřeby tepla na jeden rok, který je shrnut pro vybraný objekt v tabulce 14, se spočítá podle rovnice (3.12) [34].

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot \Sigma\Phi_{HL,i} \cdot D}{\theta_{int,i} - \theta_e} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3}, \tag{3.12}$$

kde je

$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba energie pro vytápění,	$[GJ/rok]$
ε	opravný součinitel,	$[-]$
η_o	účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy,	$[-]$
η_r	účinnost rozvodu vytápění,	$[-]$
$\Sigma\Phi_{HL,i}$	celková tepelná ztráta objektu (tepelný výkon),	$[kW]$
D	vytápěcí denostupně,	$[K \cdot dny]$
$\theta_{int,i}$	průměrná vnitřní výpočtová teplota,	$[°C]$
θ_e	venkovní výpočtová teplota.	$[°C]$

Opravný součinitel ε se spočítá podle rovnice (3.13) [34].

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_{d,} \tag{3.13}$$

kde je

e_i	nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem,	$[-]$
e_t	snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci,	$[-]$
e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu.	$[-]$

Nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem e_i se spočítá podle rovnice (3.14) jako podíl tepelné ztráty prostupem k celkové tepelné ztrátě [34].

$$e_i = \frac{\Sigma\Phi_{T,i}}{\Sigma\Phi_{HL,i}}. \tag{3.14}$$

Hodnota e_t se volí v rozmezí hodnot 0,8 až 1,0 podle regulace vnitřní teploty objektu během dne (noci). Hodnota e_d se volí v rozmezí hodnot 0,8 až 1,0 podle toho, kolik dní v týdnu jsou budovy v provozu [34].

Vytápěcí denostupně D se vypočítají podle rovnice (3.15) [34].

$$D = d_o \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{es}), \tag{3.15}$$

kde je

$\mathrm{d_o}$	délka topného období,	$[dny]$
θ_{es}	průměrná teplota během otopného období.	$[°C]$

Délka topného období byla zjištěna pro lokalitu Jihlava na portálu tzb-info $\mathrm{d_o} = 257$ dní a průměrná teplota během otopného období byla zvolena $\theta_{es} = 3{,}5\ °C$ [34].

Tabulka 14 ukazuje přehled všech zvolených nebo vypočítaných parametrů rovnic (3.12), (3.13), (3.14) a (3.15), potřebných na výpočet celkové roční potřeby tepelné energie, která je uvedena v posledním řádku tabulky [34].

Tabulka 14: Přehled zvolených a vypočítaných parametrů potřebných pro výpočet $Q_{VYT,r}$

Fyzikální veličina	Jednotka	Číselná hodnota
$\Sigma\Phi_{T,i}$	$[kW]$	10,617
$\Sigma\Phi_{HL,i}$	$[kW]$	12,455
e_i	$[-]$	0,852
e_t	$[-]$	0,8
e_d	$[-]$	1
ε	$[-]$	0,682
η_o	$[-]$	0,95
η_r	$[-]$	0,95
$\mathrm{d_o}$	$[dny]$	257
$\theta_{int,i}$	$[°C]$	20
θ_{es}	$[°C]$	3,5
D	$[K \cdot dny]$	4240,5
θ_e	$[°C]$	-15
$\boldsymbol{Q_{VYT,r}}$	$[\boldsymbol{GJ/rok}]$	**98,524**

Celková roční potřeba energie na vytápění vyšla $Q_{VYT,r} = 98{,}524\ GJ/rok$. Když toto číslo vydělíme číslem 3,6, tak dostaneme $Q_{VYT,r} = 27{,}368\ MWh/rok$.

4 Ekonomické zhodnocení možností vytápění

4.1 Výběr zdroje tepla

Podle vypočítaného celkového návrhového tepelného výkonu (kapitola 3.5) bylo zvoleno 5 různých zdrojů vytápění. Kotel na kusové dřevo, kotel na uhlí, plynový kotel, elektrokotel a tepelné čerpadlo. Tyto zdroje jsou primární a je uvažován jejich monovalentní režim, tedy že veškeré teplo je dodáváno pouze pomocí jednoho tepelného zdroje. Zdroje tepla byly srovnány podle technických parametrů a ceny u různých výrobních společností (popř. e-shopů) a byl zvolen vždy jeden konkrétní výrobek dané firmy.

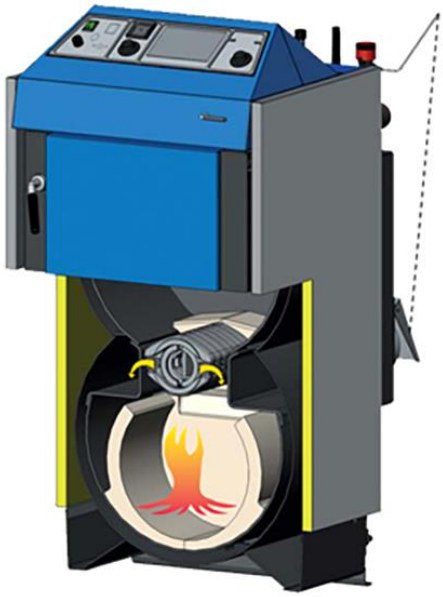
4.1.1 Zplyňovací kotel na dřevo ATTACK DPX 15 STANDARD

Jako první zdroj tepla byl zvolen kotel na dřevo s ručním přikládáním, který využívá princip zplyňování (viz. kapitola 2.1.3). Tento kotel vyrábí slovenská společnost ATTACK. Byla vybrána verze kotle STANDARD, která se liší od verze PROFI a LAMBDA nižší pořizovací cenou a horší regulací. Vybraný kotel je vybaven automatickou komínovou klapkou. Výrobce garantuje dlouhou životnost kotle (záruka na 6 let) díky tloušťce plechu 6 mm vyrobeného ze speciální kotlové oceli. Tato značka (typ) kotle byla vybrána, protože oproti konkurenci má delší čas hoření a jednu z nižších spotřeb paliva za daný časový úsek. Delší čas hoření je dán vyšším objemem palivové šachty (lze tedy přiložit více dřevěných polen). Negativně se to odráží na vyšší hmotnosti a větších rozměrech kotle. To ovšem s ohledem na velké prostory rodinného domu není velký problém. Technické parametry kotle jsou shrnuty v tabulce 15 a ilustrační foto kotle je na obrázku 19 [35].

Tabulka 15: Tech. parametry kotle ATTACK DPX 15 STANDARD uvedené výrobcem [35]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Cena (pozn. platí 1. 5. 2022)	Kč	66 000
Výkon kotle	$[kW]$	15
Účinnost	[%]	91,3
Potřebný provozní tah	$[Pa]$	23
Hmotnost	$[kg]$	370
Objem vody	$[l]$	80
Spotřeba paliva	$[kg/hod.]$	3,9
Rozsah teploty otopné vody	$[°C]$	65-90
Objem palivové šachty	$[l]$	82
Maximální délka polen	$[cm]$	35
Výška x hloubka x šířka kotle	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	1240 x 840 x 700
Emisní třída kotle	$[-]$	5
Třída energetické účinnosti	$[-]$	A+

Obrázek 20: Kotel ATTACK DPX 15 STANDARD [35]



Obrázek 19: Kotel ATMOS C 15 S [36]

4.1.2 Zplyňovací kotel na hnědé uhlí ATMOS C 15 S

Jako druhý zdroj byl vybrán kotel s ručním přikládáním, již nadnárodní české firmy ATMOS, který spaluje hnědé uhlí, popřípadě dřevo (jako náhradní palivo především na zátop). Tento typ kotle se vyznačuje topeništěm se zadním přívodem předehřátého primárního vzduchu a otočnou roštovou mechanikou s přívodem sekundárního vzduchu. Tato značka kotle má z konkurence jednu z nejvyšších účinností (předepsanou výrobcem), velký objem násypky a je nejúspornější (třída energetické účinnosti B) z kotlů spalující hnědé uhlí. Technické parametry kotle jsou shrnuty v tabulce 16 a ilustrační foto kotle je na obrázku 20 [36].

Tabulka 16: Technické parametry kotle ATMOS C 15 S uvedené výrobcem [36]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Cena (pozn. platí 2. 5. 2022)	Kč	53 000
Výkon kotle	$[kW]$	16
Účinnost	[%]	90,4
Potřebný provozní tah	$[Pa]$	20
Hmotnost	$[kg]$	273
Vodní objem kotle	$[l]$	37
Rozsah teploty otopné vody	$[°C]$	65-90
Objem násypky	$[l]$	45
Výška x šířka x hloubka kotle	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	1185 x 595 x 658
Emisní třída kotle	$[-]$	5
Třída energetické účinnosti	$[-]$	B

4.1.3 Plynový kotel Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus

Jako třetí zdroj byl vybrán závěsný kondenzační plynový kotel (kapitola 2.4), který spaluje zemní plyn (označení G20). Tento kotel byl instalován do rodinného domu v roce 2020 a je používaný v současnosti (v roce 2022). Jelikož tento kotel byl instalován poměrně nedávno, je možné ho zahrnout do ekonomického posouzení mezi ostatními zdroji vytápění a není nutné vybírat novější modely, které mají téměř stejné technické parametry. V tabulce 17 jsou některé důležité technické parametry a cena kotle [37]. Zapojení kotle v rodinném domě ukazuje obrázek 21.

Tabulka 17: Technické parametry kotle Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus [37]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Cena	Kč	50 000
Rozsah jmenovitého tepelného výkonu při tepelném spádu 50/30 $°C$	$[kW]$	5,7-27,2
Rozsah nastavení teploty otopné vody	$[°C]$	30-80
Hmotnost	$[kg]$	34,5
Přípustní celkový přetlak	$[MPa]$	0,3
Rozsah teploty otopné vody	$[°C]$	65-90
Množství cirkulující vody $(\Delta T = 20\ K)$	$[l/h]$	1075
Množství kondenzátu v top. režimu 50/30 $°C$	$[l/h]$	2,6
Výška x šířka x hloubka kotle	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	720 x 440 x 372
Emisní třída kotle	$[-]$	6
Třída energetické účinnosti	$[-]$	A

Obrázek 21: Zapojení plynového kotle se stacionárním nepřímotopným zásobníkem teplé vody v rodinném domu

4.1.4 Elektrokotel BOSCH Tronic Heat H 15

Jako čtvrtý zdroj tepla byl vybrán závěsný teplovodní elektrokotel od firmy Bosch. Z konkurenčních značek je tento elektrokotel nejlevnější a má nejnižší hmotnost a nejmenší rozměry. V tabulce 18 jsou uvedeny některé důležité technické parametry a cena elektrokotle [38].

Tabulka 18: Technické parametry elektrokotle BOSCH Tronic Heat H 15 [38]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Cena (pozn. platí 4. 5. 2022)	Kč	17 500
Výkon	$[kW]$	15
Maximální teplota otopné vody	$[°C]$	85
Hmotnost	$[kg]$	27,5
Objem expanzní nádoby	$[l]$	6,4
Výška x šířka x hloubka kotle	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	712 x 416 x 300
Třída energetické účinnosti	$[-]$	D

Obrázek 22: Elektrokotel BOSCH Tronic Heat H 15 [38]

4.1.5 Tepelné čerpadlo NIBE F2040-12 + jednotka VVM S320

Jako pátý a poslední zdroj bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch-voda švédské firmy NIBE. Součástí sestavy je vnější i vnitřní systémová jednotka VVM S320, ve které je integrovaný zásobník teplé vody. Záruka na tepelné čerpadlo je 5 let a na kompresor s řízeným výkonem, který je ve venkovní jednotce až 10 let. V tabulce 19 jsou uvedeny některé důležité technické parametry a cenová nabídka tepelného čerpadla. Pozn. A7/W35 znamená, že vstupní teplota nízkoteplotního zdroje je 7 $°C$ a výstupní teplota horké vody je 35 $°C$ [39].

Tabulka 19: Tech. parametry tepelného čerpadla NIBE F2040-12 + jednotky VVM S320 [39]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Cena (pozn. platí 4. 5. 2022)	Kč	315 000
Jmenovitý topný výkon	$[kW]$	12
A7/W35 – výkon / COP (topný faktor)	$[kW/-]$	5,21 / 4,78
A2/W35 – výkon / COP (topný faktor)	$[kW/-]$	6,91 / 3,84
A7/W45 – výkon / COP (topný faktor)	$[kW/-]$	5,00 / 3,82
A2/W45 – výkon / COP (topný faktor)	$[kW/-]$	6,80 / 3,04
Typ chladiva	$[-]$	R410A
Hmotnost chladiva	$[kg]$	2,9
Průtok vzduchu v primárním okruhu	$[m^3/h]$	4380
Minimální / maximální teplota vzduchu	$[°C]$	-20 / 43
Výška x šířka x hloubka vnější jednotky	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	995 x 1145 x 452
Hmotnost vnější jednotky	$[kg]$	105
Třída energetické účinnosti	$[-]$	A++
Výška x šířka x hloubka vnitřní jednotky	$[mm]\ x\ [mm]\ x\ [mm]$	1800 x 600 x 615
Hmotnost vnitřní jednotky	$[kg]$	146
Výkon vestavěného elektrokotle	$[kW]$	9

Obrázek 23: Venkovní jednotka NIBE F2040-12 (vlevo) [39]

Obrázek 24: Vnitřní jednotka VVM S320 (vpravo) [39]

4.2 Srovnání jednotlivých tepelných zdrojů a jejich náklady na vytápění

Tato kapitola se zabývá kompletními (počátečními i ročními) náklady na vytápění a poté jsou zde porovnány jednotlivé zdroje tepla a jejich provoz s ohledem na cenu.

4.2.1 Počáteční investice

Počáteční investice je částka peněz, které jsou potřeba k pořízení a zprovoznění tepelného zdroje a dalšího příslušenství. Jsou to tedy počáteční náklady před zahájením vytápění. Tyto náklady jsou pro různé druhy zdrojů tepla odlišné a jsou popsány níže.

Hlavní složkou počátečních nákladů je pořizovací cena zdroje tepla. Pořizovací cena tepelného čerpadla (včetně vnější i vnitřní jednotky) je nejvyšší (z vybraných zdrojů) a více jak trojnásobně převyšuje ostatní tepelné zdroje. Naopak nejlevnějším z porovnávaných zdrojů tepla je elektrický kotel.

Mezi další náklady patří montáž zařízení včetně dopravy, instalační materiál (trubky, kolena, ventily, …), expanzomat, prostorový termostat, čidlo, dále poplatky za seřízení, odzkoušení a revizi. V počátečních nákladech jsou zahrnuty ještě zásobníky teplé užitkové vody. Pro plynový kotel byl vybrán nepřímotopný stacionární zásobník Dražice OKC 200 NTR s objemem 208 litrů [40]. Pro oba kotle na tuhá paliva a pro elektrokotel byl zvolen zásobníkový ohřívač vody Dražice OKCE 200 2/2kW, který slouží k akumulačnímu ohřevu užitkové vody elektrickou energií [41]. Zásobník vody u tepelného čerpadla je umístěn ve vnitřní jednotce a je zahrnut v ceně tepelného zdroje. Ke kotlům na dřevo a na uhlí se z důvodů lepšího hospodaření s tepelnou energií instaluje navíc akumulační nádrž. Pro kotel na tuhá paliva o výkonu *15 kW* se doporučuje akumulační nádrž s minimálním objemem 825 litrů, pro kotel o výkonu *15 kW* – 880 litrů. Číselné hodnoty minimálních objemů akumulačních nádrží se spočítají vynásobením výkonu kotle číslem 55 [42]. Pro oba kotle na tuhá paliva byla zvolena nádrž Dražice NAD 1000 V2 s objemem 1000 litrů [43]. Pro přehlednost jsou počáteční náklady (včetně tepelného zdroje) shrnuty do tabulky 20.

Tabulka 20: Počáteční náklady u jednotlivých zdrojů tepla [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42] [43]

Náklady v Kč	Kotel na dřevo	Kotel na hnědé uhlí	Plynový kotel	Elektrický kotel	Tepelné čerpadlo
Zdroj tepla	66 000	53 000	50 000	17 500	315 000
Prostorový termostat, čidlo	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Montáž, doprava	23 000	23 000	20 000	20 000	42 000
Instalační materiál, expanzomat	22 000	22 000	17 000	17 000	37 000
Seřízení, odzkoušení, revize	6 000	6 000	6 000	6 000	8 500
Zásobník TUV	12 000	12 000	17 000	12 000	V ceně zdroje
Akumulační nádrž, izolace	21 000	21 000	x	x	x
Cena celkem	**152 000**	**139 000**	**112 000**	**74 500**	**404 500**

V počátečních investicích není zahrnuta otopná soustava, která může být pro všechny zdroje tepla podobná a dále spalinové cesty a jejich revize, které by se počítaly pouze do nákladů u vytápění plynem a tuhými palivy.

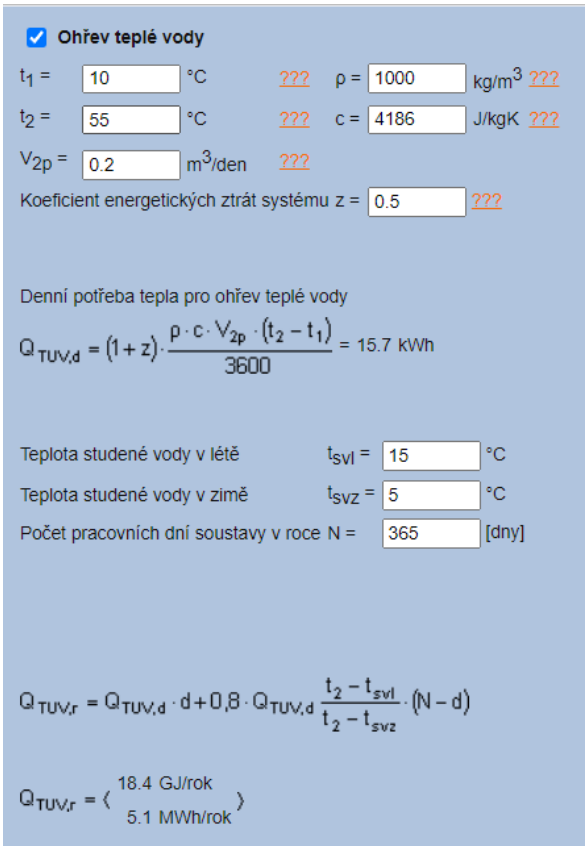
Cena zdrojů tepla, zásobníků teplé užitkové vody a akumulačních nádrží byla zjištěna dle aktuálních cenových nabídek výrobců. Cena za ostatní položky v tabulce (prostorové termostaty, montáž včetně dopravy, instalační materiál, expanzomaty, seřízení, odzkoušení a revize) byla použita pro všechny uvedené zdroje tepla (kromě tepelného čerpadla) dle skutečných nákladů realizace plynového vytápění modelového domu. Pro tepelné čerpadlo byla cena za ostatní položky v tabulce použita z konkrétní cenové nabídky dodavatele.

4.2.2 Roční náklady

Roční náklady jsou náklady potřebné na vytápění a ohřev teplé užitkové vody za časový úsek jeden rok. Celková roční potřeba energie na vytápění byla vypočítána v kapitole 3.6. Hodnota vyšla $Q_{VYT,r} = 98{,}524\ GJ/rok = 27{,}368\ MWh/rok$. Celková roční potřeba energie na ohřev teplé užitkové vody byla spočítána pomocí online kalkulačky na portálu tzb-info. Byla uvažována denní potřeba 50 litrů teplé vody na jednoho člověka. Pro čtyřčlennou rodinu tedy 200 litrů teplé vody za jeden den. Celková roční potřeba na ohřev teplé užitkové vody za jeden rok vyšla $Q_{TUV,r} = 18{,}4\ GJ/rok = 5{,}1\ MWh/rok$. Výpočet je znázorněn na obrázku 25 [34]. Celková roční potřeba energie je součet roční potřeby energie na vytápění a roční potřeby energie na ohřev teplé vody a je znázorněna v tabulce 21.

Tabulka 21: Celková roční potřeba energie

	GJ/rok	MWh/rok
Roční potřeba energie na vytápění $Q_{VYT,r}$	98,524	27,368
Roční potřeba energie na ohřev teplé vody $Q_{TUV,r}$	18,4	5,1
Celková roční potřeba energie Q_r	**116,924**	**32,468**



Obrázek 25: Celková roční potřeba energie na ohřev teplé užitkové vody [34]

Roční náklady pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody u jednotlivých zdrojů tepla byly spočítány podle rovnic (4.1)-(4.6). Pro výpočet byly použity aktuální ceníky paliv/energií.

Náklady na vytápění dřevem po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.1)

$$N_{dřevo,VYT} = \frac{Q_{VYT,r}}{\eta_{dřevo} \cdot (H_{dřevo} \cdot \rho_{dřevo})} \cdot C_{dřevo} + C_{dop.}, \qquad (4.1)$$

$$N_{dřevo,VYT} = \frac{98\,524}{0{,}913 \cdot (14{,}605 \cdot 475)} \cdot 2\,550 + 1000 = 40\,666\ Kč/rok, \qquad buk$$

$$N_{dřevo,VYT} = \frac{98\,524}{0{,}913 \cdot (15{,}584 \cdot 340)} \cdot 1\,550 + 1000 = 32\,568\ Kč/rok, \qquad smrk$$

kde je,

$N_{dřevo,VYT}$	roční náklady na vytápění dřevem,	$[Kč/rok]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění,	$[MJ/rok]$
$\eta_{dřevo}$	účinnost zplyňovacího kotle na dřevo ATTACK DPX 15 STANDARD udávaná výrobcem,	$[-]$
$H_{dřevo}$	výhřevnost paliva-dřeva,	$[MJ/kg]$
$\rho_{dřevo}$	objemová hmotnost paliva-dřeva,	$[kg/prm]$
$C_{dřevo}$	cena paliva-dřeva za jeden metr krychlový rovnaných štípaných polen délky 33 cm,	$[Kč/prm]$
$C_{dop.}$	cena dopravy paliva-dřeva k rodinnému domu.	$[Kč/rok]$

Výhřevnost a objemová hmotnost dřeva byly zjištěny na portálu tzb-info. Uvažuje se bukové a smrkové dřevo s obsahem vody 15% [44]. Cena paliva za 1 prm (prm = metr krychlový rovnaných štípaných polen délky 33 cm) platná 12. 5. 2022 a cena za dopravu byla zjištěna od dodavatele [45].

Náklady na vytápění hnědým uhlím po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.2)

$$N_{uhlí,VYT} = \frac{Q_{VYT,r}}{\eta_{uhlí} \cdot H_{uhlí}} \cdot C_{uhlí}, \qquad (4.2)$$

$$N_{uhlí,VYT} = \frac{98\,524}{0{,}904 \cdot 20} \cdot 5{,}39 = 29\,372\ Kč/rok,$$

kde je,

$N_{uhlí,VYT}$	roční náklady na vytápění hnědým uhlím,	$[Kč/rok]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění,	$[MJ/rok]$
$\eta_{uhlí}$	účinnost zplyňovacího kotle na hnědé uhlí ATMOS C 15 S,	$[-]$
$H_{uhlí}$	výhřevnost paliva-hnědé uhlí,	$[MJ/kg]$
$C_{uhlí}$	cena paliva-hnědé uhlí za jeden kilogram.	$[Kč/kg]$

Bylo vybráno hnědé uhlí – Komořanský ořech 1 z Mostecka. Průměrná výhřevnost hnědého uhlí je deklarovaná dodavatelem. Doprava je v závozovém pásmu a při určitém odběru hnědého uhlí zdarma [46].

Náklady na ohřev teplé užitkové vody elektřinou pomocí zásobníkového ohřívače vody po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.3).

$$N_{el,TUV} = \frac{Q_{TUV,r}}{\eta_{ohřívač}} \cdot (C_{dod,NT} + C_{dist,NT} + C_{daň} + \tag{4.3}$$

$$+C_{služby} + C_{POZE}) + (12 \cdot (C_{jistič} + C_{OTE} + C_{SMP})),$$

$$N_{el,TUV} = \frac{5{,}1}{0{,}85} \cdot (5\,553 + 229 + 35 + 138 + 599) +$$

$$+(12 \cdot (293 + 5 + 108)) = 44\,197\ Kč/rok,$$

kde je,

$N_{el,TUV}$	roční náklady na ohřev teplé užitkové vody elektřinou pomocí zásobníkového ohřívače vody,	$[Kč/rok]$
$Q_{TUV,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na ohřev teplé užitkové vody,	$[MJ/rok]$
$\eta_{ohřívač}$	účinnost zásobníkového ohřívače vody OKCE 200 2/2kW,	$[-]$
$C_{dod,NT}$	cena za dodávku elektřiny (stejná pro nízký i vysoký tarif),	$[Kč/MWh]$
$C_{dist,NT}$	cena za distribuci elektřiny v nízkém tarifu,	$[Kč/MWh]$
$C_{daň}$	daň z elektřiny,	$[Kč/MWh]$
$C_{služby}$	poplatek za systémové služby,	$[Kč/MWh]$
C_{POZE}	poplatek za podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE),	$[Kč/měsíc]$
$C_{jistič}$	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe,	$[Kč/měsíc]$
C_{OTE}	poplatek za činnost OTE,	$[Kč/měsíc]$
C_{SMP}	stálá měsíční platba za dodávku elektřiny.	$[Kč/měsíc]$

Ceny za dodávku, distribuci a ostatní poplatky na ohřev teplé užitkové vody zásobníkovým ohřívačem byly zjištěny u dodavatele z ceníku na webových stránkách. Účinnost obchodních cen je od 1. 2. 2022. Pro zjištění ceny za rezervovaný příkon podle jističe byl použit jistič v pásmu nad 3 x 25 A do 3 x 40 A včetně. Pro zjištění cen u ohřevu teplé vody byla použita distribuční sazba D25d, kde je nízký tarif osmihodinový. Zásobníkový ohřívač se využívá pouze v době nízkého tarifu [47].

Náklady na vytápění a na ohřev teplé užitkové vody zemním plynem po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.4).

$$N_{plyn,VYT} + N_{plyn,TUV} = \frac{Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}}{\eta_{plyn}} \cdot (C_{dod.} + C_{distr.}) + (12 \cdot C_{dod,měs.}) + \tag{4.4}$$

$$+(12 \cdot C_{distr,měs}),$$

$$N_{plyn,VYT} + N_{plyn,TUV} = \frac{27{,}37 + 5{,}1}{1} \cdot (2286 + 218) + (12 \cdot 132) + (12 \cdot 243)$$

$$= 85\,805\ Kč/rok,$$

kde je,

$N_{\mathrm{plyn,VYT}}$	roční náklady na vytápění zemním plynem,	$[Kč/rok]$
$N_{\mathrm{plyn,TUV}}$	roční náklady na ohřev teplé vody zemním plynem,	$[Kč/rok]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění,	$[MWh/rok]$
$Q_{TUV,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na ohřev teplé užitkové vody,	$[MWh/rok]$
η_{plyn}	účinnost plynového kotle Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus,	$[-]$
$C_{dod.}$	cena za dodávku plynu,	$[Kč/MWh]$
$C_{distr.}$	cena za distribuci plynu,	$[Kč/MWh]$
$C_{dod,měs.}$	cena za dodávku plynu – měsíční poplatek,	$[Kč/měsíc]$
$C_{distr,měs.}$	cena za distribuci plynu – měsíční poplatek.	$[Kč/měsíc]$

Ceny za dodávku a distribuci plynu (včetně měsíčních poplatků) na vytápění a ohřev teplé užitkové vody byly zjištěny u dodavatele z ceníku na webových stránkách. Účinnost obchodních cen je od 1. 2. 2022 [48].

Náklady na vytápění a na ohřev teplé užitkové vody elektřinou u elektrokotle po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.5).

$$N_{el,VYT} + N_{el,TUV} = \left(\frac{Q_{VYT,r}}{\eta_{el.kotel}} + \frac{Q_{TUV,r}}{\eta_{ohřívač}}\right) \cdot (C_{dod,NT} + C_{dist,NT} + C_{daň} + \tag{4.5}$$

$$+ C_{služby} + C_{POZE}) + (12 \cdot (C_{jistič} + C_{OTE} + C_{SMP})),$$

$$N_{el,VYT} = \left(\frac{27{,}37}{1} + \frac{5{,}1}{0{,}85}\right) \cdot (6\,122 + 229 + 35 + 138 + 599) +$$

$$+(12 \cdot (633 + 5 + 108)) = 246\,647\ Kč/rok,$$

kde je,

$N_{el,VYT}$	roční náklady na vytápění elektřinou,	$[Kč/rok]$

$N_{el,TUV}$	roční náklady na ohřev teplé užitkové vody elektřinou pomocí zásobníkového ohřívače vody,	$[Kč/rok]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění,	$[MJ/rok]$
$Q_{TUV,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na ohřev teplé užitkové vody,	$[MJ/rok]$
$\eta_{el.kotel}$	účinnost elektrického kotle BOSCH Tronic Heat H 15,	$[-]$
$\eta_{ohřívač}$	účinnost zásobníkového ohřívače vody OKCE 200 2/2kW,	$[-]$
$C_{dod,NT}$	cena za dodávku elektřiny (stejná pro nízký i vysoký tarif),	$[Kč/MWh]$
$C_{dist,NT}$	cena za distribuci elektřiny v nízkém tarifu,	$[Kč/MWh]$
$C_{daň}$	daň z elektřiny,	$[Kč/MWh]$
$C_{služby}$	poplatek za systémové služby,	$[Kč/MWh]$
C_{POZE}	poplatek za podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE),	$[Kč/měsíc]$
$C_{jistič}$	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe,	$[Kč/měsíc]$
C_{OTE}	poplatek za činnost OTE,	$[Kč/měsíc]$
C_{SMP}	stálá měsíční platba za dodávku elektřiny.	$[Kč/měsíc]$

Ceny za dodávku, distribuci a ostatní poplatky na vytápění a ohřev teplé užitkové vody elektřinou byly zjištěny u dodavatele z ceníku na webových stránkách. Účinnost obchodních cen je od 1. 2. 2022. Pro zjištění ceny za rezervovaný příkon podle jističe byl použit jistič v pásmu nad 3 x 25 A do 3 x 40 A včetně. Pro zjištění cen byla použita distribuční sazba D57d, kde je nízký tarif dvacetihodinový. Ve vysokém tarifu se elektrokotel nevyužívá [47].

Náklady na vytápění a na ohřev teplé užitkové vody tepelným čerpadlem po dobu jednoho roku se spočítají podle rovnice (4.6).

$$N_{TČ,VYT} + N_{TČ,TUV} = \frac{Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}}{COP} \cdot (C_{dod,NT} + C_{dist,NT} + C_{daň} + \\ + C_{služby} + C_{POZE}) + (12 \cdot (C_{jistič} + C_{OTE} + C_{SMP})), \tag{4.6}$$

$$N_{TČ,VYT} + N_{TČ,TUV} = \frac{27{,}37 + 5{,}1}{3{,}4} \cdot (6\,122 + 229 + 35 + 138 + 599) + \\ + (12 \cdot (633 + 5 + 108)) = 76\,978\ Kč/rok,$$

kde je,

$N_{TČ,VYT}$	roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem,	$[Kč/rok]$
$N_{TČ,TUV}$	roční náklady na ohřev teplé užitkové vody tepelným čerpadlem,	$[Kč/rok]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění,	$[MJ/rok]$
$Q_{TUV,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na ohřev teplé užitkové vody,	$[MJ/rok]$

COP	průměrný topný faktor tepelného čerpadla	$[-]$
$C_{dod,NT}$	cena za dodávku elektřiny (stejná pro nízký i vysoký tarif),	$[Kč/MWh]$
$C_{dist,NT}$	cena za distribuci elektřiny v nízkém tarifu,	$[Kč/MWh]$
$C_{daň}$	daň z elektřiny,	$[Kč/MWh]$
$C_{služby}$	poplatek za systémové služby,	$[Kč/MWh]$
C_{POZE}	poplatek za podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE),	$[Kč/měsíc]$
$C_{jistič}$	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe,	$[Kč/měsíc]$
C_{OTE}	poplatek za činnost OTE,	$[Kč/měsíc]$
C_{SMP}	stálá měsíční platba za dodávku elektřiny.	$[Kč/měsíc]$

Ceny za dodávku, distribuci a ostatní poplatky za elektřinu byly zjištěny u dodavatele z ceníku na webových stránkách. Účinnost obchodních cen je od 1. 2. 2022. Pro zjištění ceny za rezervovaný příkon podle jističe byl použit jistič v pásmu nad 3 x 25 A do 3 x 40 A včetně. Byla použita distribuční sazba D57d, kde je nízký tarif dvacetihodinový [47]. Pro výpočet byl použit průměrný topný faktor tepelného čerpadla.

Roční náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody jsou pro přehlednost shrnuty v tabulce 22 a zobrazeny ve sloupcovém grafu na obrázku 26. Pro výpočet jsou použity aktuální ceny paliv – květen / 2022. V ročních nákladech není počítáno s náklady potřebnými na údržbu.

Tabulka 22: Roční náklady v Kč v roce 2022 (květen) u jednotlivých zdrojů tepla [45] [46] [47] [48]

Roční náklady v Kč, květen 2022	Kotel na dřevo buk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na dřevo smrk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na hnědé uhlí + elektrický ohřívač TUV	Plynový kotel	Elektrický kotel + elektrický ohřívač TUV	Tepelné čerpadlo
Roční náklady na vytápění v Kč	40 666	32 568	29 372	72 328	202 300	64 887
Roční náklady na ohřev vody v Kč	44 197	44 197	44 197	13 477	44 347	12 091
Celkové roční náklady v Kč	**84 863**	**76 765**	**73 569**	**85 805**	**246 647**	**76 978**

Aktuální ceny většiny paliv/energií jsou díky energetické krizi na historickém maximu a vzhledem k loňskému roku vzrostly o desítky procent, což bylo v minulých letech velmi neobvyklé. Častějším případem bylo navyšování cen (s malými výkyvy) meziročně o jednotky procent. Z důvodů velkých nárůstů cen za poslední rok byly zjištěny ceny paliv/energií z roku 2021 a 2020 dle ceníků [47] a byly vypočítány roční náklady v těchto letech pro jednotlivé zdroje tepla, viz tabulka 23 a tabulka 24. Ceny za plyn a elektřinu byly použity dle skutečných fakturovaných nákladů modelového domu. Cena dřeva a uhlí byla zjištěna telefonicky. Roční náklady v Kč jsou promítnuty do sloupcového grafu, viz obrázek 27.

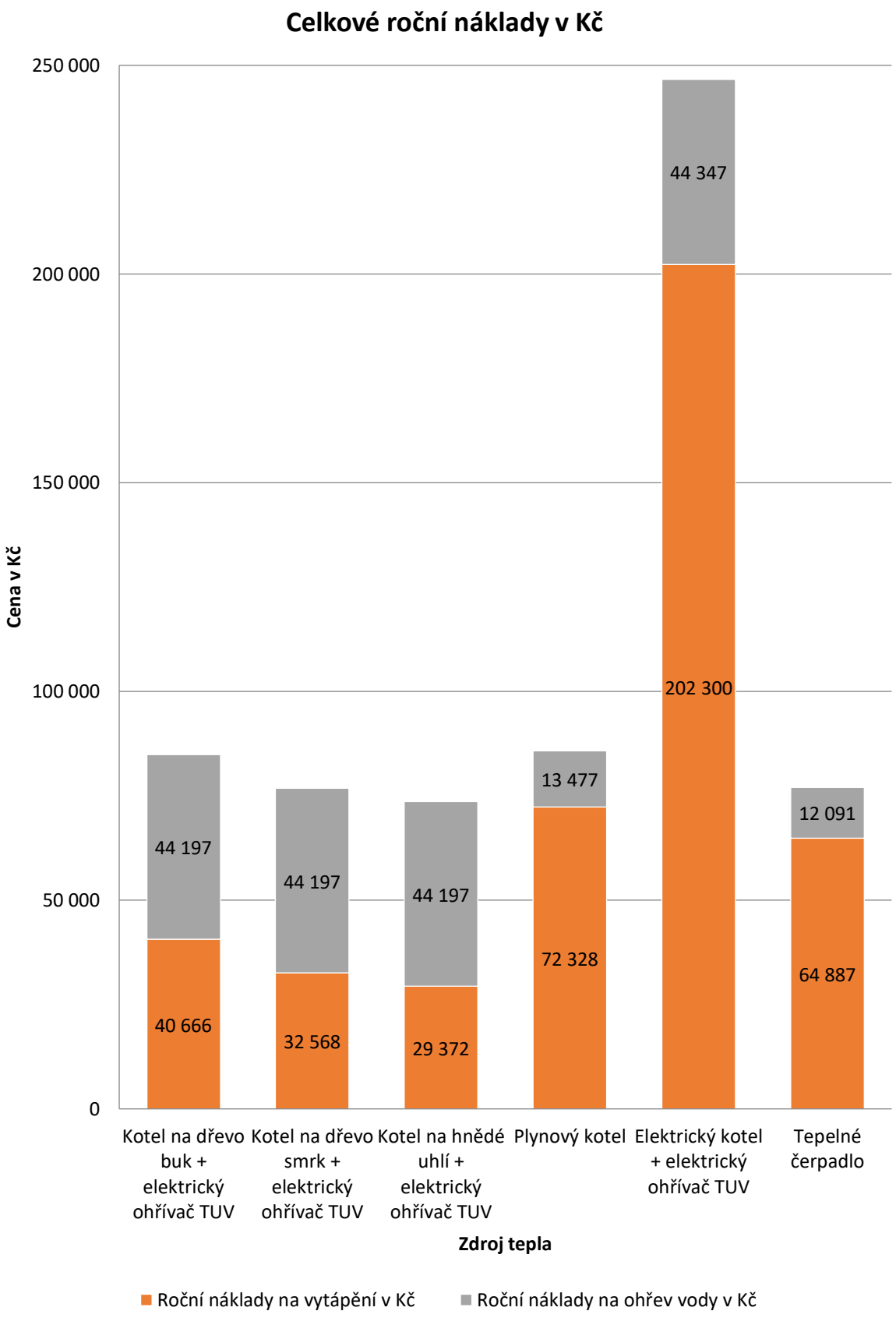
Tabulka 23: Roční náklady v Kč s cenami paliv/energií z roku 2021 u jednotlivých zdrojů tepla [45] [46] [47] [48]

Roční náklady v Kč, srpen 2021	Kotel na dřevo buk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na dřevo smrk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na hnědé uhlí + elektrický ohřívač TUV	Plynový kotel	Elektrický kotel + elektrický ohřívač TUV	Tepelné čerpadlo
Roční náklady na vytápění v Kč	32 888	26 458	22 288	34 612	86 270	30 674
Roční náklady na ohřev vody v Kč	22 201	22 201	22 201	6 449	18 912	5 715
Celkové roční náklady v Kč	**55 089**	**48 659**	**44 489**	**41 061**	**105 182**	**36 389**

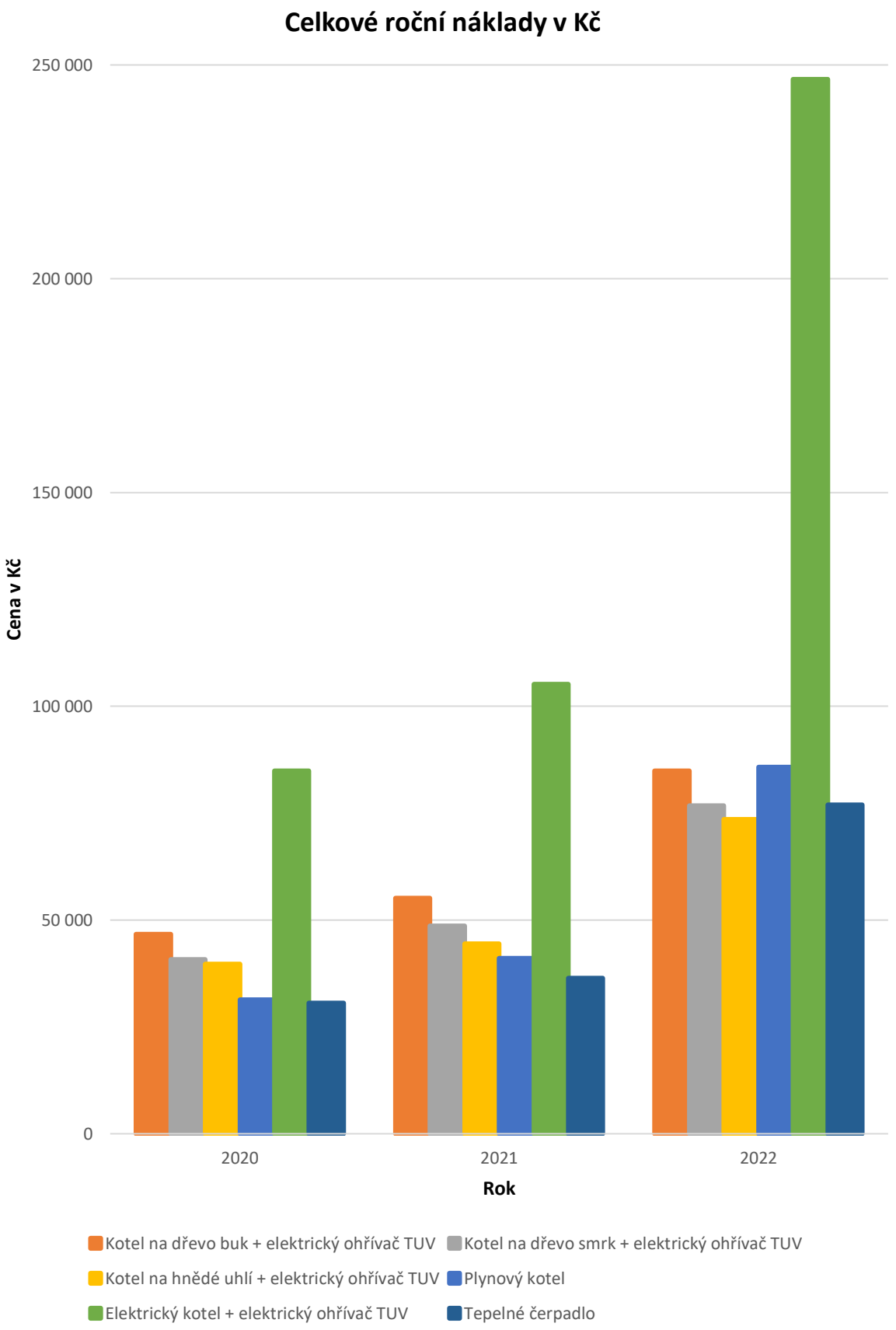
Tabulka 24: Roční náklady v Kč s cenami paliv/energií z roku 2020 u jednotlivých zdrojů tepla [45] [46] [47] [48]

Roční náklady v Kč, srpen 2020	Kotel na dřevo buk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na dřevo smrk + elektrický ohřívač TUV	Kotel na hnědé uhlí + elektrický ohřívač TUV	Plynový kotel	Elektrický kotel+ elektrický ohřívač TUV	Tepelné čerpadlo
Roční náklady na vytápění v Kč	28 222	22 385	21 252	27 550	69 656	25 788
Roční náklady na ohřev vody v Kč	18 415	18 415	18 415	5 134	15 270	4 805
Celkové roční náklady v Kč	**46 637**	**40 800**	**39 667**	**32 684**	**84 926**	**30 593**

V tabulce 23 a v tabulce 24 byly roční náklady vypočítány dosazením do rovnic (4.1) - (4.6), stejně jako v tabulce 22. Pouze byly použity jiné ceníky paliv/energií [47]. Když porovnáme roční náklady v jednotlivých letech, zjistíme, že za poslední rok (2021-2022) vzrostly ceny na vytápění a ohřev teplé vody elektřinou a plynem o více než 100 % a u vytápění tuhými palivy přibližně o 30 %. Když porovnáme rok 2020 a 2021, tak nárůst cen paliv a energií byl daleko nižší. Cena u vytápění dřevem vzrostla přibližné o 15 %, uhlím o 5 %, u vytápění a ohřevem vody zemním plynem o 30 % a elektřinou o 25 %.



Obrázek 26: Celkové roční náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody u jednotlivých zdrojů tepla v roce 2022 pro modelový dům [45] [46] [47] [48]



Obrázek 27: Celkové roční náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody u jednotlivých zdrojů tepla v letech 2020, 2021 a 2022 u modelového domu [45] [46] [47] [48]

4.2.3 Celkové náklady za daný časový úsek

Celkové náklady jsou náklady počáteční (kapitola 4.2.1) sečtené s náklady ročními (kapitola 4.2.2) za vybraný časový úsek (jednotky let). Časový úsek byl vybrán patnáct let. Tato doba je odhadovaná doba životnosti jednotlivých zdrojů tepla.

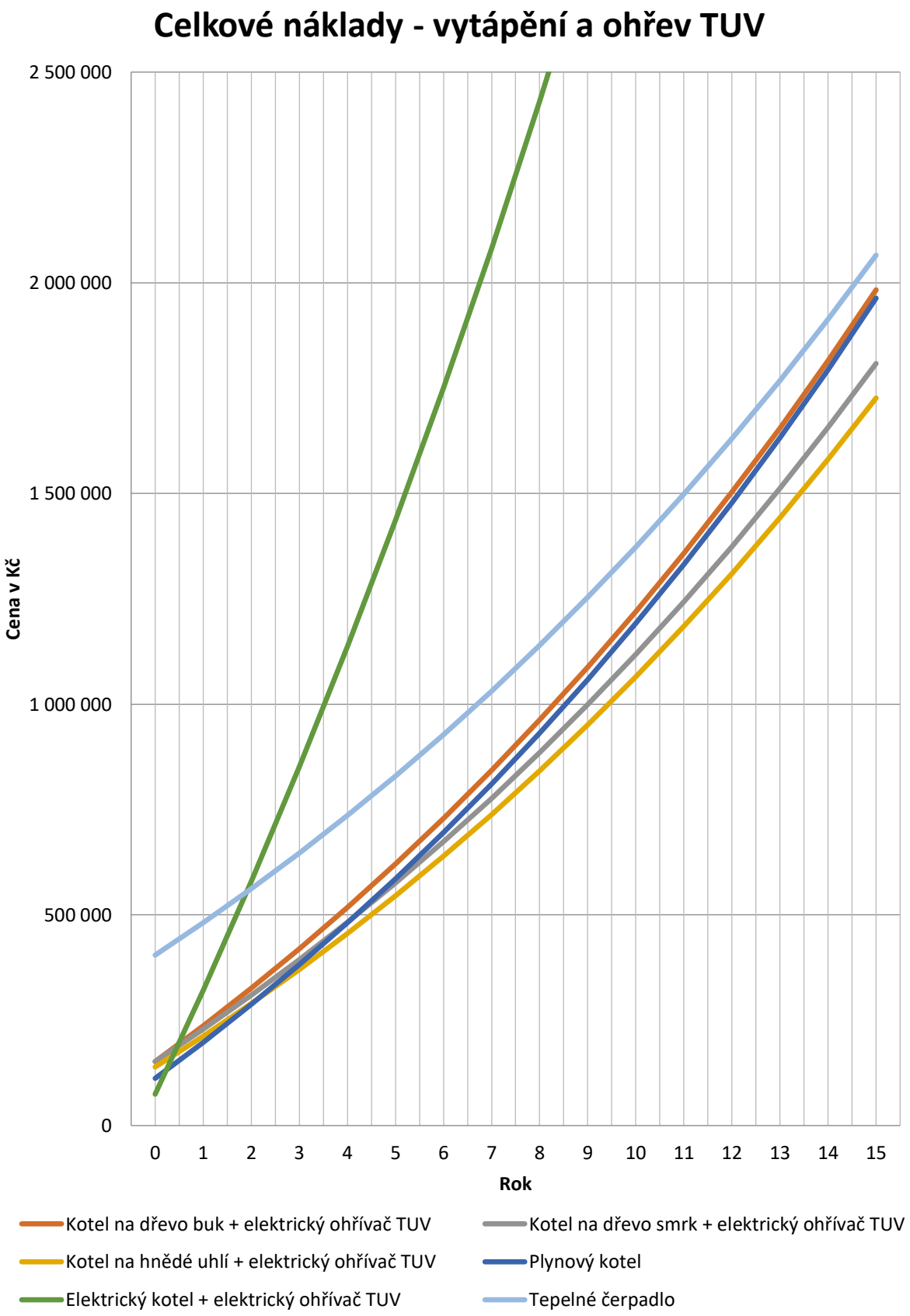
Byla vytvořena grafická závislost (obrázek 28), která zobrazuje vývoj nákladů v průběhu budoucích patnácti let. Na počátku (v roce nula) je zobrazena počáteční investice jednotlivých zdrojů tepla. Poté každý rok jsou přičteny ceny celkových ročních nákladů, které se meziročně zvyšují o 5 % (nejedná se tedy o lineární závislost). Tato hodnota meziročního navýšení byla zvolena z důvodů velkého nárůstu cen paliv/energií za poslední rok a z důvodu stále rostoucí inflace. Celkové náklady se však mohou od skutečnosti lišit. Vliv na cenu paliv a energií má totiž mnoho faktorů, které se dají obtížně předvídat. Patří mezi ně současná válka na Ukrajině, pandemie COVID, růst cen emisních povolenek, zavírání jaderných a uhelných elektráren v Evropě a mnohé další [49].

Z grafu na obrázku 28 vyplývá, že elektrokotel v kombinaci s elektrickým ohřívačem má sice nejnižší pořizovací náklady, ale jeho roční náklady jsou tak extrémně vysoké, že po dvou letech provozu dokonce přesáhnou náklady tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo vzduch-voda už je srovnatelnější s ostatními zdroji tepla. Ovšem jeho pořizovací cena je vysoká a jeho roční náklady jsou kvůli vysoké ceně elektřiny srovnatelné s ročními náklady vytápění plynem a tuhými palivy. Z tohoto důvodu se jeví tepelné čerpadlo jako druhý nejdražší zdroj tepla (z pěti vybraných) u modelového domu. Překvapivě dobrou volbou se zdá být stávající plynový kotel, jehož výhodou je jednoduchý provoz a obsluha. Cena plynu je však momentálně proměnlivá a lze jen těžko předpovědět v jakých intervalech se bude pohybovat za pár let.

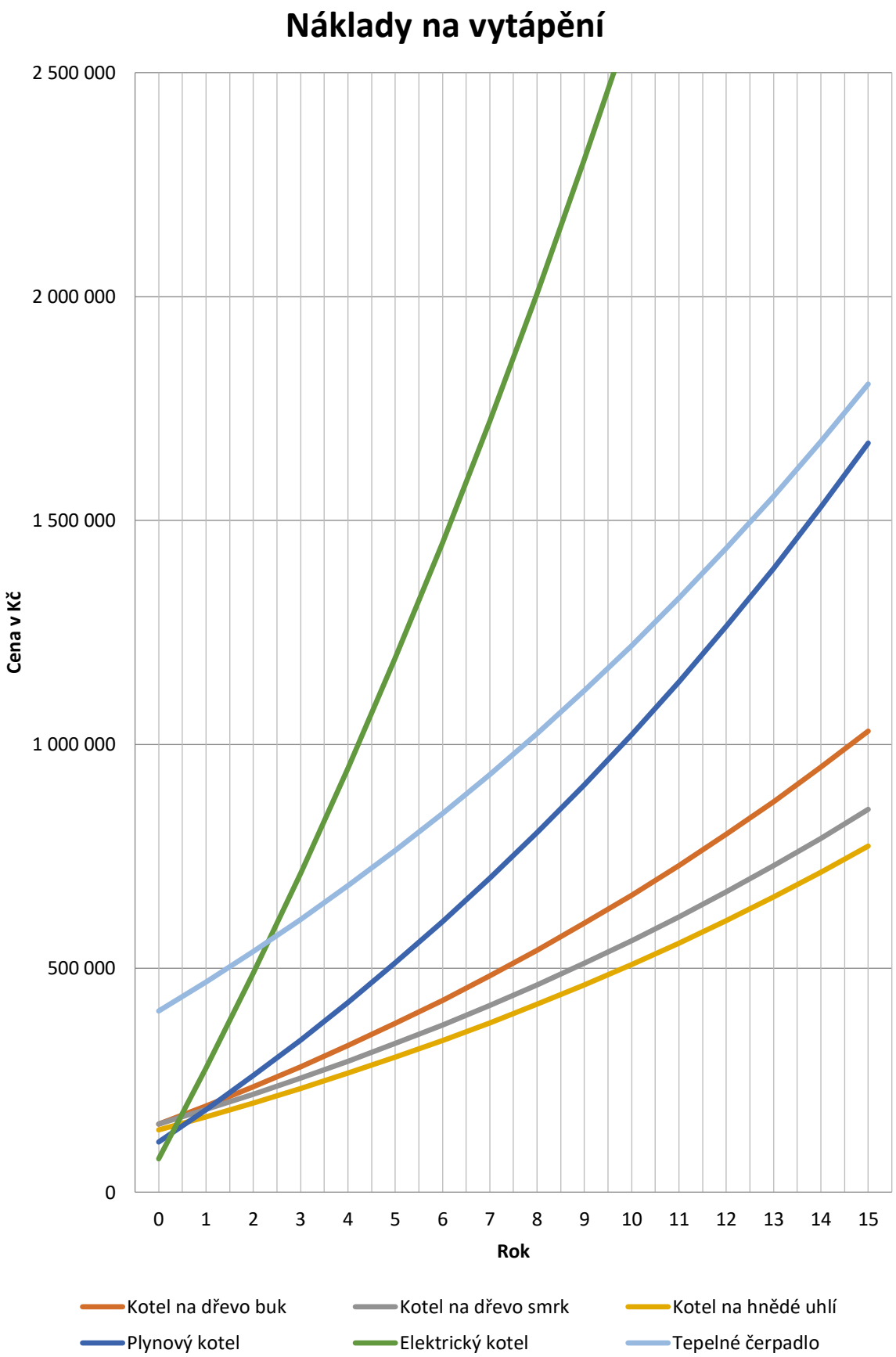
Z porovnání celkových ročních nákladů vyplývá, že ohřev teplé užitkové vody elektrickým ohřívačem přesahuje náklady na vytápění tuhými palivy. Pro porovnání jsou na obrázku 29 vyobrazeny celkové náklady pouze na vytápění (bez ohřevu teplé užitkové vody) za 15 let provozu s meziročním nárůstem cen o 5 %. Zde se již více projevuje finanční úspora vytápění tuhými palivy.

Výhodné by bylo nahradit elektrický ohřívač vody za kombinovaný nepřímotopný zásobník, ve kterém by se ohřívala voda v topné sezoně tepelným zdrojem na tuhá paliva. Elektřinou by se ohřívala voda pouze mimo topnou sezonu, čímž by došlo k výrazné úspoře elektrické energie. Další alternativou k ohřevu teplé užitkové vody mimo topnou sezonu je solární ohřev teplé užitkové vody, a to buď pomocí kapalinových kolektorů nebo fotovoltaických panelů, který by náklady na elektřinu velmi snížil. Fotovoltaický systém by byl vhodný i pro kombinaci s tepelným čerpadlem (kvůli vysokým cenám elektřiny).

Dále by bylo dobré posoudit, zda by se vyplatilo u modelového domu tepelné čerpadlo země-voda s hlubinnými vrty, kde jsou až dvojnásobné pořizovací náklady oproti tepelnému čerpadlu vzduch-voda. Tepelné čerpadlo země-voda má však vyšší topné faktory, tudíž by se spotřeba elektřiny snížila a tím by byly nižší i roční náklady.



Obrázek 28: Celkové náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody na 15 let provozu s meziročním nárustem cen o 5 %



Obrázek 29: Náklady pouze na vytápění na 15 let provozu s meziročním nárustem cen o 5 %

4.3 Vliv změny vnitřní výpočtové teploty na roční náklady na vytápění

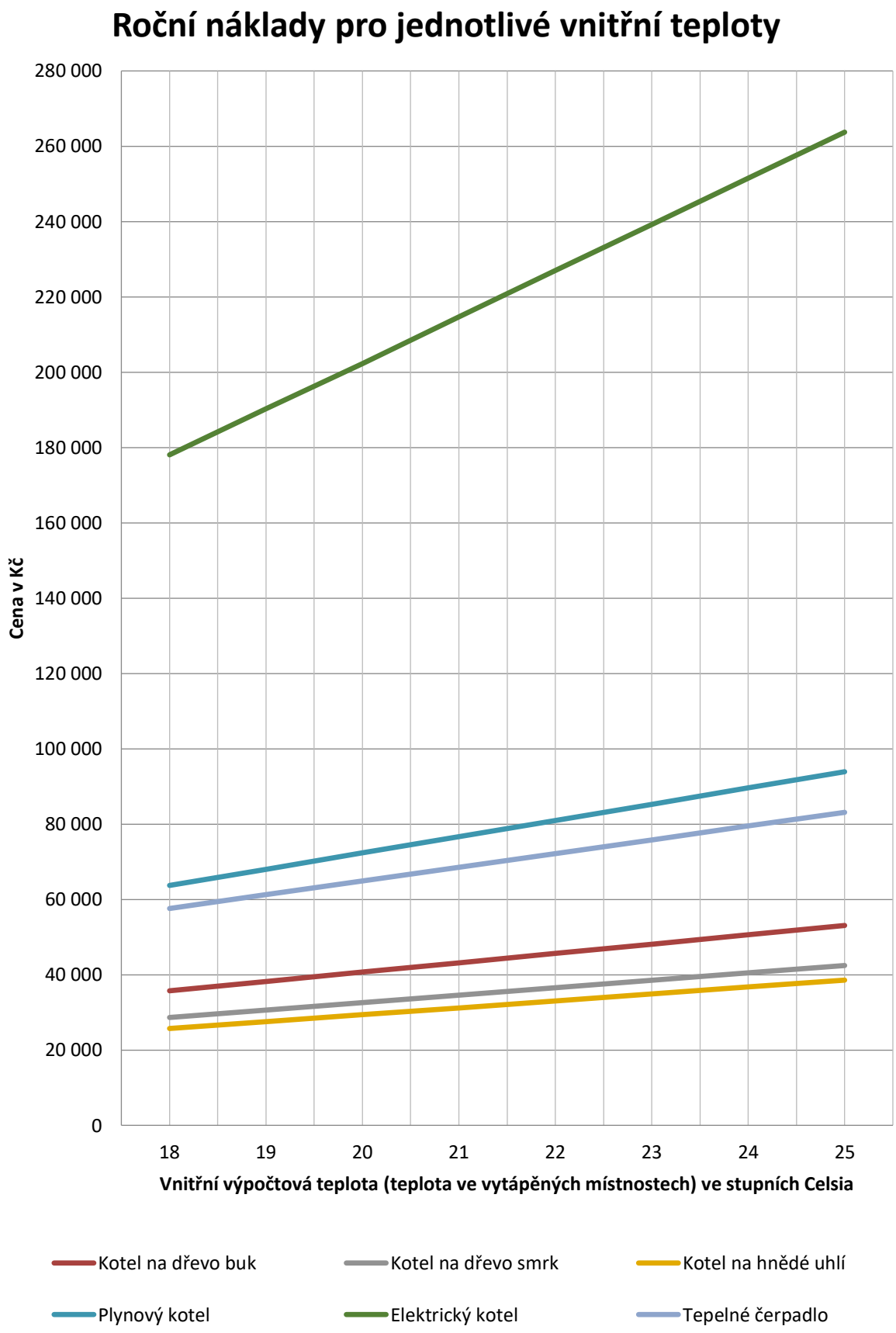
Velký vliv na úsporu financí v domácnostech může mít i nastavení termostatu na nižší teplotu ve vytápěných místnostech. V mnoha domácnostech se přetápí jednotlivé místnosti na teplotu např. 23 °C a poté se často otevírají okna a větrá se. Jaký vliv má vnitřní výpočtová teplota (teplota ve vytápěných místnostech) $\theta_{int,i}$ na celkovou roční potřebu tepelné energie na vytápění $Q_{VYT,r}$ ukazuje tabulka 25. Výpočet je znázorněn v příloze A, postupovalo se podle rovnic (3.1) až (3.15) stejně, jako při výpočtu teploty $\theta_{int,i} = 20$ °C. Do rovnic (3.1) až (3.15) se dosazovala vždy různá vnitřní výpočtová teplota, ostatní vstupní veličiny (jako např. venkovní teplota a další klimatické údaje, rozměry a vlastnosti zdí a stropů atp.) zůstaly původní, tedy nebyly změněny.

Tabulka 25: Vliv vnitřní výpočtové teploty na roční potřebu tepelné energie na vytápění

Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ [°C]	Celková roční potřeba tepelné energie na vytápění $Q_{VYT,r}$ [MWh/rok]
18	23,961
19	25,662
20	27,368
21	29,073
22	30,782
23	32,495
24	34,209
25	35,926

Z tabulky 25 lze vypozorovat, že mezi jednotlivými hodnotami tepelných energií jsou poměrně značné rozdíly. Jak se tyto rozdíly promítnou v ročních nákladech pro jednotlivé zdroje tepla, zobrazuje graf na obrázku 30. Roční náklady byly vypočítány dosazením jednotlivých celkových ročních potřeb tepelné energie na vytápění do rovnic (4.1) až (4.6).

Z grafu na obrázku 30 vyplývá, že cena roste lineárně se zvyšující se vnitřní výpočtovou teplotou (čím je interiér vytápěn na vyšší teplotu, tím více si zákazník připlatí za paliva/energie). Kdyby se celý rok vytápěly místnosti zemním plynem v modelovém domě v prvním případě na teplotu 25 °C a v druhém případě na teplotu 18 °C, tak rozdíl mezi ročními náklady u zemního plynu činí přes 30 000 Kč, což není zanedbatelná částka. Reálně se však v drtivé většině domácnostech na 25 °C, ani na 18 °C nevytápí. Když porovnáme dva případy, které už jsou častější, tedy např. vytápění zemním plynem celoročně na teplotu 21 °C a na teplotu 20 °C, zjistíme, že roční úspora je kolem 4 300 Kč.



Obrázek 30: Vliv vnitřní výpočtové teploty na roční potřebu tepelné energie na vytápění

ZÁVĚR

Výběr ekonomicky výhodného způsobu vytápění v rodinném domě je zcela aktuální téma. Každý, kdo si chce nechat postavit nový dům nebo ho rekonstruuje, potřebuje i vytápět své obydlí. Když skončí u stávajícího zdroje tepla životnost, je nutné ho nahradit. Tato bakalářská práce může sloužit jako elementární příručka pro ty, kteří vybírají zdroj tepla a chtějí vybrat ekonomicky výhodnou variantu vhodnou pro jejich dům.

Bakalářské práce je rozdělena do čtyř kapitol. První a druhá kapitola jsou teoretické a je zde uveden přehled paliv a jednotlivých zdrojů tepla, které je možné využít pro vytápění rodinných domů. Třetí kapitola je již výpočtová. Hlavním cílem této kapitoly bylo zjištění tepelné ztráty vybraného objektu. Výpočet byl realizován podle normy ČSN EN 12831-1. Pro výpočet byl zvolen rodinný dům, nacházející se v Telči. Tento dům byl postaven v roce 1936 a postupem času byl rekonstruován. Dům má celkem čtyři patra, z toho vytápěná jsou pouze dvě. Plocha vytápěných místností je $144\ m^2$. Celková tepelná ztráta vybraného domu je vypočtena jako součet ztráty prostupem a ztráty větráním. Tepelná ztráta prostupem vyšla $10\ 617\ W$, tepelná ztráta větráním $1\ 838\ W$ a celková tepelná ztráta tedy činí $12\ 455\ W$ a byla použita k dimenzování výkonu zdroje tepla. Hodnota celkové tepelné ztráty se zdá být poměrně vysoká, avšak musíme zohlednit stáří původních obvodových zdí, přes které uniká většina tepla. Tyto zdi jsou prakticky původní a bez zateplení. Zateplené jsou v domě pouze stropy a střešní konstrukce. Z celkové tepelné ztráty byla vypočtena hodnota celkové roční potřeby energie na vytápění, která vyšla $27{,}368\ MWh/rok$.

Hlavním cílem bakalářské práce a předmětem poslední kapitoly bylo porovnání zdrojů tepla. Porovnány byly tyto zdroje: zplyňovací kotel na dřevo ATTACK DPX 15 STANDARD, zplyňovací kotel na hnědé uhlí ATMOS C 15 S, plynový kotel Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus (využívaný v současnosti v modelovém domě), elektrokotel BOSCH Tronic Heat H 15 a tepelné čerpadlo vzduch-voda NIBE F2040-12 s vnitřní jednotkou VVM S320. Nejprve byla zjištěna pořizovací cena zdrojů tepla, včetně jejich příslušenství, zásobníků teplé užitkové vody a jejich dopravy a montáže. Nejdražší z vybraných zdrojů je tepelné čerpadlo, které přesahuje částku 400 000 Kč. Nejlevnějším zdrojem je elektrokotel, který spolu s elektrickým ohřívačem vody vychází 5,4krát levněji než tepelné čerpadlo. O trochu vyšší pořizovací cenu, než elektrokotel má plynový kotel, dále kotel na uhlí a kotel na dřevo. Důležitou součástí celkových nákladů jsou náklady roční. V nich jsou zahrnuty ceny paliv/energií zjištěných z ceníků dodavatelů. Roční náklady jsou zobrazeny v grafech na obrázcích 26 a 27. Nejvyšší roční náklady má elektrokotel s elektrickým ohřívačem teplé vody. Tyto náklady jsou extrémně vysoké a dosahují hodnoty téměř čtvrt milionu Kč. Důvodem je vysoká cena elektřiny v současnosti, která se za poslední dva roky téměř ztrojnásobila. Proto i roční náklady u tepelného čerpadla vychází, stejně jako roční náklady u ostatních zdrojů tepla, kolem 80 000 Kč. Topení a ohřev vody zemním plynem vychází překvapivě dobře, ovšem cena plynu je v současnosti velmi nestabilní. Vytápění tuhými palivy je nejlevnější, ale jejich kombinace s ohřevem teplé užitkové vody elektrickým ohřívačem není dobrou volbou.

Vývoj celkových nákladů v průběhu budoucích patnácti let ukazuje graf na obrázku 28. Náklady pouze na vytápění zobrazuje graf na obrázku 29. Z grafů je patrné, že tepelné čerpadlo vzduch-voda rozhodně není ekonomicky nejvýhodnější variantou pro modelový dům. Pokud očekáváme od vytápění uživatelský komfort, vyplatí se pro modelový dům stávající plynový kotel. Pokud chceme ušetřit, vhodnou volbou je kotel na hnědé uhlí, popřípadě kotel na dřevo.

Neméně důležitým faktorem, který ovlivňuje celkové náklady, je tepelná pohoda v jednotlivých místnostech domu. Z grafu na obrázku 30 je zřejmé, že při vytápění modelového domu např. zemním plynem na teplotu 25 °C a na teplotu 18 °C, činí rozdíl mezi ročními náklady přes 30 000 Kč. Když mezi sebou porovnáme pouze reálný rozdíl jednoho stupně, tzn. vytápění na teplotu 21 °C a na teplotu 20 °C, zjistíme, že roční úspora je kolem 4 300 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání třetí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2019. ISBN 978-80-214-5769-0.

[2] KAMEŠ, Josef. *Fosilní paliva: uhlí, ropa a zemní plyn*. 1. vyd. Praha: [s.n.], 2012. ISBN 978-80-260-1291-7.

[3] *Kotle malých výkonů na pevná paliva* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN ISBN 978-80-248-2542-7. Dostupné z: http://www.iczt.cz/cs/doc/kotleMV.pdf

[4] NOVÁK, Jan. Výhřevnosti paliv. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv?r=1&p=20

[5] LANDA, Stanislav. *Paliva a jejich použití*. 2. dopl.uprav.vyd. Praha: SNTL, 1956, 362 s.

[6] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

[7] KLOBUŠNÍK, Lubomír. *Pelety: palivo budoucnosti*. 1. vyd. České Budějovice: Sdružení Harmonie, 2003. ISBN 80-239-1956-3.

[8] SPEIGHT, James G. *Handbook of Petrochemical Processes* [online]. 5th. ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, [2019] | Series: Chemical industries: CRC Press, 2019. ISBN 9780429155611. Dostupné z: doi:10.1201/9780429155611

[9] SPEIGHT, James G. Origin and Production. *Natural Gas* [online]. Elsevier, 2007, s. 35-59. ISBN 9781933762142. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-933762-14-2.50007-8

[10] FÍK, Josef. Složení zemních plynů. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/89-slozeni-zemnich-plynu

[11] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2011. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.

[12] LYČKA, Zdeněk. Typy teplovodních kotlů na pevná paliva. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva

[13] RYŠAVÝ, Jiří, Jiří HORÁK, František HOPAN, Kamil KRPEC, Petr KUBESA a Jiří KREMER. Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I.: Jak dlouho vydrží teplo z jednoho přiložení či nabité akumulační nádoby?. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/17137-komfort-kotlu-na-tuha-pevna-paliva-cast-i

[14] Krbová kamna. In: *Topin.cz* .Dostupné z: https://www.topin.cz/clanky/krbova-kamna-s-teplovodnim-vymenikem-1-cast-detail-6522

[15] BUFKA, Aleš, Jana BLECHOVÁ TOURKOVÁ, Miloslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. Přehled trhu plynových kotlů 2017 – 2019, díl 1. – Kategorie kotlů, druhy plynů a spotřeby. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/20786-prehled-trhu-plynovych-kotlu-2017-2019-dil-1-kategorie-kotlu-druhy-plynu-a-spotreby

[16] VALENTA, Vladimír. Kondenzační kotel pro každého (I). *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i

[17] Kondenzační kotel: Zjistěte, jak funguje. In: *Plyn.cz* [online]. Dostupné z: https://www.plyn.cz/kondenzacni-kotel-zjistete-jak-funguje

[18] KVASNIČKA, Pavel a Michal KABRHEL. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější– část 1. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-uspornejsi-a-ekologictejsi-cast-1

[19] Vytápění rodinných domů topným olejem I. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/6831-vytapeni-rodinnych-domu-topnym-olejem-i

[20] BLAŽÍČEK, Jan. Sálavé elektrické vytápění. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/11073-varianty-salaveho-elektrickeho-vytapeni?fbclid=IwAR3s6erPo18GKZFLytGMwu8FQMEq1c9xANWs8vaoRckKbFmhmEAUesz9PY4

[21] KOPAČKOVÁ, Dagmar, Jan BLAŽÍČEK a Josef HODBOŇ. Varianty elektrického vytápění – rozdělení podle zdroje tepla. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/10833-varianty-elektrickeho-vytapeni-rozdeleni-podle-zdroje-tepla?fbclid=IwAR2hGTmEoU9t1Q0X_jcQwMXmt_frgxaqdw0RpfhOR9tZ-G5gcCnaab9-0o4

[22] BLAŽÍČEK, Jan. Konvekční elektrické vytápění. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/elektricke-vytapeni/11256-varianty-konvekcniho-elektrickeho-vytapeni?fbclid=IwAR0tBbzkqNP-TzBMcza0tSvLRmmPKniodlxnFl15BlUWkMtmFkAv8lFTy8Q

[23] JAK SE INSTALUJE PODLAHOVE VYTAPĚNÍ (TOPNÉ FÓLIE). In: *Zdravevytapeni.cz* [online]. Dostupné z: https://www.zdravevytapeni.cz/cs/topne-folie/topna-folie-svepomoci/

[24] ELEKTROKOTLE. In: *TC NVF* [online]. Dostupné z: https://www.tcnvf.cz/elektrokotle-obecne.php

[25] HODBOŇ, Josef. Tepelná čerpadla – základní informace. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/23093-tepelna-cerpadla-zakladni-informace

[26] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-031-8.

[27] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (III) - výkon, spotřeba elektřiny a topný faktor. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/969-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-iii

[28] HOŘEJŠÍ, Miroslav. Tepelná čerpadla pro každého (II) - druhy podle zdroje tepla. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/957-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-ii

[29] THEMEßL, Armin a Werner WEIß. *Solární systémy: návrhy a stavba svépomocí*. V Gradě 1. vyd. Praha: Grada, 2005. Profi & hobby. ISBN 80-247-0589-3.

[30] *Solární vytápění* [online]. In: . Dostupné z: https://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/

[31] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 2018.

[32] Součinitel prostupu tepla. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla

[33] Tepelný odpor R. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r#odporRT

[34] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapeni-vetrani-a-pripravu-teple-vody

[35] *Dřevozplyňovací kotel ATTACK DPX* [online]. Dostupné z: https://attack.cz/katalog/kotle-na-tuha-paliva/drevozplynovaci-kotle/kotel-na-drevo-attack-dpx

[36] *Zplyňovací kotle na hnědé uhlí* [online]. Dostupné z: https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-na-uhli-drevo/

[37] *Návod k instalaci a údržbě Vaillant* [online]. Dostupné z: https://www.vaillant.cz/downloads/n-vody/navody-k-instalaci/ni-ecotec-plus-vu-vuw-6-55-1455726.pdf

[38] *BOSCH* [online]. Dostupné z: https://www.bosch-thermotechnology.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/elektrokotle-1098089-c/

[39] *NIBE* [online]. Dostupné z: https://www.nibe.cz/

[40] *Dražice OKC 200 NTR* [online]. Dostupné z: https://www.topenilevne.cz/drazice-okc-200-ntr-p161/

[41] *Dražice OKCE 200 2/2kW* [online]. Dostupné z: https://www.topenilevne.cz/drazice-okce-200-2-2kw-ohrivac-vody-elektricky-p123173/#gallery

[42] LYČKA, Zdeněk. Výměna kotlů a povinná akumulace: Minimální objem akumulační nádrže podle ČSN EN 303-5. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19406-vymena-kotlu-a-povinna-akumulace

[43] *Dražice NAD 1000 v2* [online]. Dostupné z: https://www.topenilevne.cz/drazice-nad-1000-v2-p8948/#gallery

[44] NOVÁK, Jan. Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva

[45] *Palivové dříví a prodej řeziva* [online]. Dostupné z: https://www.drevovysocina.cz/sluzby/palivove-drivi/?gclid=EAIaIQobChMI77mhvOjN9wIV9Y9oCR28RwrCEAMYAyAAEgK6U_D_BwE#cenik

[46] *Komořanský ořech 1 - Herkules* [online]. Dostupné z: http://www.havelka.cz/komoransky-orech-1-herkules/

[47] *Ceníky* [online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html

[48] *PLYN BEZ ZÁVAZKU: Ceník* [online]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/plyn-2022/moo/cez_plyn_cenik_plyn-bez-zavazku-gasnet-2_2022_web.pdf

[49] LAZAREVIČ, Arsen. *5 důvodů, proč elektřina výrazně zdraží* [online]. Dostupné z: https://www.elektrina.cz/5-duvodu-proc-elektrina-zdrazi

[50] Jak funguje kondenzační kotel (Schéma kondenzačního kotle). In: *Quantum* [online]. Dostupné z: https://www.quantumas.cz/kondenzacni-kotle/

[51] KLASICKÝ NÁSTĚNNÝ ELEKTRICKÝ KONVEKTOR. In: *Hydrostop* [online]. Dostupné z: https://www.hydrostop.cz/eshop/klasicky-nastenny-elektricky-konvektor-ecoflex-atlantic-f125-d-15/pro474.html?gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOboZbICsFLp5TQM4AAqKatAbQIVL9gH0FQ2JJ1NLscAT9SMVWpFnC3cdycaAuYKEALw_wcB

[52] Sálavé infra-konvektory. In: *Klimatel* [online]. Dostupné z: https://www.najvykurovanie.sk/p/241/elektricke-salave-konvektory-ecoflex-solius-s-manualnym-ovladanim

[53] Tepelné čerpadlo: Jak funguje?. In: *ESTAV.cz* [online]. Dostupné z: https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-cerpadlo-jak-funguje

[54] Primární okruhy pro tepelná čerpadla země – voda. In: *TZB-info* [online]. Dostupné z: https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9681-primarni-okruhy-pro-tepelna-cerpadla-zeme-voda

[55] Princip tepelného čerpadla vzduch - voda. In: *TOPHEAT* [online]. Dostupné z: https://www.tepelna-cerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/11-vzduch-voda-aerogor.html

[56] Princip tepelného čerpadla voda - voda. In: *TOPHEAT* [online]. Dostupné z: https://www.tepelna-cerpadla-gorenje.cz/vypis_menu/12-voda-voda-aquagor.html

[57] *Teplovzdušné krbové vložky pro teplovzdušné krby* [online]. In: . Dostupné z: https://www.krbari-kamnari.cz/krby/teplovzdusne-krby/

[58] Fotovoltaický panel. In: *FVESYSTEMY.cz* [online]. Dostupné z: https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a5_0.htm

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_k	plocha stavební části (k)	$[m^2]$
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	$[Wh/(kg \cdot K)]$
$C_{daň}$	daň z elektřiny	$[Kč/MWh]$
$C_{dist,NT}$	cena za distribuci elektřiny v nízkém tarifu	$[Kč/MWh]$
$C_{distr.}$	cena za distribuci plynu	$[Kč/MWh]$
$C_{distr,měs.}$	cena za distribuci plynu – měsíční poplatek	$[Kč/měsíc]$
$C_{dod.}$	cena za dodávku plynu	$[Kč/MWh]$
$C_{dod,měs.}$	cena za dodávku plynu – měsíční poplatek	$[Kč/měsíc]$
$C_{dod,NT}$	cena za dodávku elektřiny (stejná pro nízký i vysoký tarif)	$[Kč/MWh]$
$C_{dop.}$	cena dopravy paliva-dřeva k rodinnému domu	$[Kč/rok]$
$C_{dřevo}$	cena paliva-dřeva za jeden metr krychlový rovnaných štípaných polen délky 33 cm	$[Kč/prm]$
$C_{jistič}$	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe	$[Kč/měsíc]$
C_{OTE}	poplatek za činnost OTE	$[Kč/měsíc]$
C_{POZE}	poplatek za podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE)	$[Kč/měsíc]$
$C_{služby}$	poplatek za systémové služby	$[Kč/MWh]$
C_{SMP}	stálá měsíční platba za dodávku elektřiny	$[Kč/měsíc]$
$C_{uhlí}$	cena paliva-hnědé uhlí za jeden kilogram	$[Kč/kg]$
COP	průměrný topný faktor tepelného čerpadla	$[-]$
d	tloušťka vrstvy	$[m]$
d_o	délka topného období	$[dny]$
D	vytápěcí denostupně	$[K \cdot dny]$

e_d	zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	$[-]$
e_i	nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem	$[-]$
e_t	snížení teploty v místnosti během dne, respektive noci	$[-]$
f_1	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi teplotou sousedního prostředí nebo prostoru (x) a venkovní výpočtovou teplotou	$[-]$
f_2	opravný činitel zohledňující rozdíl mezi vnitřní výpočtovou teplotou prostoru (i) a průměrnou povrchovou teplotou stavební části (k)	$[-]$
$f_{iae,k}$	teplotní opravný činitel	$[-]$
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	$[-]$
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	$[-]$
$H_{dřevo}$	výhřevnost paliva-dřeva	$[MJ/kg]$
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) přes sousední nevytápěný prostor (ae)	$[W/K]$
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e)	$[W/K]$
$H_{uhlí}$	výhřevnost paliva-hnědé uhlí	$[MJ/kg]$
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti (i)	$[h^{-1}]$
$N_{dřevo,VYT}$	roční náklady na vytápění dřevem	$[Kč/rok]$
$N_{el,TUV}$	roční náklady na ohřev teplé užitkové vody elektřinou pomocí zásobníkového ohřívače vody	$[Kč/rok]$
$N_{el,VYT}$	roční náklady na vytápění elektřinou	$[Kč/rok]$
$N_{TČ,TUV}$	roční náklady na ohřev teplé užitkové vody tepelným čerpadlem	$[Kč/rok]$
$N_{TČ,VYT}$	roční náklady na vytápění tepelným čerpadlem	$[Kč/rok]$
$N_{\mathrm{plyn,TUV}}$	roční náklady na ohřev teplé vody zemním plynem	$[Kč/rok]$

$N_{\text{plyn,VYT}}$	roční náklady na vytápění zemním plynem	$[Kč/rok]$
$N_{uhlí,VYT}$	roční náklady na vytápění hnědým uhlím	$[Kč/rok]$
$q_{V,min,i}$	minimální objemový průtok vzduchu místnosti (i)	$[(m^3/h)]$
$Q_{VYT,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na vytápění	$[MWh/rok]$
$Q_{TUV,r}$	celková roční potřeba tepelné energie na ohřev teplé užitkové vody	$[MWh/rok]$
R	odpor konstrukce	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{se}	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$[(m^2 \cdot K)/W]$
R_{si}	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	$[(m^2 \cdot K)/W]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části (k)	$[W/(m^2 \cdot K)]$
V_i	vnitřní objem (objem vzduchu) místnosti (i)	$[m^3]$
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	$[W/(m^2 \cdot K)]$
ε	opravný součinitel	$[-]$
$\eta_{dřevo}$	účinnost zplyňovacího kotle na dřevo ATTACK DPX 15 STANDARD udávaná výrobcem	$[-]$
$\eta_{el.kotel}$	účinnost elektrického kotle BOSCH Tronic Heat H 15	$[-]$
η_o	účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy	$[-]$
$\eta_{ohřívač}$	účinnost zásobníkového ohřívače vody OKCE 200 2/2kW	$[-]$
η_{plyn}	účinnost plynového kotle Vaillant VU 256/5-5 (H-INT II) ecoTEC plus	$[-]$
η_r	účinnost rozvodu vytápění	$[-]$
$\eta_{uhlí}$	účinnost zplyňovacího kotle na hnědé uhlí ATMOS C 15 S	$[-]$
θ_e	venkovní výpočtová teplota	$[°C]$

θ_{es}	průměrná teplota během otopného období	$[°C]$
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota uvažovaného vytápěného prostoru (i)	$[°C]$
$\theta^{*}_{int,i}$	průměrná vnitřní povrchová teplota stavební části	$[°C]$
θ_{x}	teplota sousedního prostoru nebo prostředí (x)	$[°C]$
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W/(m \cdot K)]$
ρ	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě $\theta_{int,i}$	$[kg/m^3]$
$\rho_{dřevo}$	objemová hmotnost paliva-dřeva	$[kg/prm]$
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i), které se vyskytují při venkovních výpočtových podmínkách	$[W]$
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) v případě přerušovaného vytápění	$[W]$
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i)	$[W]$
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)	$[W]$
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním místnosti (i)	$[W]$
$\Sigma\Phi_{HL,i}$	celková tepelná ztráta objektu (tepelný výkon)	$[kW]$
$\Sigma\Phi_{HL,i}$	celková tepelná ztráta objektu (tepelný výkon)	$[kW]$
$\Sigma\Phi_{T,i}$	celková tepelná ztráta prostupem	$[kW]$
$\Sigma\Phi_{V,i}$	celková tepelná ztráta větráním	$[kW]$

SEZNAM PŘÍLOH

1 Příloha A
2 Příloha B