

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

ANALÝZA REKONSTRUKCE BUDOVY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. VOJTĚCH RAIN

3-IB-2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rain** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **467294**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Analýza rekonstrukce budovy

Název diplomové práce anglicky:

Analysis of Building Retrofit

Pokyny pro vypracování:

Proveďte analýzu rekonstrukce zadaného bytového domu pro různé varianty úrovně zateplení, způsobu větrání (bez zpětného získávání tepla, se zpětným získáváním tepla), změny přípravy teplé vody (lokální ohřivače, centrální příprava) a využití obnovitelných zdrojů energie (zejména fotovoltaika, tepelná čerpadla). Stanovte investiční a provozní náklady pro každou z vybraných variant. Navrhněte kombinaci energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady (investice, provozní za 15 let) pro zvolenou úroveň redukce emisí CO₂.

Seznam doporučené literatury:

Přednášky Energetická náročnost budov a systémů
Přednášky Alternativní zdroje energie
ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. ÚNMZ 2011.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání diplomové práce: **29.04.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **29.06.2022**

Platnost zadání diplomové práce:


doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

29.4.2022

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Souhrn

Diplomová práce analyzuje varianty rekonstrukce zadaného bytové domu. Pro analýzu jsou uvažovány tři varianty rekonstrukce, kombinující různé úrovně tepelně technický opatření s rozdílnými zdroji tepla a využitím obnovitelných zdrojů. Součástí diplomové práce je i návrh kombinace energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady pro zvolenou úroveň redukce emisí CO₂.

Summary

The diploma thesis analyzes variants of the reconstruction of a given apartment building. Three variants of reconstruction are considered for the analysis, combining different levels of thermal engineering measures with different heat sources and the use of renewable sources. The diploma thesis also includes a proposal for a combination of energy saving measures with the lowest total costs for the selected level of CO₂ emission reduction.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Analýza rekonstrukce budovy“ vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Tomáše Matušky Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Bc. Vojtěch Rain

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Tomáši Matuškovi Ph.D. za jeho čas, trpělivost a spolupráci v průběhu psaní této diplomové práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	BUDOVY S NÍZKOU POTŘEBOU ENERGIE.....	11
2.1	HODNOCENÍ BUDOV	11
2.2	KATEGORIE BUDOV	12
2.3	STAVEBNĚ-ARCHITEKTONICKÉ ŘEŠENÍ	15
2.3.1	Obvodové konstrukce	17
2.3.2	Tepelná izolace	19
2.3.3	Výplně otvorů	20
2.4	TECHNICKÉ SYSTÉMY BUDOV	21
2.4.1	Vytápění.....	21
2.4.2	Větrání	22
2.4.3	Příprava teplé vody	24
2.5	ZDROJE TEPLA A ENERGIE	25
2.5.1	Centrální zásobování teplem.....	25
2.5.2	Spalovací zařízení	25
2.5.3	Tepelná čerpadla	27
2.5.4	Fotovoltaika	29
3	HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV	31
3.1	POTŘEBA ENERGIE	31
3.1.1	Vytápění.....	31
3.1.2	Příprava teplé vody	37
3.1.3	Elektrická energie	39
3.2	ZDROJE ENERGIÍ.....	41
3.2.1	Plynový kotel	41
3.2.2	Tepelné čerpadlo	42
3.2.3	Fotovoltaický systém	48
4	ANALÝZA BYTOVÉHO DOMU.....	50
4.1	POPIS BYTOVÉHO DOMU.....	50
4.2	VYHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	52
4.2.1	Vytápění.....	52
4.2.2	Příprava teplé vody	56
4.2.3	Elektrická energie	57

4.3	POPIS HODNOCENÝCH VARIANT	61
4.3.1	Varianta 1	62
4.3.2	Varianta 2	65
4.3.3	Varianta 3	71
4.4	POROVNÁNÍ VARIANT	77
4.5	REDUKCE EMISÍ CO ₂	79
5	ZÁVĚR	83
	LITERATURA	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK	90

Soupis použitého značení

A	Celková pohledová plocha otvoru zaskleného prvku	[m ²]
A_{FV}	Činná plocha fotovoltaických modulů	[m ²]
A_f	Vnitřní podlahová plocha budovy	[m ²]
A_i	Plocha i-té konstrukce	[m ²]
A_p	Plocha podlahy na terénu	[m ²]
A_s	Účinná plocha zaskleného prvku	[m ²]
B'	Charakteristický rozměr podlahy	[m]
C	Vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
COP	Topný faktor tepelného čerpadla	[-]
E	Potřeba elektrické energie	[Wh]
E_{aux}	Celková roční spotřeba elektrické energie	[kWh/rok]
E_b	Základní hodnota roční spotřeby pomocné elektrické energie	[kWh/rok]
E_{FV}	Produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem	[kWh/měs]
E_{pom}	Potřeba pomocné elektrické energie	[kWh]
E_{TC}	Potřeba elektrické energie pro pohon tepelného čerpadla	[kWh]
F	Korekční činitel	[-]
F_S	Korekční činitel stínění	[-]
G	Sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti	[kWh/m ² ·měs]
G_m	Střední sluneční ozáření	[W/m ²]
G_{ref}	Referenční ozáření	[m ²]
H	Měrná tepelná ztráta budovy	[W/K]
H_T	Měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m ² ·měs]
H_T	Měrná tepelná ztráta prostupem	[W/K]
$H_{T,e}$	Měrná tepelná ztráta prostupem obálkou budovy	[W/K]
$H_{T,g}$	Měrná tepelná ztráta prostupem zeminou	[W/K]
H_V	Měrná tepelná ztráta větráním	[W/K]
I_s	Úhrn slunečního záření na jednotku plochy	[kWh/m ²]
$NOCT$	Jmenovitá provozní teplota článku	[°C]
P	Obvod podlahy na terénu	[m]
Q_d	Potřeba tepla krytá doplňkovým ohřívačem	[kWh]
Q_G	Tepelné zisky	[kWh]
Q_i	Vnitřní tepelné zisky	[kWh]
Q_k	Teplo dostupné z tepelného čerpadla	[kWh]
Q_L	Ztráta tepla	[kWh]
Q_s	Solární zisky	[kWh]
Q_{TC}	Teplo dodané tepelným čerpadlem	[kWh]
$Q_{z,TV}$	Ztráta tepla zásobníku teplé vody	[kWh]
R	Tepelný odpor prostupem	[m ² ·K/W]
SPF	Sezónní topný faktor	[-]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{ekv}	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou a polomasivem	[W/m ² ·K]

U_{em}	Průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_i	Součinitel prostupu tepla i-té konstrukce	[W/m ² ·K]
U_k	Součinitel prostupu tepla i-té stavební části v kontaktu se zemí	[W/m ² ·K]
$U_{k,i}$	Deklarovaný součinitel prostupu tepla i-té konstrukce	[W/m ² ·K]
$U_{N,20}$	Požadovaná hodnota součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
$U_{pas,20}$	Doporučená hodnota součinitel prostupu tepla pro pasivní domy	[W/m ² ·K]
$U_{rec,20}$	Doporučené hodnota součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
V_e	Vnější objem budovy	[m ³]
V_i	Vnitřní objem budovy	[m ³]
$V_{i,b.j.}$	Vnitřní objem bytových jednotek	[m ³]
V_{TV}	Potřeba teplé vody	[m ³]
$V_{zás}$	Objem zásobníku teplé vody	[l]
\dot{V}	Průtok vzduchu v budově	[m ³ /h]
\dot{V}_f	Průtok vzduchu nuceným větráním	[m ³ /h]
\dot{V}_X	Průtok vzduchu infilrací	[m ³ /h]
$W_{L,A}$	Orientační hodnota měrné roční spotřeby elektrické energie na osvětlení	[kWh/m ² ·rok]
a, b, c, d, n	Numerické parametry	[-]
a_0	Referenční numerický parametr	[-]
c	Měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]
e	Součinitel větrné expozice	[-]
e_i	Součinitel stínění	[-]
$f_{L,J}$	Činitel podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení	[-]
g	Celková propustnost slunečního záření	[-]
g_{\perp}	Hodnota propustnosti slunečního záření pro kolmý úhel	[-]
k	Počet osob	[-]
n	Počet dní v měsíci	[-]
n_{50}	Intenzita větrání budovy při rozdílu tlaků mezi vnitřním a venkovním prostorem 50 Pa	[1/h]
n_{min}	Minimální intenzita větrání	[1/h]
p	Srážka vlivem elektrických ztrát	[-]
q_{NPE}	Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů	[kWh/m ² ·rok]
t	Délka časového úseku	[h]
t_{FV}	Střední teplota fotovoltaického článku	[°C]
t_{em}	Střední teplota venkovního vzduchu	[°C]
$t_{e,N}$	venkovní výpočtová teplota	[°C]
$t_{e,s}$	Střední denní teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]
t_i	Vnitřní teplota vzduchu	[°C]
$t_{i,max}$	Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti	[°C]
t_{k2}	Teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]

t_{SV}	Teplota studené vody	[°C]
t_{TV}	Teplota teplé vody	[°C]
t_{v1}	Teplota na vstupu do výparníku	[°C]
$t_{w1,N}$	Návrhová teplota přívodní vody	[°C]
$t_{w2,N}$	Návrhová teplota vratné vody	[°C]
x	Počet bytových jednotek	[-]
z	Přirážka pro tepelnou ztrátu soustavy	[-]
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² ·K]
$\Delta U_{tb,i}$	Přirážka zohledňující tepelné vazby a mosty	[W/m ² ·K]
$\Delta U_{tbk,j}$	Zvýšení hodnoty součinitele prostupu tepla	[W/m ² ·K]
$\Delta \eta_G$	Relativní snížení účinnosti	[%]
ϕ_{HL}	Návrhový tepelný výkon	[kW]
Φ_k	Výkon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody	[kW]
ϕ_T	Návrhový tepelný výkon prostupem	[kW]
ϕ_V	Návrhový tepelný výkon větráním	[kW]
α	Pohltivost fotovoltaického modulu	[-]
γ	Teplotní součinitel výkonu pro fotovoltaický modul	[%/K]
ε_i	Korekční součinitel na výšku od úrovně terénu	[-]
η	Účinnost zdroje	[%]
η_{FV}	Účinnost fotovoltaického systému	[%]
η_{ref}	Referenční účinnost	[%]
η_{ZZT}	Účinnost zpětného získávání tepla výměníku vzduchotechnické jednotky	[%]
θ_e	Průměrná teplota venkovního vzduchu	[°C]
θ_e	Výpočtová teplota venkovního vzduchu	[°C]
θ_i	Požadovaná teplota vnitřního vzduchu	[°C]
ρ	Hustota vody	[kg/m ³]
τ	Časová konstanta	[h]
τ_j	Doba trvání výpočtového intervalu j	[h]
τ_{TC}	Doba provozu tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody	[h]

1 Úvod

Snižování energetické náročnosti budov je stále aktuálnějším společenským tématem. S narůstající spotřebou energií rostou nejen náklady na provoz budov, ale také i množství produkce emisí spojených s výrobou energií. Členské státy Evropské unie v průměru spotřebují více než 40 % energie na provoz budov a tato hodnota bude nadále růst, pokud nedojde k potřebným opatřením. Novostavby s energeticky úspornými opatřeními počítají již od samotného návrhu. Mezi taková opatření patří optimalizovaný návrh tvaru budovy, správné uspořádání místnosti s preferovanou orientací na jižní světovou stranu, či výběr stavebních materiálů. Větší problém nastává u stávajících budov, u kterých taková opatření nejsou možná.

Ideálním řešením rekonstrukce stávajících budov je kompletní zateplení obálky budovy, výměna výplní otvorů, instalace systému větrání s možností zpětného získávání tepla, výměna zdrojů tepla za účinnější zdroje a využití obnovitelných zdrojů. Bohužel taková varianta je finančně velmi náročná, a ne každý disponuje potřebnými finančními prostředky. Z toho důvodu je nutné zvážit, která kombinace energeticky úsporných opatření povede k nejefektivnějšímu snížení energetické náročnosti budovy.

Diplomová práce má stanovené dva cíle. Prvním cílem je navrhnout a ekonomicky vyhodnotit odlišné varianty rekonstrukce konkrétního bytového domu. Navržené varianty kombinují různé úrovně zateplení, způsoby větrání (bez zpětného získávání tepla, se zpětným získáváním tepla), zdroje tepla a využití obnovitelných zdrojů. Druhým cílem je navržení kombinace energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady pro zvolenou úroveň redukce CO₂. Pro porovnání kombinací energeticky úsporných opatření jsou navrženy čtyři varianty, které jsou porovnány na základě celkových kumulovaných nákladů pro prvních 15 let provozu.

2 Budovy s nízkou potřebou energie

2.1 Hodnocení budov

Energetická náročnost budovy je určena veškerou spotřebovanou energií při standardním provozu budovy. Energie se v budovách spotřebovává především na vytápění, přípravu teplé vody, větrání, chlazení, osvětlení a provoz elektrických spotřebičů. V České republice jsou požadavky na energetickou náročnost budov stanovené zákonem č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií, konkrétně vyhláškou č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. Vyhláška stanovuje několik hodnotících ukazatelů energetické náročnosti budovy: [1] [2]

- Primární energie z neobnovitelných zdrojů energie vztažená na metr čtvereční energeticky vztažné plochy.
- Celková dodaná energie za rok vztažená na metr čtvereční energeticky vztažné plochy.
- Dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení vnitřního prostoru budovy za rok vztažené na metr čtvereční energeticky vztažné plochy.
- Průměrný součinitel prostupu tepla.
- Součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici.
- Účinnost technických systémů.

Od 1. ledna 2022 vstoupily v platnost změny požadavků na výstavbu nových budov s téměř nulovou spotřebou, což je jediný energetický standart, který zákon č.406/2000 Sb. a jeho vyhlášky rozlišují. Změny se týkají především většího důrazu na využití obnovitelných zdrojů energie. Nově vystavěné budovy by měly kombinovat optimalizovaný architektonický návrh s efektivními technologiemi a využitím obnovitelných zdrojů energie. [3]

2.2 Kategorie budov

Nízkoenergetické budovy

Nízkoenergetické budovy jsou volně definovány jako budovy s nízkou potřebou energie na vytápění. Obvyklé hodnoty pro měrnou potřebu tepla na vytápění se pohybují v rozmezí 15-50 kWh/m². Tohoto požadavku lze dosáhnout za předpokladu kvalitního a optimalizovaného provedení tepelné izolace a omezením tepelných mostů. Předpokládá se, že se v budoucnu číselné kritérium pro měrnou potřebu tepla na vytápění bude zpřísnovat, pokud tento pojem pro novostavby postupem času nevyumizí. [4]

Budovy s téměř nulovou spotřebou

Budovy s téměř nulovou spotřebou energie jsou v podstatě nízkoenergetické budovy s vyšším důrazem na instalaci obnovitelných zdrojů, umístěných v místě výstavby či jeho okolí. Pojem budovy s téměř nulovou spotřebou energie neboli nZEB (Nearly Zero Energy Buildings), byl poprvé definován evropskou směrnicí o energetické náročnosti budov v roce 2010, která nastínila vizi výstavby moderních budov po roce 2020. Povinnost výstavby tohoto energetického standardu pro novostavby byla v ČR zaváděna postupně a to tak, že od roku 2016 platila pro budovy orgánů veřejné moci a od roku 2018 do roku 2020 byla zaváděna pro ostatní vlastníky podle velikosti výstavby. [3]

Jenomže při dynamických změnách v energetice bylo toto nastavení nedostačující, proto byla 1. ledna 2022 přijata legislativní úprava, která definuje přísnější požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB II). Největší změnou nové vyhlášky je snížení referenční hodnoty potřeby neobnovitelné primární energie, vycházející z měrné potřeby tepla na vytápění referenční budovy. To znamená, že hlavním ukazatelem energetické náročnosti budov je od roku 2022 potřeba neobnovitelné primární energie. [5]

Tabulka 2.1: Snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů pro NZEB II [4]

Měrná potřeba tepla na vytápění referenční budovy $q_{VYT,R}$ [kWh/m ² · rok]	Snížení referenční hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů energie ΔnPE_R [%]		
	Pro obytnou zónu		Pro jinou než obytnou zónu
	Energeticky vztažná plocha budovy ≤ 120 m ²	Energeticky vztažná plocha budovy > 120 m ²	
≥ 90	50	60	40
80	45	55	
70	40	50	
60	35	45	
50	30	40	
40	25	30	
≤ 30	20	20	

Pasivní budovy

V České republice lze pasivní domy hodnotit podle norem ČSN EN 73 0540, TNI 73 0329, TNI 73 0330, nebo podle zahraničního modelu PHPP (Passive House Planning Package). Pasivní budovy jsou stejně jako nízkoenergetické domy charakterizovány nízkou měrnou potřebou tepla na vytápění, která je dána maximální hodnotou 15 kWh/m², pro rodinné domy 20 kWh/m². Hodnota měrné potřeby tepla na vytápění je jedním z mnoha hodnocených parametrů u pasivních budov. [4]

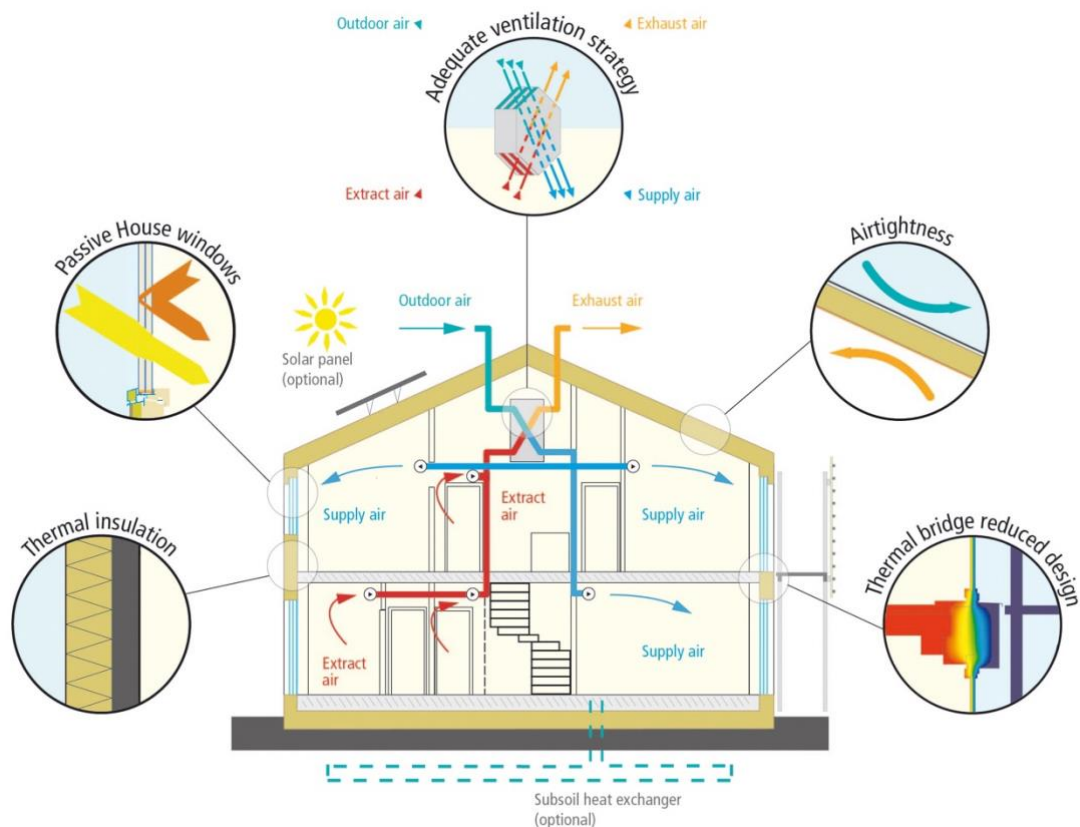
Další požadavky kladou důraz na součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí, nucené větrání se zpětným získáváním tepla, neprůvzdušnost obálky a celkovou potřebu neobnovitelné primární energie. Požadavky jsou uvedeny v tabulce 2.2. [4]

Tabulka 2.2: Požadavky pro pasivní domy [6]

	Požadavek
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² · K]	$\leq 0,22$
Účinnost zpětného získávání tepla větráním η_{ZZT} [%]	0,75
Neprůvzdušnost obálky budovy n_{50} [1/h]	0,6
Nejvyšší teplota vzduchu v pobytové místnosti $t_{i,max}$ [°C]	≤ 27
Potřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů q_{NPE} [kWh/m ² · rok]	60

Pro splnění daných požadavků je nutné dodržet několik podstatných zásad:

- Budova musí být orientována tak, aby její hlavní část fasády směřovala na jih a tím bylo umožněno co největším tepelným ziskům.
- Tepelná izolace musí obepínat celou stavební konstrukci, a to ideálně bez tepelných mostů. Cílem je dosáhnout minimální tepelné ztráty, kterou z velké části dokáže pokrýt teplo ze slunečního záření a vnitřního vyprodukovaného tepla.
- Perfektní vzduchotěsnost obvodového pláště.
- Systém nuceného větrání musí mít vysokou účinnost zpětného získávání tepla.
- Všechny výplně otvorů musejí mít vynikající tepelné izolační vlastnosti rámu. [6]



Obrázek 2.1: Schéma pasivního domu [7]

Nulové a plusové budovy

Termíny nulová nebo plusová budova nejsou v českém právu nijak definovány. Jedná se o budovy, jejichž základní snahou je omezit potřebu neobnovitelné primární energie na nulu, nebo v případě plusových budov dosáhnout záporné bilance. Pro dosažení záporné bilance je nutné, aby daná budova ročně produkovala více obnovitelné energie, než sama spotřebuje neobnovitelné energie. V praxi to znamená, že spotřebované

energie během zimních měsíců se vykompenzují letní produkcí a exportem obnovitelné energie do nadřazené sítě, převážně díky fotovoltaickým systémům. [8]

Pro nulové, případně plusové budovy jsou stanoveny dvě úrovně hodnocení: [4]

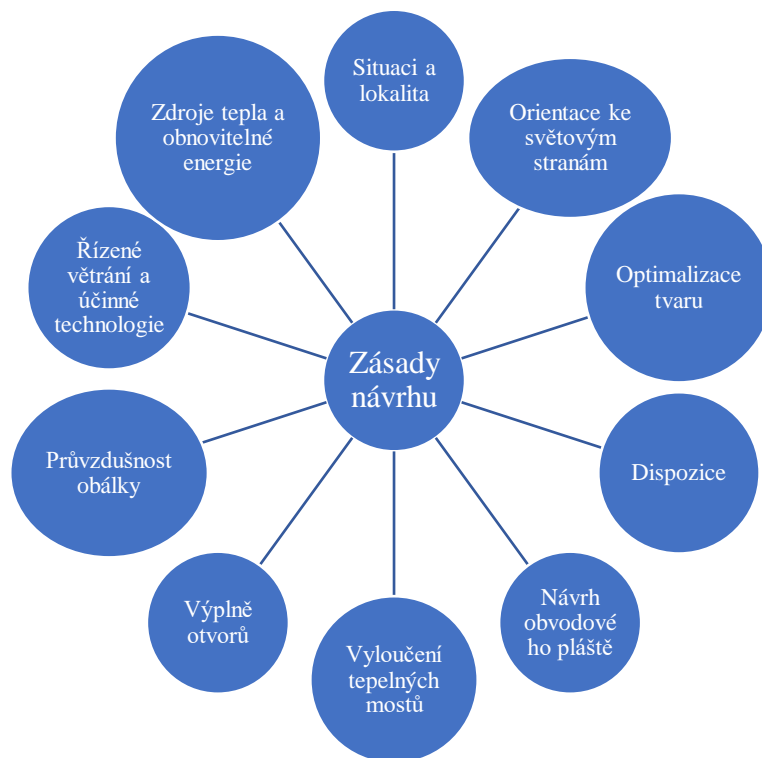
- Úroveň A – do energetické bilance se započítává potřeba tepla na vytápění, přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a elektrická energie pro osvětlení a provoz elektrických spotřebičů.
- Úroveň B – jako úroveň A, ale bez zahrnutí elektrické energie.

Tabulka 2.3: Základní požadavky na energeticky nulové budovy podle ČSN 73 0540-2 [9]

Závaznost kritéria	Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
	Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [$W/m^2 \cdot K$]	Měrná potřeba tepla na vytápění [$kWh/m^2 \cdot a$]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřené v hodnotách primární energie z neobnovitelné energie	
			Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy				
Nulový	Rodinné domy	Rodinné domy	0	0
Blízký nulovému	$\leq 0,25$	$\leq 0,20$	80	30
	Bytové domy	Bytové domy		
	$\leq 0,35$	$\leq 0,15$		
Neobytné budovy				
Nulový			0	0
Blízký nulovému	$\leq 0,35$	$\leq 0,30$	120	90

2.3 Stavebně-architektonické řešení

O vysoké či nízké spotřebě energie budov se rozhoduje již při samotném stanovení tvaru a půdorysu budovy. Budovy s velkou plochou obvodového pláště v poměru k celkovému objemu budovy mají vyšší spotřebu energie, než budovy s totožným celkový objemem, ale menší plochu obvodového pláště. To znamená, že každý navržený výklenek nebo výstupek zvětšuje obvodovou plochu pláště a tím pádem i ochlazovanou plochu. Z toho důvodu je nutné navrhovat budovy s kompaktním tvarem, který bude energeticky úsporný a zároveň nebude jednotvárný a nudný. [8]



Obrázek 2.2: Desatero zásad návrhu budov s nízkou spotřebou energie [10]

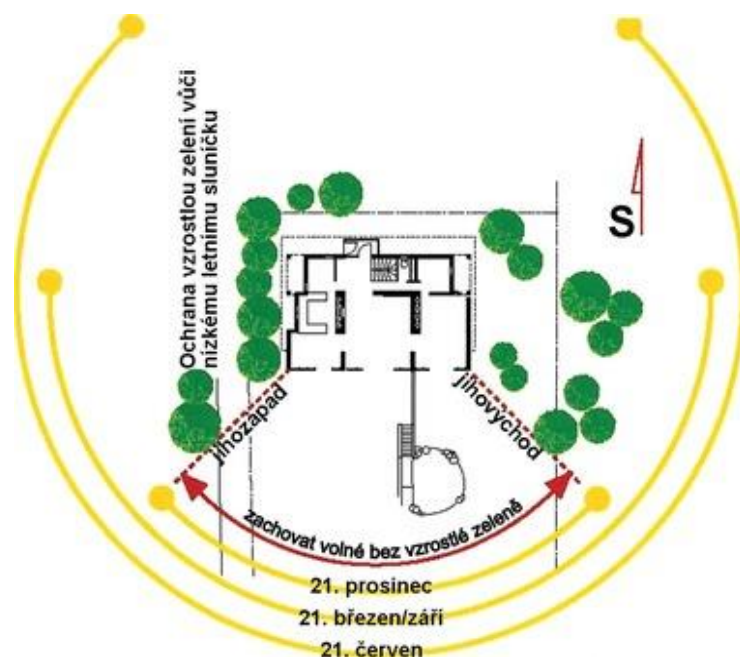
Umístění stavby

Lokalita a konkrétní vlastnosti pozemku ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí a provozní náklady budovy ve stejné míře jako samotné řešení budovy. Při návrhu konstrukce budovy a umístění stavby na pozemku je potřeba zohlednit určující faktory lokality: [11]

- Orientace stavby vzhledem ke světovým stranám s ohledem na roční úhrn slunečního záření.
- Zastínění pozemku vegetací, terémem a okolní zástavbou včetně dynamických faktorů, tj. možnost budoucího růstu okolní zástavby či vegetace.
- Povětrnostní podmínky v lokalitě.
- Topografie terénu se zřetelem na orientaci svahu na slunečnou stranu.
- Výskyt vodních ploch v okolí pozemku zabezpečující mírnější teplotní výkyvy lokálního klimatu v letních a zimních měsících.

Výběrem pozemku můžeme potlačit, nebo umocnit vliv vnějších klimatických vlivů (slunce, vítr, srážky, vlhkost a teplotu vzduchu). Zejména množství solárních zisků má zásadní vliv na energetickou bilanci a chování budov. Z toho důvodu se většina budov s nízkou spotřebou energie umísťuje na severní a východní část pozemku tak, aby vznikl

nestíněný prostor umožňující průchod solárního záření na prosklené plochy účelově orientované na jih, popřípadě západ. [12]



Obrázek 2.3: Ideální umístění budovy na pozemku [13]

2.3.1 Obvodové konstrukce

Požadavky z hlediska stavební fyziky

Z pohledu stavební fyziky je nutné u budov s nízkou potřebou energie zajistit požadovaný tepelný odpor R konstrukce obvodového pláště. Tepelný odpor je fyzikální veličina, vyjadřující tepelně-izolační vlastnosti materiálu nebo konstrukce, tedy udává míru odporu stavební části proti pronikání tepla. V praxi se častěji tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí vyjadřují součinitelem prostupu tepla U , což je převrácená hodnota tepelného odporu. Čím nižší je součinitel prostupu tepla (tím vyšší je tepelný odpor) stavební konstrukce, tím lepší má tepelně-izolační vlastnosti. Nízkých hodnot součinitele prostupu tepla se dosahuje především dostatečnou vrstvou tepelné izolace a odstraněním tepelných mostů a tepelných vazeb. Tepelné vazby a tepelné mosty jsou místa, kde je konstrukce z pohledu tepelně-izolačních vlastností oslabena. Druhý požadavek stanovuje zajištění dostatečné povrchové teploty v interiéru. V zimních měsících hrozí, že teplota povrchu v interiéru klesne pod teplotu rosného bodu a na povrchu začne kondenzovat vodní pára. Třetí požadavek omezuje, případně úplně

vyklučuje kondenzaci vodních par v konstrukci obvodového pláště. Toho lze docílit správným návrhem a provedením celistvých vrstev vnitřního líce konstrukce, které zamezují průchodu vodních par vzniklých provozem v domácnosti, do konstrukce rozdílem tlaků v exteriéru a interiéru budovy. Poslední požadavek klade důraz na vzduchotěsnost budov a s tím související návrh systému nuceného větrání s odpovídající účinností zpětného získávání tepla. [12]

Požadavky právních předpisů

Jednotlivé konstrukce budov s nízkou potřebou energie musejí splňovat normové hodnoty součinitele prostupu tepla U podle normy ČSN 73 0540-2. Plnění této normy je nejen platné, ale kvůli odkazování se na ni ve Stavebním zákoně a prováděcích vyhláškách rovněž závazné. [12]

Tabulka 2.4: Požadavky na součinitele prostupu tepla dané normou ČSN 73 0540-2 [9]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$W/m^2 \cdot K$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučeného hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a strmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9

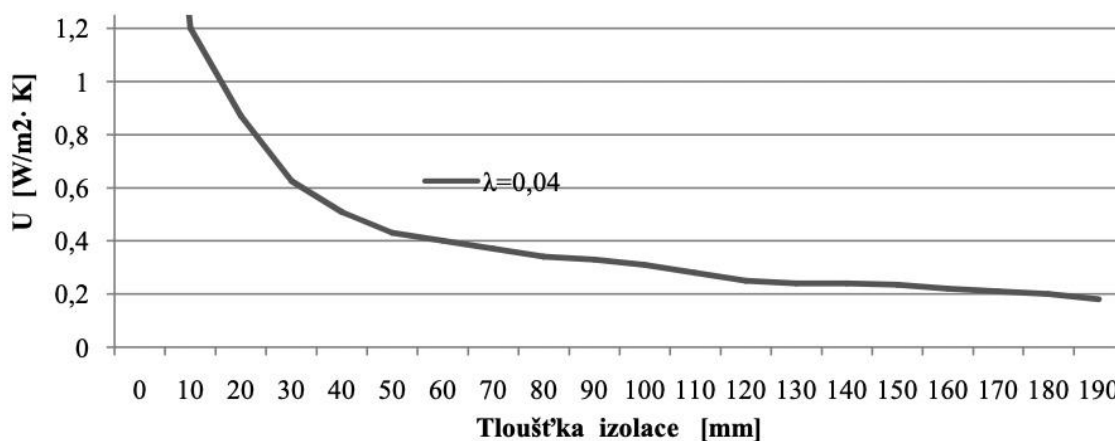
Při realizaci je potřeba dbát na tepelné mosty a tepelné vazby vznikající v místech napojení jednotlivých konstrukcí. Nesprávně izolované napojení konstrukcí můžou navýšit tepelnou ztrátu prostupem tepla konstrukcemi až o několik desítek procent.

Tabulka 2.5: Doporučené přírážky součinitele prostupu tepla v důsledku tepelných mostů dle ČSN 73 0540-2 [9]

Typ konstrukce	Zvýšení hodnoty součinitele prostupu tepla $\sum \Delta U_{tbk,j}$ [W/m ² · K]
Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,15

2.3.2 Tepelná izolace

Pro dosažení nepřerušného obalu obvodové konstrukce je z tepelně-technického hlediska nejvhodnější použití vnější tepelné izolace. Cílem zateplení je vytvoření bariéry, která zabraňuje prostupu tepla konstrukcemi. Pro dosažení žádaného efektu je potřeba dbát na výběr správného typu tepelné izolace a kvalitu jejího provedení. Kromě snížení tepelných ztrát v zimních měsících, zabraňuje v letních měsících přehřívání interiérů. Míra snížení tepelné ztráty prostupem tepla závisí na použité tloušťce tepelné izolace. S narůstající tloušťkou izolace se snižuje hodnota součinitele prostupu tepla. [14]

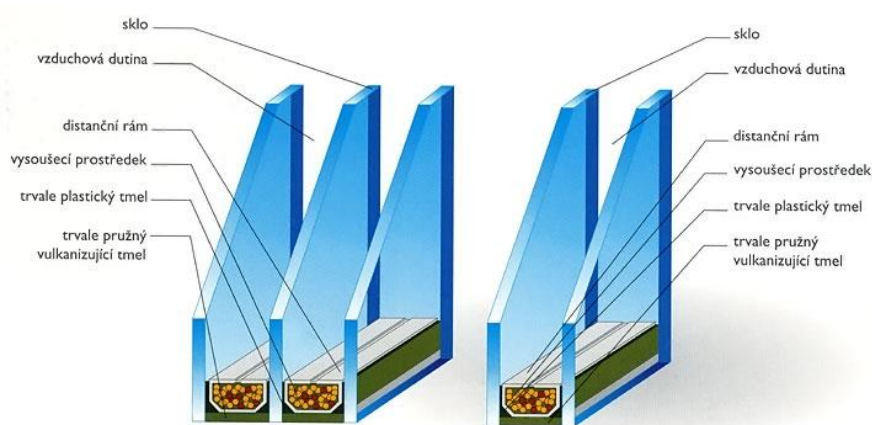


Obrázek 2.4: Závislost U na tloušťce izolace [15]

V rámci návrhu je potřeba zohlednit to, že s rostoucí tloušťkou tepelné izolace rostou také investiční náklady. Z pohledu nákladů je optimální tloušťka tepelné izolace 12–20 cm. Při překročení hranice 20 cm se musejí použít dvě vrstvy tepelné izolace, čímž značně rostou náklady na samotnou tepelnou izolaci, ale také na kotvící prvky. [16]

2.3.3 Výplně otvorů

Výplně otvorů, tedy okna a dveře, jsou z energetického hlediska nejslabším místem obvodového pláště budovy. V případě oken se zároveň jedná i o místo možných značných tepelných zisků. U domů popsaných v kapitole 2.2 jsou okna významným prvkem. Velikost oken, jejich počet, rozmístění, fyzikální vlastnosti i napojení na okolní neprůsvitné konstrukce mají významný dopad na estetiku, funkčnost i energetické vlastnosti budovy. Vlastnosti oken definují součinitel prostupu tepla U_w a celková propustnost sluneční energie g , charakterizující vstup solární energie zasklenou částí. Na tyto parametry mají vliv vlastnosti zasklení, rámu, poměr plochy zasklení a celého okna, vlastnosti dilatačního rámečku na okraji zasklívací jednotky, vazba mezi oknem a obvodovou konstrukcí a skutečné provedení. [14]



Obrázek 2.5: Řez okny s trojitým a dvojitým zasklením [17]

2.4 Technické systémy budov

Technické systémy budov zajišťují vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení vnitřních prostorů. To znamená, že obstarávají celkovou kvalitu vnitřního prostředí v budovách.

2.4.1 Vytápění

Vytápění je nejčastěji zajištěno otopnou soustavou, jejíž součástí je zdroj tepla, zabezpečovací zařízení, potrubní síť, otopná tělesa, armatury apod. Teplo vyrobené ve zdroji tepla je teplonosnou látkou distribuované potrubní sítí do jednotlivých vytápěných místností, ve kterých je sdíleno otopnými tělesy. [18]

Otopné soustavy můžeme dělit podle teplonosné látky, tlaku teplonosné látky, teploty teplonosné látky, mechanismu sdílení tepla, počtu trubek atd. Příklad dělení otopných soustav podle teplonosné látky: [19]

- Teplovodní – tepelná energie je do místností přenášena vodou.
 - horkovodní (od 110 °C)
 - teplovodní (do 110 °C)
 - nízkoteplotní (do 65 °C)
- Teplovzdušné – tepelná energie je do místností přenášena vzduchem, který je rozváděn po jednotlivých místnostech.
- Parní – tepelná energie je do místností přenášena vodou v plynném skupenství, používají se především pro rozvody CZT a velkých objektů.

Většina tepelné energie je do vytápěného prostoru sdílena otopnými plochami, nejčastěji otopnými tělesy. Používaných typů otopných těles je mnoho, nejrozšířenější jsou otopná tělesa s napojením na teplovodní soustavu (článeková, desková, trubková), u kterých je teplo sdílené konvekcí (prouděním) a sáláním (vyzařováním).

Vytápění využívající nízkoteplotní otopnou soustavu je především podlahové vytápění. Tento druh vytápění lze realizovat pouze v budovách s nízkou potřebou energie s dostatečnými tepelně-izolačními vlastnostmi. Teplo je sdíleno topným kabelem, nebo nízkoteplotním potrubím vedeným v horní vrstvě podlahové konstrukce. Tepelná energie je předávána podlahové konstrukci, ze které je poté do prostoru sdíleno sáláním. [19]

Konvektory jsou otopná tělesa, u kterých je teplo předávané výhradně konvekcí. Do výměníku tepla uvnitř konvektoru se dostává studený vzduch, který projde přes výměník a ohřátý stoupá zpět do místnosti, tedy díky přirozené konvekci. Pro rychlejší a efektivnější sdílení tepla lze do konstrukce konvektoru přidat ventilátor, který ohřátý vzduch efektivněji distribuuje do vytápěné místnosti. [20]

Pro vytápění energeticky úsporných budov se doporučuje navrhovat teplovodní otopné soustavy jako nízkoteplotní s teplotou otopné vody pod 40 °C. Díky takovému návrhu lze efektivně využívat obnovitelné zdroje tepla pro vytápění. Nízkoteplotní soustavy lze realizovat s otopnými tělesy nebo velkoplošnými otopnými soustavami.

2.4.2 Větrání

Větrání slouží k přívodu čerstvého, často upraveného, venkovního vzduchu do interiéru budovy a současnému odvodu vzduchu znehodnoceného škodlivinami. Z hygienického hlediska je nutné zajistit přívod čerstvého vzduchu do větraných zón i bez ohledu na snižování potřeby energie v budovách. Množství přívodního vzduchu je dané počtem osob a typem jejich fyzické aktivity. U obytných budov se počítá s nízkou tělesnou námahou, takže požadavky na větrání nejsou vysoké, jako u některých výrobních procesů, nebo u prostorů určených ke shromažďování osob. [21]

Přirozené větrání

Přirozené větrání vzniká rozdílem hustot vnitřního a venkovního vzduchu o rozdílných teplotách. Částečně dochází k výměně vzduchu infiltrací, tedy k průchodu vzduchu netěsnostmi ve výplních otvorů a částečně musí být výměna vzduchu řízena obyvateli domu otevíráním a zavíráním oken. V dnešní době je z důvodu narůstajících požadavků na tepelné vlastnosti výplní otvorů, a s tím spojeného utěsnění obálky budovy, přirozené větrání nedostačující. [21]

Nucené větrání

Nucené větrání zajišťuje pomocí mechanického zařízení (ventilátoru) přívod čerstvého vzduchu z venkovního prostředí a odvod znehodnoceného vzduchu z budovy. Systémy nuceného větrání mohou být centrální, nebo lokální. Centrální vzduchotechnické jednotky umožňují větrání pro celou budovu, popřípadě její část. Vzduch je do jednotlivých místností přiváděn potrubním systémem a distribučními prvky. Centrální úprava vzduchu umožňuje rovnoměrnou distribuci čerstvého vzduchu do bytových jednotek, čímž zajišťuje vysokou kvalitu vnitřního prostředí. Lokální vzduchotechnické jednotky zajišťují výměnu vzduchu v jedné místnosti, nebo její části. Nejčastěji se instalují do otvorů v obvodové konstrukci, popřípadě mohou být součástí výplní otvorů. Jejich výhodou je možnost nastavení průtoku vzduchu na potřebu dané místnosti. [22]

Při nuceném větrání je možné využít teplo z odváděného vzduchu, díky kterému se sníží energetická náročnost větrání. Zpětné získávání tepla (ZZT) lze realizovat rekuperační systémy a regenerační systémy. Rekuperační systém odebírá tepelnou energii z odváděného vzduchu a pomocí výměníku ji předává přiváděnému vzduchu. Regenerační systém předává tepelnou energii z odváděného vzduchu do akumulární hmoty, ze které se poté uvolňuje do přiváděného vzduchu. [4]



Obrázek 2.6: Rekuperační systém [23]

2.4.3 Příprava teplé vody

Zařízení pro přípravu teplé vody musejí obstarat požadované množství teplé vody v požadované teplotě a hygienické kvalitě při co nejnižších ztrátách tepla. Teplá voda se v obytných budovách používá především pro mytí osob, mytí nádobí a úklid. Příprava teplé vody může být realizována několika způsoby, základní rozdělení je podle způsoby předávání tepla, místa ohřevu a konstrukce zařízení. [4]

Z pohledu způsobu předávání tepla se příprava teplé vody rozděluje na přímou a nepřímou. K předání tepla u přímého způsobu dochází směřováním studené vody s teplou nebo horkou vodou, popřípadě i párou. Směřováním vody dochází ke snížení její kvality a z toho důvodu nesmí být tento způsob ohřevu vody použit v obytných budovách. U nepřímého ohřevu se teplo předává prostřednictvím výměníku tepla, přičemž nedochází ke zhoršení kvality ohřáté vody. Výměníky tepla se používají trubkové a deskové. [24]

Podle místa ohřevu může být příprava teplé vody realizována centrálně nebo místně. Centrální přípravu teplé vody zajišťuje jeden zdroj tepla, který ohřívá vodu pro celou budovu, popřípadě její část. Pro dosažení požadované teploty na všech výtokových místech musí být teplá voda od zdroje distribuována cirkulací. Vlivem délky rozvodů má tento způsob přípravy teplé vody zpravidla vyšší ztrátu tepla, než místní způsob. U místního způsobu přípravy teplé vody je voda ohřívána přímo v místě spotřeby, čímž se minimalizují ztráty tepla rozvodem. [24]

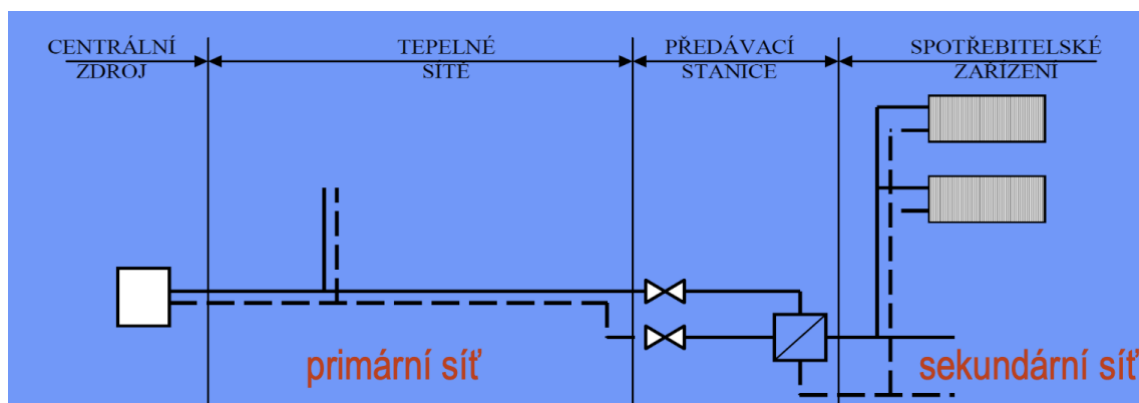
Dále se rozlišuje průtokový a zásobníkový ohřev. Při průtokovém ohřevu je teplá voda ohřívána okamžitě při odběru teplé vody přes výměník tepla uvnitř ohřívače. Výhodou průtokových ohřívačů jsou malé rozměry, a naopak nevýhodou je potřeba velkého nárazového příkonu zdroje tepla. Zásobníkový neboli akumuláční ohřev zajišťuje přípravu dostatečného množství teplé vody v daném časovém úseku (nejčastěji pro 24 hodin) při nízkém příkonu zdroje tepla. Voda se uvnitř akumuláčních zásobníků v průběhu dne nahřívá a udržuje na požadované teplotě. [24]

U budov s nízkou potřebou energie se doporučuje realizovat přípravu teplé vody zásobníkovými ohřívači, do kterých je možné akumulovat přebytečné teplo ze zdrojů tepla a obnovitelných zdrojů, například ze solárních kolektorů.

2.5 Zdroje tepla a energie

2.5.1 Centrální zásobování teplem

Centrální zásobování teplem (CZT) je způsob výroby, přepravy a distribuce tepla pro velké územní celky – průmyslové a obchodní zóny, města, městské části a sídliště. Teplo je nejčastěji vyráběné v teplárnách a výtopnách, kde výrobu zajišťuje jeden nebo více zdrojů tepla. Vyrobené teplo je pomocí teplotnosné látky distribuované tepelnou sítí ke koncovým odběratelům. Tepelná síť se rozděluje na primární a sekundární. Primární síť dopravuje teplo dálkovým potrubím do předávacích stanic, ve kterých je primární medium transformováno na teplou vodu s parametry pro vytápění a přípravu teplé vody. Otopná voda a teplá užitková voda jsou poté rozváděné sekundárním potrubním systémem do místa spotřeby. [25]



Obrázek 2.7: Schéma tepelné sítě pro CZT [26]

Mezi výhody CZT patří vyšší tepelná účinnost, nižší ekologické zatížení ovzduší, kontrola a regulace spalovacího procesu, nižší technické a personální nároky a vyšší tepelný komfort. [26]

2.5.2 Spalovací zařízení

Kotle na tuhá paliva

Kotle na tuhá paliva využívají řadu druhů paliv – černé a hnědé uhlí, koks, kusové dřevo, dřevěné brikety, dřevěné pelety či brikety a pelety ze stébel obilnin. V dnešní době se používají především kotle na biomasu (obnovitelný zdroj energie). Nutnost

nepřerušovaného přikládání paliva je řešena automatickými podavači. Mezi nevýhody těchto kotlů patří nízká účinnost, vysoká produkce emisí především u starších kotlů na uhlí a vyšší náročnost obsluhy. Jako výhody lze uvažovat možnost využití těchto kotlů v lokalitách s omezenou infrastrukturou a nízké ceny paliva. [27]

Kotle na plynná paliva

Mezi plynná paliva řadíme zemní plyn, propan-butan nebo bioplyn. Bezesporu nejvyužívanějšími zdroji tepla jsou kotle na zemní plyn, které mohou být:

- Klasické – teplota vratné otopné vody nad 60 °C
- Nízkoteplotní – teplota vratné otopné vody v rozmezí 50-60 °C
- Kondenzační – teplota vratné otopné vody v rozmezí 40-50 °C

U kondenzačních plynových kotlů dochází spalováním zemního plynu k tvorbě tepelné energie a spalin, jejichž součástí je i vodní pára obsahující značné množství tepelné energie. Spaliny jsou následovně vratnou otopnou vodou ochlazovány pod rosný bod, tím pádem začínají kondenzovat a předávat teplo vratné otopné vodě. Výhodou plynových kotlů je bezobslužný provoz, snadná regulace výkonu a vysoká účinnost kondenzačních kotlů. Díky kondenzaci spalin dosahují kondenzační plynové kotle normovaného stupně využití až 109 % a účinnosti až 98 %. Nevýhodami jsou vysoké pořizovací náklady a potřeba plynové přípojky. [27] [28]

Kotelny

Umístění spalovacích kotlů v budově závisí na systému vytápění, použitém palivu a požárně bezpečnostních nařízeních na jejich provoz. Zdroje tepla pro vytápění se z pravidla umísťují do kotelen (technických místností), kde se většinou realizuje i příprava teplé vody. Kotelny jsou rozděleny do tří kategorií podle velikosti instalovaného výkonu:

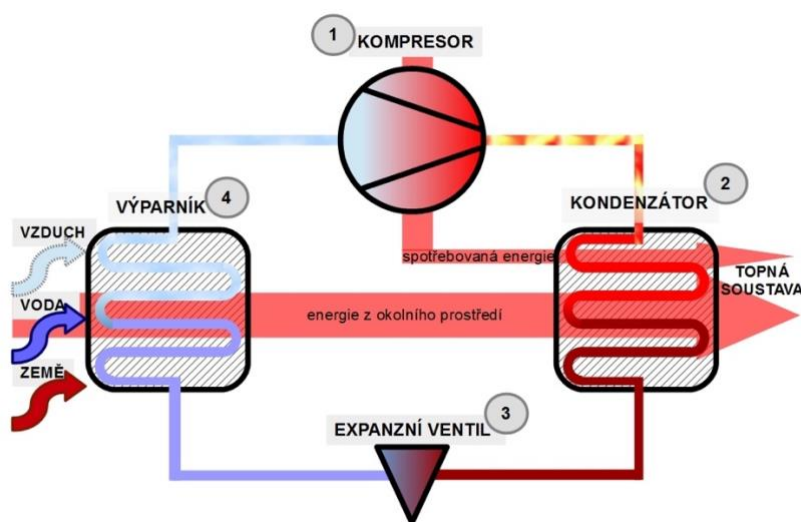
- I. kategorie – instalovaný výkon přesahuje 3 500 kW, kotelna musí být umístěna v samostatné budově nebo v samostatném požárním úseku
- II. kategorie – instalovaný výkon v rozmezí 500-3 500 kW, zdroje se umísťují do samostatné místnosti k tomu určené

- III. kategorie – instalovaný výkon v rozmezí 50-500 kW, zdroje jsou umístěné v samostatné místnosti, skříňovém objektu nebo skříni

Obecně musejí kotelny zajišťovat přívod paliva, odvod spalin, přívod a odvod vzduchu, pojistná a zabezpečovací zařízení, regulaci výkonu a měření. [27]

2.5.3 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla umožňují cíleně čerpat tepelnou energii z prostředí s nižší teplotou (vzduch, voda, zemský masiv) a následně ji převádějí na vyšší teplotní hladinu využitelnou pro vytápění a přípravu teplé vody. Aby k takové přeměně mohlo dojít, musí se dodat určité množství energie (nejčastěji elektrické energie). Tepelná čerpadla jsou cyklicky pracující stroje, ve kterých se proces přečerpání tepla periodicky opakuje. Celý proces začíná vstupem teplotnosného média do výparníku, ve kterém dojde k poklesu tlaku tak, aby teplota vypařování média klesla pod teplotu zdroje tepla a médium se začalo vypařovat. Při vypařování médium odebírá teplo z daného prostředí a akumuluje jej do sebe. Následně je médium pomocí kompresoru a dodané energie převedeno na vyšší kondenzační tlak, což zapříčiní, že teplota kondenzace média vzroste nad teplotou vody v zásobníku a médium začne kondenzovat. Při kondenzaci dochází k přenosu tepelné energie z média do vody v zásobníku. Zkapalněné médium vstupuje do expanzního ventilu, ve kterém se tlak vrací na počáteční hodnotu. [29]



Obrázek 2.8: Schéma tepelného čerpadla [30]

Tepelná čerpadla typu země-voda

Tepelná čerpadla typu země-vody využívají tepelnou energii zemského masivu, která ohřívá nemrznoucí teplotněstabilní kapalinu. Rozlišují se dvě varianty provedení: horizontální zemní kolektory a svislé zemní sondy. Horizontální zemní kolektory jsou umístěny do hloubek 0,4-1,5 m pod úroveň povrchu a pro jejich instalaci je nutná velká plocha pozemku. Svislé zemní sondy čerpají teplo z hlubinných vrtů, pro které je nutný vhodný geologický podklad. [31]

Tepelná čerpadla typu voda-voda

Tento typ tepelných čerpadel je nejméně používaný z důvodu potřeby velkého množství vody. Zdrojem tepla je ve většině případů podzemní voda, ve výjimečných případech voda povrchová. Pro využití podzemní vody se používají dvě studny. Z jedné studny se voda přečerpává do tepelného čerpadla a do druhé studny se přečerpaná voda odvádí. Z povrchové vody se teplo odebírá trubkovými kolektory umístěnými na dně řek, jezer či rybníků. [31]

Tepelná čerpadla typu vzduch-voda

Komerčně nejrozšířenějším typem jsou právě čerpadla vzduch-voda. Zdrojem tepelné energie je venkovní vzduch, jehož teplota je v rámci roku proměnlivá. Zde nastává problém, jelikož při největší potřebě tepla (v zimních měsících) je teplota vzduchu nejnižší a tím pádem má tepelné čerpadlo nejnižší výkon i účinnost. Další nevýhodou je produkce hluku a vibrací, které musejí splňovat předepsané hygienické limity, což může být problém u husté zástavby. Mezi výhody patří nižší pořizovací náklady a jednoduchá instalace. [29]

Účinnost tepelných čerpadel

Účinnost přečerpání tepelné energie vyjadřuje hodnota topného faktoru *COP*, což je podíl dostupné tepelné energie z tepelného čerpadla a potřeby elektrické energie na jeho pohon. Topný faktor závisí na teplotě zdroje tepla (teplota média na vstupu do výparníku) a teplotě vody v akumulacím zásobníku. Čím nižší je jejich teplotní rozdíl, tím je vyšší topný faktor tepelného čerpadla. Z pohledu bilance systému je důležitější

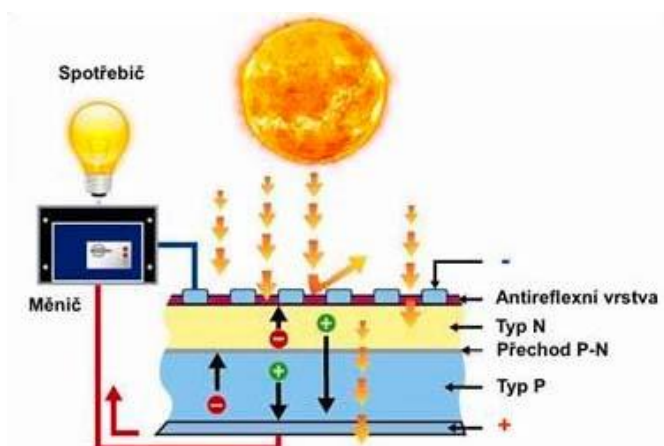
sezónní topný faktor SPF, který zohledňuje celou soustavu. Minimální a cílové hodnoty sezonního topného faktoru jsou dány normou ČSN EN 15450. [32] [33]

Tabulka 2.6: Normové hodnoty SPF pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v renovacích [33]

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty SPF	Cílové hodnoty SPF
vzduch/voda	2,7	3,0
zemský masiv/voda	3,5	4,0
voda/voda	3,8	4,5

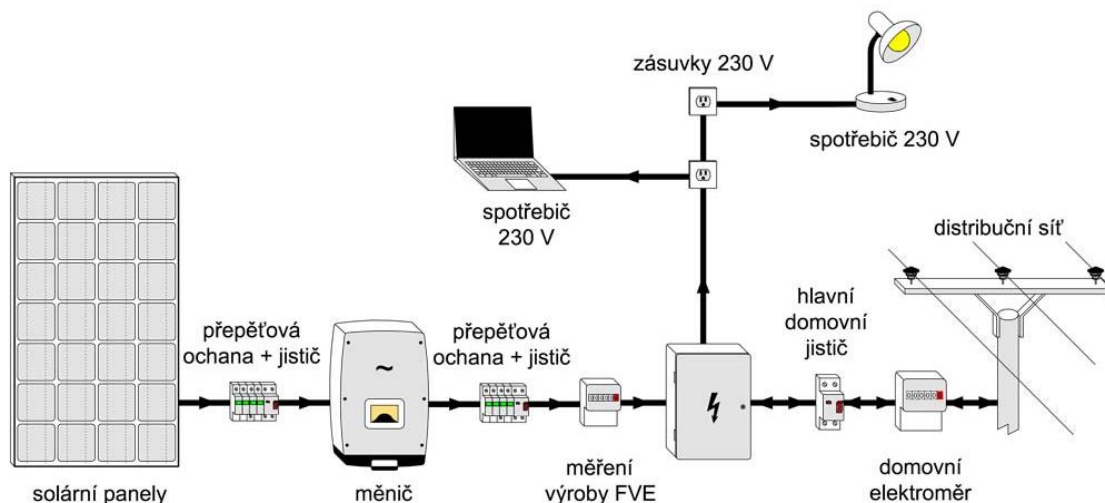
2.5.4 Fotovoltaika

Fotovoltaika je technologie umožňující přímou přeměnu slunečního záření na stejnosměrný proud s využitím fotovoltaického jevu na polovodičových diodách. Jednotlivé diody neboli fotovoltaické články jsou většinou uskupeny do větších celků – fotovoltaických panelů. Základem fotovoltaických článků je polovodičová dioda obsahující polovodič typu P (anoda) a polovodič typu N (katoda). K fotovoltaickému jevu dochází na přechodu těchto dvou polovodičů P-N. Polovodičová vrstva N má přebytek elektronů a vrstva P jich má naopak nedostatek. Volnému přechodu elektronů zabraňuje P-N přechod, který pouze umožňuje přechod elektronů z vrstvy P do vrstvy N. Při dopadu slunečního záření dochází k uvolňování elektronů z krystalových mřížek obou vrstev. Uvolněné elektrony se hromadí ve vrstvě N, čímž mezi oběma vrstvami vzniká elektrické napětí. Připojením spotřebiče se uvolněné elektrony rozpohybují a tím vznikne stejnosměrný proud. [34]



Obrázek 2.9: Zjednodušený princip funkce fotovoltaického článku [35]

Pro využití vyrobené elektrické energie je nutné stejnosměrný proud převést na střídavý proud s frekvencí odpovídající distribuční síti. Vyrobenou elektrickou energii lze využít pro vlastní potřebu, například pro provoz technických systémů nebo elektrických spotřebičů. Pokud je produkce fotovoltaického systému vyšší než spotřeba, je možné přebytečnou energii akumulovat do baterií, popřípadě do akumulčních zásobníků teplé vody. Další možností je prodej vyrobené elektrické energie do sítě.



Obrázek 2.10: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny [36]

Monokrystalické články

Monokrystalické články jsou vyráběny tažením monokrystalu z taveniny vysoce čistého polykrystalického křemíku. Na první pohled jsou od ostatních článků rozeznatelné podle černé barvy a specifického osmiúhelníkového tvaru. Účinnost monokrystalických článků se pohybuje okolo 17-20 %. [37]

Polykrystalické články

Polykrystalické články jsou typické modrou barvou a čtvercovým tvarem. Vyrábí se odřezáváním z taveniny tvořené velkým počtem homogenních krystalů křemíku. Tento způsob výroby je méně energeticky náročný oproti výrobě monokrystalických článků. Fotovoltaické moduly tvořené polykrystalickými články jsou nejběžněji používanými panely. Účinnost se pohybuje rozmezí 15-18 %. [37]

Amorfní články

Amorfní články jsou vyráběny nanášením tenké vrstvy amorfního křemíku na různé materiály, jako například sklo, plast nebo kov. Oproti krystalickým článkům mají výrazně nižší tloušťku a tím pádem i váhu, proto je lze použít u konstrukcí, které nemohou být zatíženy vahou krystalických panelů. Účinnost se uvažuje zhruba dvakrát nižší než u krystalických článků. [37]

3 Hodnocení energetické náročnosti budov

Způsob výpočtu je zjednodušený, nicméně v základním postupu je v souladu s ČSN EN ISO 52016-1 a okrajovými podmínkami stanovenými TNI 73 0330 (bytové domy). Jedná se o měsíční metodu, která stanovuje tepelné ztráty, tepelné zisky a jejich využití pro pokrytí potřeby tepla na vytápění pro každý měsíc. [38] [39]

Zároveň se jedná o jednozónovou metodu, ve které se celá budova uvažuje jako jedna zóna s konstantní teplotou vnitřního vzduchu $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Výpočtová teplota venkovního vzduchu se pro Prahu uvažuje $\theta_e = -12 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.1 Potřeba energie

3.1.1 Vytápění

Ztráta tepla

Ztráta tepla Q_L [kWh] se pro každý měsíc vypočítá jako

$$Q_L = \frac{H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t}{1000} \quad (3.1)$$

kde

H	měrná tepelná ztráta budovy	[W/K]
θ_i	požadovaná teplota vnitřního vzduchu	[$^\circ\text{C}$]
θ_e	průměrná teplota venkovního vzduchu během časového úseku (měsíce)	[$^\circ\text{C}$]
t	délka časového úseku (měsíce)	[h]

Měrná tepelná ztráta budovy H [W/K] se vypočítá podle vztahu

$$H = H_T + H_V \quad (3.2)$$

kde

$$H_T \quad \text{měrná tepelná ztráta prostupem} \quad [\text{W/K}]$$

$$H_V \quad \text{měrná tepelná ztráta větráním} \quad [\text{W/K}]$$

Měrná tepelná ztráta prostupem se určí vztahem

$$H_T = H_{T,e} + H_{T,g} \quad (3.3)$$

kde

$$H_{T,e} \quad \text{měrná tepelná ztráta prostupem obálkou budovy} \quad [\text{W/K}]$$

$$H_{T,g} \quad \text{měrná tepelná ztráta prostupem zeminou} \quad [\text{W/K}]$$

Měrná ztráta prostupem obálkou se podle ČSN 12831 stanoví ze vztahu [40]

$$H_{T,e} = \sum_i A_i \cdot U_i \quad (3.4)$$

kde

$$A_i \quad \text{plocha i-té konstrukce} \quad [\text{m}^2]$$

$$U_i \quad \text{součinitel prostupu tepla i-té konstrukce} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

Součinitel prostupu tepla konstrukcí lze určit jako

$$U_i = U_{k,i} + \Delta U_{tb,i} \quad (3.5)$$

kde

$$U_{k,i} \quad \text{deklarovaný součinitel prostupu tepla i-té konstrukce} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

$$\Delta U_{tb,i} \quad \text{přirážka zohledňující tepelné vazby a mosty} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

Při výpočtu měrné ztráty prostupem zeminou se zanedbává vliv spodní vody a zároveň se uvažuje, že podlaha objektu je položena na terénu (bez zapuštění, bez podsklepení).

$$H_{T,g} = 0,5 \cdot A_p \cdot U_{ekv} \quad (3.6)$$

kde

$$A_p \quad \text{plocha podlahy na terénu} \quad [\text{m}^2]$$

$$U_{ekv} \quad \text{ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou a polomasivem} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavebních konstrukce v kontaktu se zemínou lze stanovit zjednodušenou metodou podle normy ČSN EN 12831. [40]

$$U_{ekv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{tb})^{n_3}} + d \quad (3.7)$$

kde

a, b, c, d, n	numerické parametry	[-]
B'	charakteristický rozměr podlahy	[m]
z	hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy	[m]
U_k	součinitel prostupu tepla i-té stavební části v kontaktu se zemínou	[W/m ² · K]

Charakteristický rozměr podlahy je

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} \quad (3.8)$$

kde

P	obvod podlahy na terénu	[m]
-----	-------------------------	-----

Měrnou tepelnou ztrátu větráním v běžném provozu nelze vypočítat podle normy ČSN EN 12831, která stanovuje návrhové hodnoty pro dimenzování zdroje tepla. Proto je zapotřebí stanovit takový výpočet, který počítá s reálnými provozními podmínkami. Měrná tepelná ztráta větráním se stanoví jako [40]

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \quad (3.9)$$

kde

\dot{V}	průtok vzduchu v budově	[m ³ /h]
$\rho \cdot c$	tepelná kapacita vzduchu	[Wh/m ³ · K]

Průtok vzduchu budovou je zajištěn možností otevírat výplně otvorů a infiltrací objektu (netěsnostmi ve výplních otvorů).

$$\dot{V} = \dot{V}_f \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + \dot{V}_X \quad (3.10)$$

kde

\dot{V}_f	průtok vzduchu nuceným větráním	[m ³ /h]
\dot{V}_X	průtok vzduchu infiltrací	[m ³ /h]
η_{ZZT}	účinnost zpětného získávání tepla výměníku vzduchotechnické jednotky (uvažuje se 0,75)	[-]

Průtok vzduchu nuceným větráním vychází z normy ČSN EN 16798-1, která uvádí jednotný požadavek $25 \text{ m}^3/\text{h}$ čerstvého vzduchu na osobu v otopném období.

Koeficient přítomnosti osob se uvažuje 0,7. [41]

$$\dot{V}_f = 0,7 \cdot k \cdot 25 \quad (3.11)$$

kde

$$k \quad \text{počet osob} \quad [-]$$

Průtok vzduchu infiltrací se určí ze vztahu

$$\dot{V}_X = V_i \cdot n_{50} \cdot e \quad (3.12)$$

kde

$$V_i \quad \text{vnitřní objem budovy} \quad [\text{m}^3]$$

$$n_{50} \quad \text{intenzita větrání budovy při rozdílu tlaků mezi vnitřním a venkovním prostorem 50 Pa} \quad [1/\text{h}]$$

$$e \quad \text{součinitel větrné expozice} \quad [-]$$

Projektový předpoklad hodnoty intenzity výměny vzduchu pro starší budovy se uvažuje $n_{50} = 4,5$. Součinitel větrné expozice pro bytové domy je $e = 0,07$.

Vnitřní objem budovy se vypočítá z celkového objemu budovy jako

$$V_i = 0,8 \cdot V_e \quad (3.13)$$

kde

$$V_e \quad \text{vnější objem budovy} \quad [\text{m}^3]$$

Pokud není v budově navržen systém nucené větrání, tak se účinnost zpětného získávání tepla neuvažuje a průtok vzduchu budovu se stanoví jako

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_f; \dot{V}_X) \quad (3.14)$$

Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky Q_G [kWh] se vypočítají jako

$$Q_G = Q_i + Q_s \quad (3.15)$$

kde

$$Q_i \quad \text{vnitřní tepelné zisky} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_s \quad \text{solární zisky} \quad [\text{kWh}]$$

Vnitřní zisky zohledňují teplo vyprodukované lidmi, umělým osvětlením a elektrickými spotřebiči. Teplo uvolněné do prostoru těmito prvky se uvažuje 100 W/os, k čemuž se ještě připočítává 100 W na bytovou jednotku. Koeficient přítomnosti osob se uvažuje 0,7.

$$Q_i = \frac{(0,7 \cdot k \cdot 100 + x \cdot 100) \cdot t}{1000} \quad (3.16)$$

kde

$$k \quad \text{počet osob} \quad [\text{os}]$$

$$x \quad \text{počet bytových jednotek} \quad [-]$$

$$t \quad \text{časový úsek} \quad [\text{h}]$$

Solární zisky se stanoví podle vztahu

$$Q_s = \sum_j I_{s,j} \cdot \sum_n A_{s,nj} \quad (3.17)$$

kde

$$I_{s,j} \quad \text{úhrn slunečního záření na jednotku plochy o orientaci } j \quad [\text{kWh/m}^2]$$

$$A_{s,nj} \quad \text{účinná plocha zaskleného prvku } n \text{ o orientaci } j \quad [\text{m}^2]$$

Účinná sběrná plocha A_S [m²] prosklených prvků se vypočítá jako

$$A_S = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot (1 - F_F) \cdot g \quad (3.18)$$

kde

$$A \quad \text{celková pohledová plocha otvoru zaskleného prvku} \quad [\text{m}^2]$$

$$F_S \quad \text{korekční činitel stínění (pouze trvalé stínění)} \quad [-]$$

$$F_C \quad \text{korekční činitel clonění} \quad [-]$$

$$F_F \quad \text{korekční činitel rámu (podíl rámu a celkové plochy zaskleného prvku)} \quad [-]$$

$$g \quad \text{celková propustnost slunečního záření} \quad [-]$$

V prvním nadzemním podlaží se pro okna a ostatní prosklené prvky uvažuje korekční činitel stínění 0,6. Pro ostatní nadzemní podlaží se uvažuje 0,9. Pokud se nejedná o trvale zastíněné prvky, tak se korekční činitel clonění jednotně uvažuje 1.

Celková hodnota propustnost slunečního záření je dána vztahem

$$g = 0,9 \cdot g_{\perp} \quad (3.19)$$

kde

$$g_{\perp} \quad \text{hodnota propustnosti slunečního záření pro kolmý úhel} \quad [-]$$

Potřeba tepla na vytápění

Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění Q_H [kWh] je v souladu s normou ČSN EN ISO 52016-1. Potřeba tepla na vytápění je dána ztrátou tepla, tepelnými zisky a jejich možností využití pro jednotlivé měsíce. Potřeba tepla $Q_{H,m}$ [kWh] se pro každý měsíc stanoví ze vztahu [38]

$$Q_{H,m} = Q_L - \eta \cdot Q_G \quad (3.20)$$

kde

$$\eta \quad \text{stupeň využití tepelných zisků (zohledňuje dynamické chování budovy)} \quad [-]$$

Stupeň využití solárních zisků lze určit podle vztahů

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{pro } \gamma \neq 1 \quad (3.21)$$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad \text{pro } \gamma = 1 \quad (3.22)$$

kde

$$\gamma \quad \text{poměr tepelných zisků a ztrát} \quad [-]$$

$$a \quad \text{numerický parametr} \quad [-]$$

Numerický parametr se vypočítá jako

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad (3.23)$$

kde

$$\tau \quad \text{časová konstanta} \quad [\text{h}]$$

$$a_0 \quad \text{referenční numerický parametr} \quad [-]$$

Pro měsíční metodu se referenční numerický parametr uvažuje $a_0 = 1$ a referenční časová konstanta $\tau_0 = 16$ h.

Vnitřní tepelná kapacita budovy C [J/K] se zjednodušeně stanoví na základě vnitřní podlahové plochy A_f [m²] a třídy konstrukce budovy. Časová konstanta se vypočítá jako

$$\tau = \frac{C}{H} \cdot \frac{1}{3600} \quad (3.24)$$

Celková potřeba tepla na vytápění je dána součtem měsíčních potřeb tepla na vytápění

$$Q_H = \sum_m Q_{H,m} \quad (3.25)$$

3.1.2 Příprava teplé vody

Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody je přizpůsoben bytovému domu popsanému v kapitole 4. Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody je dána součtem měsíčních potřeb tepla na ohřev vody a měsíčních ztrát tepla elektrických ohříváčů teplé vody.

$$Q_{c,TV} = \sum_j (Q_{p,TV,j} + Q_{z,TV,j}) \quad (3.26)$$

kde

$Q_{p,TV,j}$ potřeba tepla na ohřev vody v j-tém měsíci [kWh]

$Q_{z,TV,j}$ ztráta tepla zásobníků v j-tém měsíci [kWh]

Měsíční potřeba tepla na ohřev vody $Q_{p,TV,j}$ [kWh] se vypočítá podle vztahu

$$Q_{p,TV,j} = \frac{V_{TV,j} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \quad (3.27)$$

kde

$V_{TV,j}$ měsíční potřeba teplé vody [m³/měs]

ρ hustota vody [kg/m³]

c měrná tepelná kapacita vody [J/kg · K]

t_{SV} teplota studené vody [°C]

t_{TV} teplota teplé vody [°C]

Měrná denní potřeba teplé vody pro bytové domy je stanovena normou ČSN 73 03331-1, která pro jednu osobu uvádí hodnotu $V_{TV,den} = 40$ l/den. Z denní potřeby teplé vody se stanoví měsíční potřeba teple vody jako [42]

$$V_{TV,j} = V_{TV,den} \cdot k \cdot n \quad (3.28)$$

kde

k	počet osob	[-]
n	počet dní v měsíci	[-]

Měsíční ztráta tepla elektrických ohřivačů se vypočítá podle vztahu

$$Q_{z,TV,j} = \frac{Q_{z,zás} \cdot V_{zás} \cdot x \cdot n}{1000} \quad (3.29)$$

kde

$Q_{z,zás}$	denní ztráta tepla přímo ohřívaného zásobníku teplé vody	[kWh/l]
$V_{zás}$	objem zásobníku teplé vody	[l]
x	počet bytových jednotek	[-]
n	počet dní v měsíci	[-]

3.1.3 Elektrická energie

Umělé osvětlení

Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení je závislá na podlahové ploše bytových jednotek a společných prostorů. Orientační hodnoty měrné roční elektrické energie na osvětlení jsou uvedené v normě ČSN 73 0331-1 a vycházejí z normy TNI 73 0327. [42] [43]

Tabulka 3.1: Orientační hodnoty měrné roční spotřeby elektrické energie na osvětlení

Typ zóny	$W_{L,A}$ [kWh/m ² · rok]
Bytové domy – prostor bytu (pro obytnou plochu 71,5 – 150 m ²)	4,4
Bytové domy – společné prostory (pro jedno podlaží)	1,0

Při výpočtu je nutné zohlednit měnící se dobu slunečního svitu během roku. Z toho důvodu se průměrná spotřeba elektrické energie pro každý měsíc roznásobí činitelem podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení. Hodnoty činitele podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení jsou dané normou ČSN 73 0331-1. [42]

Tabulka 3.2: Činitel podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení $f_{L,j}$ v j-tém měsíci

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$f_{L,j}$ [-]	1,52	1,25	1,04	0,85	0,70	0,65	0,65	0,70	0,87	1,03	1,24	1,50

Elektrické spotřebiče

Potřeba elektrické energie na provoz elektrických spotřebičů se stanoví z průměrného příkonu jednotlivých spotřebičů a průměrné doby provozu spotřebičů jako

$$E = P \cdot t \quad (3.30)$$

kde

P příkon spotřebiče [W]

t doba provozu spotřebiče [h]

Pomocná elektrická energie

Pomocná elektrická energie zajišťuje provoz technických zařízení budovy (především čerpadel, ventilátorů a regulačních prvků), která zajišťují vytápění, větrání a přípravu teplé vody. Celková roční spotřeba pomocné elektrické energie E_{aux} [kWh/rok] je dána součtem všech příspěvků technických zařízení. Vypočítá se podle vztahu

$$E_{aux} = \sum E_b + 0,1 \cdot (V_e - 400) \cdot \frac{\sum E_b}{100} \quad (3.31)$$

kde

E_{aux}	celková roční spotřeba elektrické energie	[kWh/rok]
E_b	základní hodnota spotřeby jednotlivých technologií	[kWh/rok]
V_e	vnější objem budovy	[m ³]

Základní hodnoty roční spotřeby pomocné elektrické energie na provoz jednotlivých technologií pro bytové domy jsou dány normou TNI 73 0330. Tyto hodnoty jsou pouze orientační. [39]

Tabulka 3.3: Základní hodnoty roční spotřeby pomocné elektrické energie

Domovní technologie	Základní hodnota roční spotřeby pomocné elektrické energie E_b [kWh/rok]
Teplovodní vytápění	
Decentrální, zdroj tepla v bytě	100
Centrální zdroj v budově	50
Nucené větrání, teplovzdušné vytápění	
Decentrální nucené větrání s rekuperací	300
Centrální nucené větrání s rekuperací	150
Příprava teplé vody	
Decentrální příprava teplé vody v bytech	0
Centrální příprava teplé vody v budově, bez cirkulace	5
Centrální příprava teplé vody v budově, s cirkulací	30

3.2 Zdroje energií

3.2.1 Plynový kotel

Návrh zdroje tepla je dán normou ČSN EN 12831-1. Výpočet je zjednodušený, jelikož se jedná o návrh zdroje tepla pro celou budovu, který nezohledňuje dodatečný tepelný výkon pro zátap, ani trvalé tepelné zisky. [40]

Návrhový tepelný výkon ϕ_{HL} [kW] je dán vztahem

$$\phi_{HL} = \phi_T + \phi_V \quad (3.32)$$

kde

$$\phi_T \quad \text{návrhový tepelný výkon prostupem} \quad [\text{kW}]$$

$$\phi_V \quad \text{návrhový tepelný výkon větráním} \quad [\text{kW}]$$

Návrhový tepelný výkon prostupem se vypočítá jako

$$\phi_T = H_T \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.33)$$

kde

$$H_T \quad \text{měrná tepelná ztráta prostupem} \quad [\text{W/K}]$$

$$\theta_i \quad \text{požadovaná teplota vnitřního vzduchu} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\theta_e \quad \text{výpočtová teplota venkovního vzduchu} \quad [^\circ\text{C}]$$

Návrhový tepelný výkon větráním je dán vztahem

$$\phi_V = H_V \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.34)$$

kde

$$H_V \quad \text{měrná tepelná ztráta větráním} \quad [\text{W/K}]$$

Potřeba zemního plynu

Roční potřeba zemního plynu B_R [m³] se stanoví ze vztahu

$$B_R = \frac{Q_H \cdot 3600}{\eta \cdot H} \quad (3.35)$$

kde

Q_H	roční potřeba tepla na vytápění	[MWh]
η	účinnost zdroje	[%]
H	výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]

3.2.2 Tepelné čerpadlo

Bilance tepelného čerpadla je navržena dle normy TNI 73 0351, která vychází z intervalové metody přejaté normou ČSN EN 15316-4-2. Intervalová metoda využívá výpočtové teplotní intervaly dané teplotou venkovního vzduchu pro určitou lokalitu. Teplotní intervaly jsou charakterizovány střední teplotou vzduchu v rozlišení (1 K) a dobou trvání. [44]

Výkonová charakteristika tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je definováno topným výkonem $\Phi_k = f(t_{v1}, t_{k2})$ a topným faktorem $COP = f(t_{v1}, t_{k2})$. Tyto parametry jsou uváděné výrobcem v technickém listě tepelného čerpadla. Aby bylo možné stanovit spolehlivou funkční závislost výkonové charakteristiky tepelného čerpadla vzduch-voda, je nutné použít funkci vícenásobné lineární regrese, ze které se získají koeficienty A-F, a-f.

$$\Phi_k = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (3.36)$$

$$COP = a + b \cdot t_{v1} + c \cdot t_{k2} + d \cdot t_{v1}^2 + e \cdot t_{k2}^2 + f \cdot t_{v1} \cdot t_{k2} \quad (3.37)$$

kde

t_{v1}	teplota na vstupu do výparníku	[°C]
t_{k2}	teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]

Režim přípravy teplé vody

Pro režim přípravy teplé vody je nutné stanovit teplotu připravované teplé vody t_{TV} [°C]. Teplota na výstupu z tepelného čerpadla t_{k2} [°C] je pro každý teplotní interval j dána vztahem

$$t_{k2,j} = t_{TV} + \Delta t_{TV} \quad (3.38)$$

kde

$$\Delta t_{TV} \quad \text{zvýšení teploty} \quad [\text{K}]$$

Zvýšení teploty o Δt_{TV} bere v úvahu teplotní rozdíl na výměníku tepla mezi přiváděnou otopnou vodou a připravovanou teplou vodou. Pro přípravu teplé vody s cirkulací se zvýšení teploty uvažuje 5 K. Teplota připravované teplé vody se uvažuje 55 °C.

Teplo dostupné z tepelného čerpadla $Q_{k,TV,j}$ [kWh] pro přednostní přípravu teplé vody v daném teplotním intervalu je podle vztahu

$$Q_{k,TV,j} = \Phi_{k,TV,j} \cdot \tau_j \quad (3.39)$$

kde

$$\Phi_{k,TV,j} \quad \text{výkon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody [kW]} \\ \text{v podmínkách teplotního intervalu } j$$

$$\tau_j \quad \text{doba trvání výpočtového intervalu } j \quad [\text{h}]$$

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{TC,TV,j}$ [kWh] pro krytí potřeby tepla na přípravu teplé vody je minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,TV,j}$ [kWh] a potřeby tepla $Q_{p,TV,j}$ [kWh] v teplotním intervalu j .

$$Q_{TC,TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}; Q_{p,TV,j}) \quad (3.40)$$

Doba provozu tepelného čerpadla $\tau_{TC,TV,j}$ [h] v teplotním intervalu j se určí ze vztahu

$$\tau_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{\Phi_{k,TV,j}} \quad (3.41)$$

Potřeba elektrické energie $E_{TC,TV,j}$ [kWh] pro pohon tepelného čerpadla v teplotním intervalu j se určí podle vztahu

$$E_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{COP_{TV,j}} \quad (3.42)$$

kde

$$COP_{TV,j} \quad \text{topný faktor tepelného čerpadla v teplotním intervalu } j \quad [-]$$

Potřeba pomocné elektrické energie $E_{pom,TV,j}$ [kWh] soustavy s tepleným čerpadlem se vypočítá podle vztahu

$$E_{pom,TV,j} = P_{pom,TV} \cdot \tau_{TC,TV,j} \quad (3.43)$$

kde

$$P_{pom,TV} \quad \text{elektrický příkon pomocných zařízení pracujících v režimu přípravy teplé vody} \quad [\text{kW}]$$

Pokud je v teplotním intervalu j dostupné teplo z tepelného čerpadla nižší, než potřeba tepla na přípravu teplé vody, je nutné zbývající potřebu tepla $Q_{d,TV,j}$ [kWh] krýt doplňkovým ohříváčem podle vztahu

$$Q_{d,TV,j} = Q_{p,TV,j} - Q_{TC,TV,j} \quad (3.44)$$

Režim vytápění

Otopná soustava je charakterizována návrhovými teplotami přívodní a vratné vody $t_{w1,N}, t_{w2,N}$ [°C] a teplotním exponentem m převažujících otopných ploch. Na základě střední teploty venkovního vzduchu $t_{em,j}$ [°C] se v daném výpočtovém intervalu j stanoví ekvitermní teplota přívodní otopné vody $t_{w1,j}$ [°C] podle vztahu

$$t_{w1,j} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{1/m} \quad (3.45)$$

kde

$$t_i \quad \text{teplota vnitřního vzduchu} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$t_{e,N} \quad \text{výpočtová teplota venkovního vzduchu} \quad [^\circ\text{C}]$$

Orientační hodnoty teplotního exponentu otopných ploch jsou dány TNI 73 0351. Pro otopná tělesa je $m = 1,3$. Také je potřeba stanovit požadovanou teplotu otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla $t_{k2,j}$ [°C], která se pro daný výpočtový teplotní interval j stanoví na základě teploty přívodní otopné vody $t_{w1,j}$ [°C] jako [44]

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} - \Delta t_w \quad (3.46)$$

kde

$$\Delta t_w \quad \text{zvýšení teploty} \quad [\text{K}]$$

Zvýšení teploty o Δt_w bere v úvahu nabíjení uvažovaného nárazového zásobníku otopné vody nad požadovanou ekvitermní teplotu do otopné soustavy pro omezení cyklování tepelného čerpadla. Pro běžné podmínky se uvažuje $\Delta t_w = 2 \text{ K}$.

V případě kombinované přípravy teplé vody a vytápění, je přednostně část doby provozu a dostupného tepla z tepelného čerpadla vyhrazena přípravě teplé vody. Z toho důvodu je potřeba v teplotním intervalu j stanovit zbývající dobu provozu tepelného čerpadla $\tau_{k,VYT,j}$ [h] dostupnou pro režim vytápění.

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{k,TV,j} \quad (3.47)$$

Teplu dostupné z tepelného čerpadla pro vytápění $Q_{k,VYT,j}$ [kWh] se za dobu trvání teplotního intervalu j určí jako

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} \quad (3.48)$$

kde

$$\Phi_{k,VYT,j} \quad \text{výkon tepelného čerpadla pro vytápění v podmínkách} \quad [\text{kW}] \\ \text{teplotního intervalu } j$$

Teplu dodané tepelným čerpadlem $Q_{TC,VYT,j}$ [kWh] pro krytí potřeby tepla na vytápění je minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,VYT,j}$ [kWh] a potřeby tepla na vytápění $Q_{p,VYT,j}$ [kWh] v teplotním intervalu j .

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \quad (3.49)$$

Doba provozu tepelného čerpadla $\tau_{TC,VYT,j}$ [h] v teplotním intervalu j se stanoví ze vztahu

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\Phi_{k,VYT,j}} \quad (3.50)$$

Potřeba elektrické energie $E_{TC,VYT,j}$ [kWh] pro pohon tepelného čerpadla v teplotním intervalu j se určí podle vztahu

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad (3.51)$$

kde

$$COP_{VYT,j} \quad \text{topný faktor tepelného čerpadla v teplotním intervalu } j \quad [-]$$

Potřeba pomocné elektrické energie $E_{pom,VYT,j}$ [kWh] soustavy s tepelným čerpadlem se vypočítá podle vztahu

$$E_{pom,VYT,j} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{TC,VYT,j} \quad (3.52)$$

kde

$$P_{pom,VYT} \quad \text{elektrický příkon pomocných zařízení pracujících v režimu vytápění} \quad [\text{kW}]$$

Pokud je v teplotním intervalu j dostupné teplo z tepelného čerpadla nižší než potřeba tepla vytápění, je nutné zbývající potřebu tepla $Q_{d,VYT,j}$ [kWh] krýt doplňkovým ohřívačem podle vztahu

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} \quad (3.53)$$

Výsledky pro hodnocení

Výpočtovým postupem se stanoví hlavní provozní parametry, které popisují celkovou energetickou bilanci soustavy s tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody a vytápění. Sečtením hodnot jednotlivých veličin ze všech intervalů se stanoví roční, resp. měsíční výsledky.

Celková měsíční dodávka tepla Q_{TC} [kWh] tepelným čerpadlem pro přípravu teplé vody a vytápění je

$$Q_{TC} = \sum_j Q_{TC,TV,j} + \sum_j Q_{TC,VYT,j} \quad (3.54)$$

Celková měsíční potřeba elektrické energie E_{TC} [kWh] pro pohon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění je dána vztahem

$$E_{TC} = \sum_j E_{TC,TV,j} + \sum_j E_{TC,VYT,j} \quad (3.55)$$

Celková měsíční potřeba pomocné elektrické energie E_{pom} [kWh] pro provoz tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění se určí jako

$$E_{pom} = \sum_j E_{pom,TV,j} + \sum_j E_{pom,VYT,j} \quad (3.56)$$

Celková měsíční dodávka tepla Q_d [kWh] doplňkovým tepelným zdrojem je

$$Q_d = \sum_j Q_{d,TV,j} + \sum_j Q_{d,VYT,j} \quad (3.57)$$

Měsíční doba provozu τ_{TC} tepelného čerpadla se vypočítá jako

$$\tau_{TC} = \sum_j \tau_{TC,TV,j} + \sum_j \tau_{TC,VYT,j} \quad (3.58)$$

Na základě výsledných parametrů lze dopočítat navazující energetické ukazatele. Měsíční podíl pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění teplem dostupným z tepelného čerpadla je

$$f = \frac{Q_{TC,TV} + Q_{TC,VYT}}{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}} = \frac{Q_{TC}}{Q_p} \quad (3.59)$$

Sezonní topný faktor tepelného čerpadla se stanoví ze vztahu

$$SPF_{TC} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}} \quad (3.60)$$

Sezonní topný faktor soustavy s tepelnými čerpadly s elektrický poháněnými kompresory se určí jako

$$SPF_{sys} = \frac{Q_{TC} + Q_d}{E_{TC} + E_{pom} + E_d} \quad (3.61)$$

kde

E_d potřeba doplňkové energie Q_d ze záložního zdroje, pokud se [kWh]
jedná o elektrický ohříváč

3.2.3 Fotovoltaický systém

Bilance fotovoltaického systému je provedena zjednodušenou měsíční bilanční metodou, která je metodicky podobná zavedenému výpočtovému postupu pro bilancování energetických zisků solární tepelné soustavy uvedené v normě TNI 73 0331. Metoda zohledňuje vliv teploty fotovoltaického článku a vliv měsíčního slunečního ozáření na vliv účinnosti modulů na základě údajů uvedených v technické dokumentaci od výrobce. [42] [45]

Měsíční produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem $E_{FV,sys}$ [kWh/měs] se stanoví na základě měsíčních klimatických podmínek a předpokládaných elektrických ztrát (celková elektrická ztráta se uvažuje 8 %) podle vztahu

$$E_{FV,sys} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{FV}}{100} \cdot H_T \cdot A_{FV} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \quad (3.62)$$

kde

η_{FV}	měsíční účinnost modulu	[%]
H_T	měsíční dávka slunečního ozáření	[kWh/m ² · měs]
A_{FV}	činná plocha instalovaných FV modulů	[m ²]
p	srážka vlivem elektrických ztrát	[%]

Celková elektrická ztráta se uvažuje 8 %.

Měsíční účinnost η_{FV} [%] lze určit na základě středních měsíčních hodnot klimatických údajů a parametrů fotovoltaického modulu uvedených od výrobce.

$$\eta_{FV} = \eta_{ref} \cdot \left\{ 1 + \frac{\gamma}{100} \cdot \left[t_{e,s} + \left(1 - \frac{\eta_{ref}/100}{0,95} \right) \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25 \right] \right\} \cdot \left(1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{800} \right) \quad (3.63)$$

kde

η_{ref}	referenční účinnost	[%]
γ	teplotní součinitel výkonu pro daný modul	[%/K]
$t_{e,s}$	střední denní teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu	[°C]
G_m	střední sluneční ozáření	[W/m ²]
$NOCT$	jmenovitá provozní teplota článku	[°C]
k	součinitel pro daný modul	[-]

Součinitel modulu k [-] lze vypočítat při znalosti relativního snížení účinnosti $\Delta\eta_G$ [%] z 1000 W/m^2 na 200 W/m^2 . Relativní snížení účinnosti výrobce uvádí v technické specifikaci fotovoltaického modulu.

$$k = \frac{\Delta\eta_G}{\ln \frac{G}{G_{ref}}} \quad (3.64)$$

kde

G sluneční ozáření pro stanovení poklesu účinnosti [kWh/m² · měs]
($G = 200 \text{ W/m}^2$)

G_{ref} referenční ozáření ($G_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$) [m²]

Střední teplota fotovoltaického článku t_{FV} [°C] se pro jednotlivé měsíce stanoví podle následujícího vztahu

$$t_{FV} = t_{e,s} + \frac{G_m}{800} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{FV}/100}{\alpha}\right) \cdot (NOCT - 20) \quad (3.64)$$

kde

α pohltivost modulu [-]

4 Analýza bytového domu

Analytická část diplomové práce se zabývá vyhodnocením původního stavu bytového domu, návrhem a ekonomickým vyhodnocením tepelně technických opatření, změnou tepelných zdrojů a bilancí obnovitelných zdrojů energie. Součástí analytické části je i návrh kombinace energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady pro zvolenou úroveň redukce emisí CO₂.

4.1 Popis bytového domu

Pro vypracování diplomové práce byla poskytnuta část stavební dokumentace obsahující technickou zprávu, půdorysy, řezy a pohledy.

Hodnocený bytový dům je součástí několika bytových domů, nacházejících se na Barrandovském sídlišti v pražské části Praha 5. Vybudován byl v 80. letech minulého století, podle konstrukčního systému OP 1.11, přesněji dle bodové sekce 3453 B. Panelové domy tohoto typu byly stavěny převážně v Severomoravském kraji a v menším množství i v Praze. Hlavními znaky sekce 3453 B jsou plně zapuštěné lodžie, velká okna a strohý vzhled. [46]

Jedná se o osmipodlažní panelový dům s dvaatřiceti bytovými jednotkami o celkové podlahové ploše 2789 m². Obsazení bytových jednotek se dle ČSN 73 0331-1 uvažuje 30 m²/os, což odpovídá 83 osobám. [42]



Obrázek 4.1: Bodová sekce 3453 B [46]



Obrázek 4.2: Půdorys typického podlaží 3453 B [46]

Panelová technologie OP 1.11 se vyznačuje příčným nosným systémem s podélným vyztužením ve středech sekcí. Nosné stěny i stropy jsou železobetonové o tloušťce 150 mm. Obvodový plášť je sendvičový tl. 300 mm (150 mm vnitřní železobetonová vrstva, 80 mm polystyrénová izolace, 70 mm vnější železobetonová vrstva včetně fasády). Konstrukční výška podlaží je 2,8 m, světlá výška podlaží je 2,65 m. Lodžie mají hloubku 1,5 m a jsou zapuštěny 1,2 m. Střecha bytového domu je plochá, jednoplášťová, nevětraná. Na střeše jsou umístěny sběrné a ventilační komory pro odvětrávání bytových jader a strojovna výtahu. Objekt je podsklepený. Výplně otvorů jsou původní. [47]

Tabulka 4.1: Hodnoty tepelných odporů prostupem jednotlivými konstrukcemi

Typ konstrukce	Tepelný odpor prostupem R [$m^2 \cdot K/W$]
Střešní konstrukce	3,01
Obvodový plášť	1,50
Podlaha na terénu	0,75

Tabulka 4.2: Hodnoty deklarovaných součinitelů prostupu tepla jednotlivými prvky

Prvek	Deklarovaný součinitel prostupu tepla $U_{k,i}$ [$W/m^2 \cdot K$]
Okna	2,90
Balkonové dveře	2,70
Vstupní dveře	7,00

4.2 Vyhodnocení stávajícího stavu

Vyhodnocení energetické náročnosti stávajícího stavu bytového domu je důležité pro následovné porovnání navržených energeticky úsporných variant. Veškeré výpočty byly provedeny podle výpočtových metod stanovených v kapitole 3.

4.2.1 Vytápění

Bytový dům je centralizovaně zásobován teplem z plynové blokovej kotelny BK4, která vytápí samostatný tepelný okruh a je jediným tepelným zdrojem v této části Barrandovského sídliště. Bytový dům má v suterénu zabudovanou předávací stanici, která kvalitativně reguluje teplotu otopné vody v závislosti na venkovní teplotě. Vlastní ústřední vytápění domu je soustavy teplovodní s nuceným oběhem vody s návrhovým teplotním rozdílem 80/60 °C. Otopná litinová tělesa typu Kalor jsou vždy umístěná na stěnách pod okny.

Ztráta tepla

Největší část celkové měrné tepelné ztráty budovy způsobují výplně otvorů a obálka budovy. Nedostatečné zateplení v kombinaci s původními výplněmi otvorů, zapříčiňují více než 75 % celkové měrné ztráty budovy. Měrná ztráta větráním je dána především netěsnostmi ve výplních otvorů.

Tabulka 4.3: Výsledné měrné ztráty tepla pro původní stav

Měrná tepelná ztráta	
Prostupem H_T [W/K]	2869
Větráním H_V [W/K]	701
Celková H [W/K]	3570

Na základě celkové měrné ztráty budovy lze stanovit ztrátu tepla pro jednotlivé měsíce. V letních měsících je ztráta tepla nulová, jelikož se otopné období uvažuje od začátku září do konce května.

Tabulka 4.4: Měsíční ztráty tepla pro původní stav

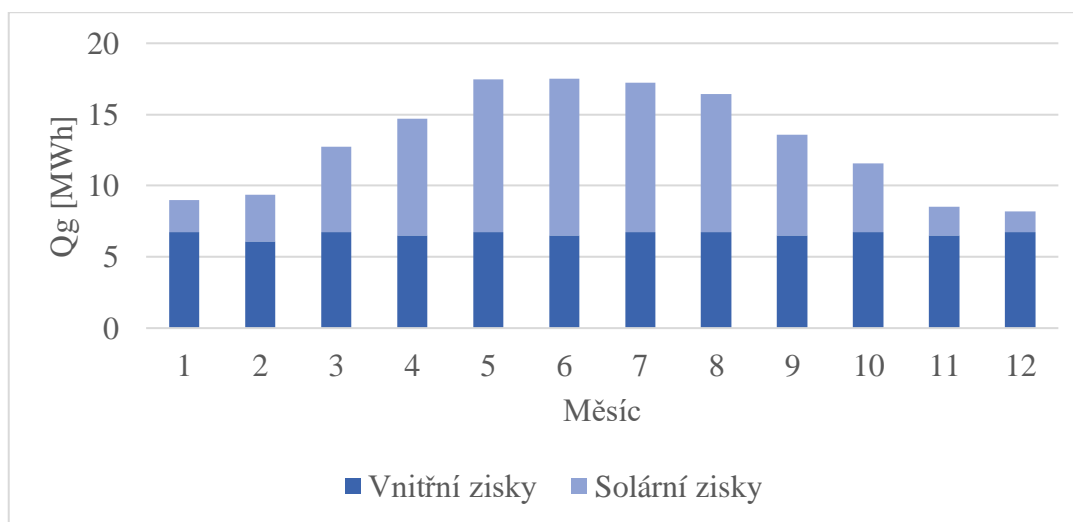
Měsíc	Délka časového úseku τ [h]	Požadovaná teplota vnitřního vzduchu t_i [°C]	Průměrná venkovní teplota t_e [°C]	Měrná tepelná ztráta budovy H [W/K]	Ztráta tepla Q_L [MWh]
Leden	744	20	-1,0	3570	55,78
Únor	672		1,0		45,59
Březen	744		4,0		42,50
Duben	720		9,0		28,28
Květen	744		14,6		14,34
Červen	720		17,0		0,00
Červenec	744		18,2		0,00
Srpen	744		18,8		0,00
Září	720		13,8		15,94
Říjen	744		9,4		28,16
Listopad	720		4,0		41,13
Prosinec	744		-0,5		54,45
Suma	-	-	-	-	326,17

Tepelné zisky

Tepelné zisky jsou dány součtem solárních a vnitřních zisků. Solární zisky prosklenými prvky se stanovují pro každou světovou stranu jednotlivě. Při výpočtu jsou uvažovány původní výplně otvorů s dvojitým zasklením a propustností sluneční energie 0,75.

Tabulka 4.5: Měsíční tepelné zisky pro původní stav

Měsíc	Solární zisky Q_S [MWh]	Vnitřní zisky Q_i [MWh]	Celkové zisky Q_G [MWh]
Leden	2,27	6,73	8,99
Únor	3,28	6,08	9,36
Březen	6,01	6,73	12,73
Duben	8,20	6,51	14,71
Květen	10,76	6,73	17,49
Červen	10,99	6,51	17,50
Červenec	10,53	6,73	17,25
Srpen	9,71	6,73	16,44
Září	7,09	6,51	13,60
Říjen	4,84	6,73	11,56
Listopad	1,99	6,51	8,50
Prosinec	1,46	6,73	8,19
Suma	77,12	79,22	156,34



Obrázek 4.3: Grafické rozložení tepelných zisků v průběhu roku

Potřeba tepla na vytápění

Pro výpočet vnitřní tepelné kapacity budovy C [J/K] byla uvažována středně těžká konstrukce, pro kterou platí

$$C = 165\,000 \cdot A_f \quad (4.1)$$

kde

$$A_f \quad \text{vnitřní podlahová plocha budovy} \quad [\text{m}^2]$$

Při stanovení potřeby tepla na vytápění se u tepelných zisků zohledňuje stupeň využití tepelných zisků, který udává, z jaké části lze využít tepelné zisky v jednotlivých měsících. Účinnost systému CZT se uvažuje 90 %, z toho důvodu je nutné navýšit celkovou potřebu tepla na vytápění o 10 %.

Tabulka 4.6: Měsíční hodnoty potřeby tepla na vytápění pro původní stav

Měsíc	Ztráta tepla Q_L [MWh]	Tepelné zisky Q_G [MWh]	Stupeň využití tepelných zisků η [-]	Potřeba tepla na vytápění Q_H [MWh]	Celková potřeba tepla na vytápění $Q_{H+10\%}$ [MWh]
Leden	55,78	8,99	0,998	46,81	51,49
Únor	45,59	9,36	0,995	36,27	39,90
Březen	42,50	12,73	0,986	29,95	32,94
Duben	28,28	14,71	0,940	14,47	15,92
Květen	14,34	17,49	0,691	2,39	2,63
Červen	0,00	17,50	0,000	0,00	0,00
Červenec	0,00	17,25	0,000	0,00	0,00
Srpen	0,00	16,44	0,000	0,00	0,00
Září	15,94	13,60	0,825	4,78	5,25
Říjen	28,16	11,56	0,967	16,98	18,68
Listopad	41,13	8,50	0,995	32,67	35,94
Prosinec	54,45	8,19	0,998	46,28	50,91
Suma	326,17	156,34	-	230,60	253,66

4.2.2 Příprava teplé vody

Potřeba tepla na ohřev vody

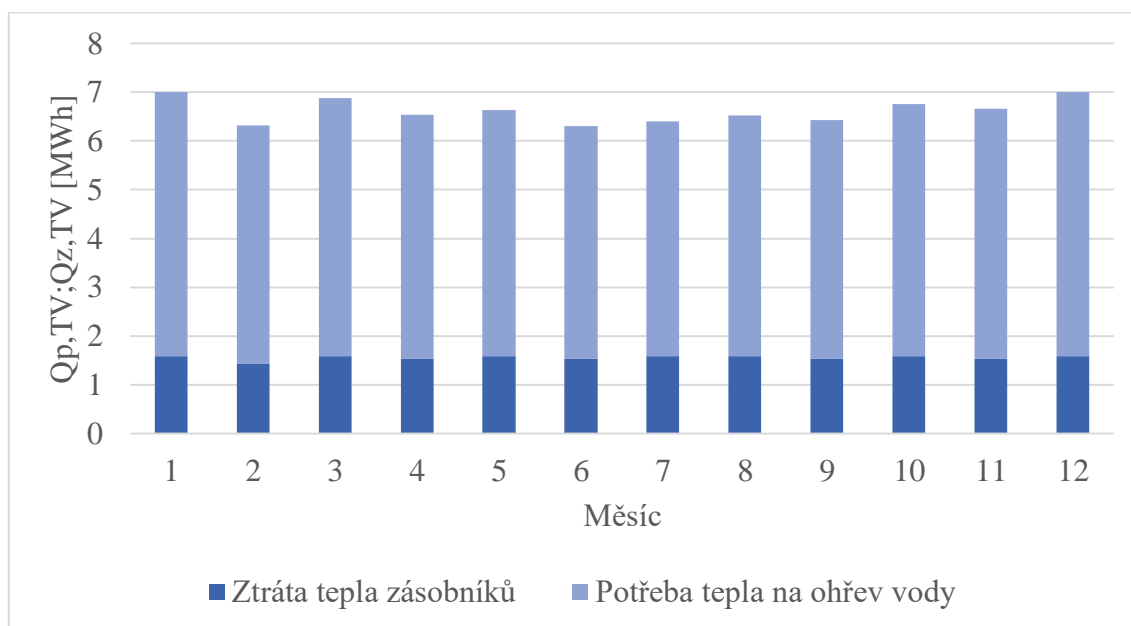
Teplá voda je ohřívána na požadovanou teplotu $t_{TV} = 55$ °C, teplota studené vody t_{SV} [°C] je v rámci roku proměnlivá. Příprava teplé vody je zajištěna elektrickými akumulacími ohříváči v každé bytové jednotce samostatně. Pro výpočet potřeby tepla na ohřev vody bylo uvažováno 83 osob s potřebou teplé vody $V_{TV,den} = 40$ l/os · den.

Ztráta tepla elektrických ohříváčů

Norma ČSN 73 0331-1 uvádí měrnou denní tepelnou ztrátu přímo ohříváči zásobníku teplé vody $Q_{z,zás} = 10$ Wh/l · den (pro zásobníky $V_{zás} \leq 200$ l). Objem zásobníku je 160 l. Počet zásobníků odpovídá počtu bytových jednotek $x = 32$.

Tabulka 4.7: Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro původní stav

Měsíc	Teplota studené vody t_{SV} [°C]	Potřeba tepla na ohřev TV $Q_{p,TV}$ [MWh]	Ztráta tepla zásobníků TV $Q_{z,TV}$ [MWh]	Celková potřeba tepla na přípravu TV $Q_{pc,TV}$ [MWh]
Leden	10	5,41	1,59	7,00
Únor	10	4,89	1,43	6,32
Březen	11	5,29	1,59	6,88
Duben	12	5,00	1,54	6,54
Květen	13	5,05	1,59	6,64
Červen	14	4,77	1,54	6,31
Červenec	15	4,81	1,59	6,40
Srpen	14	4,93	1,59	6,52
Září	13	4,89	1,54	6,42
Říjen	12	5,17	1,59	6,76
Listopad	11	5,12	1,54	6,66
Prosinec	10	5,41	1,59	7,00
Suma	-	60,75	18,69	79,44



Obrázek 4.4: Grafické znázornění měsíčních potřeb tepla na přípravu teplé vody

4.2.3 Elektrická energie

Umělé osvětlení

Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení vychází z normových hodnot měrné spotřeby elektrické energie pro různé typy zón. Při stanovení měsíčních potřeb elektrické energie viz tabulka 4.8, se zohledňuje činitel podílu elektrické energie na osvětlení pro každý měsíc v roce. Roční potřeba elektrické energie na umělé osvětlení je 11,3 MWh/rok.

Tabulka 4.8: Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení

Typ zóny	$W_{L,A}$ [kWh/m ² · rok]	Plocha [m ²]	Potřeba elektrické energie [MWh/rok]
Bytové domy – prostor bytu (pro obytnou plochu 71,5 – 150 m ²)	4,4	2504,3	11
Bytové domy – společné prostory (pro jedno podlaží)	1,0	284,5	0,3

Elektrické spotřebiče

Hodnoty pro stanovení potřeby elektrické energie pro elektrické spotřebiče byly získány z analýzy orientačních hodnot spotřeby, kterou v roce 2013 publikovala společnost Pražská energetika a.s. V tabulce 4.9 jsou uvedeny elektrické spotřebiče uvažované při výpočtu potřeby elektrické energie na jejich provoz. [48]

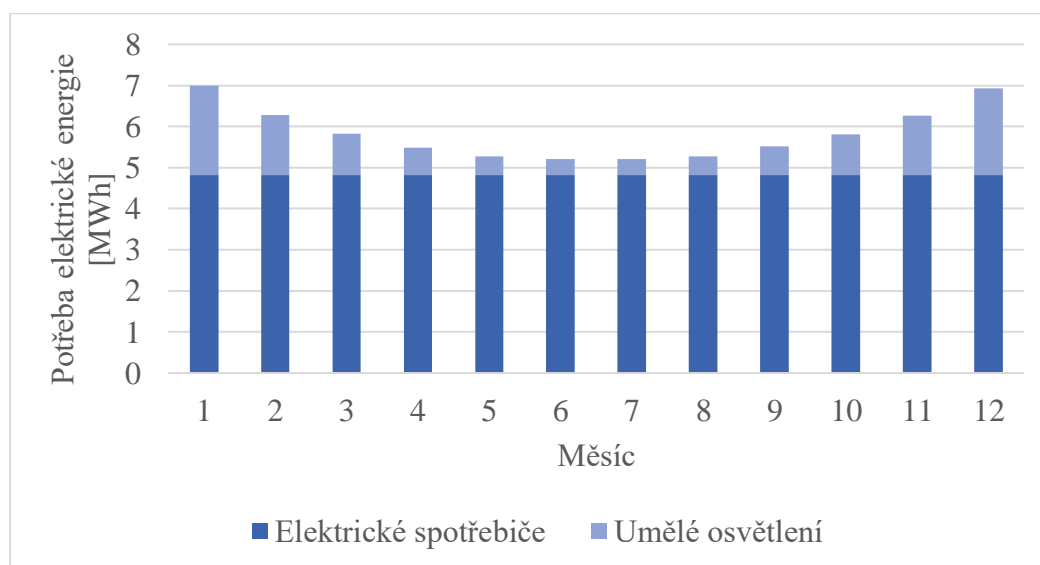
Tabulka 4.9: Potřeba elektrické energie pro elektrické spotřebiče

Spotřebič	Příkon [kW]	Doba provozu [h/rok]	Spotřeba [kWh/rok]
Kombinovaná chladnička	120	2016	242
Digestoř	200	96	19
Indukční deska	4000	144	576
Topinkovač	750	24	18
Modem	15	8064	121
Televize	65	1440	94
Monitor	40	1920	77
Žehlička	3000	24	72
Notebook	40	2880	115
Suma	-	-	1334
Ostatní spotřebiče	Spotřeba [Wh/1 cyklus]	Počet cyklů [1/rok]	Spotřeba [kWh/rok]
Pračka	780	144	112
Elektrická trouba	920	144	132
Myčka	940	240	226
Suma	-	-	470

Celková potřeba elektrické energie na elektrické spotřebiče pro bytový dům je 57,73 MWh/rok, což odpovídá 1,8 MWh/rok pro jednu bytovou jednotku.

Tabulka 4.10: Potřeba elektrické energie

Měsíc	Potřeba elektrické energie pro elektrické spotřebiče [MWh]	Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení [MWh]	Činitel podílu elektrické energie na osvětlení $f_{L,j}$ [-]	Celková potřeba elektrické energie [MWh]
Leden	4,81	1,43	1,52	6,99
Únor	4,81	1,18	1,25	6,28
Březen	4,81	0,98	1,04	5,83
Duben	4,81	0,80	0,85	5,49
Květen	4,81	0,66	0,70	5,27
Červen	4,81	0,61	0,65	5,21
Červenec	4,81	0,61	0,65	5,21
Srpen	4,81	0,66	0,70	5,27
Září	4,81	0,82	0,87	5,52
Říjen	4,81	0,97	1,03	5,81
Listopad	4,81	1,17	1,24	6,26
Prosinec	4,81	1,41	1,50	6,93
Suma	57,73	11,30	-	69,03



Obrázek 4.5: Grafické rozložení potřeby elektrické energie v průběhu roku

Roční potřeba pomocné elektrické energie na provoz systému vytápění činí 0,44 MWh. Celková roční potřeba elektrické energie je poté 69,47 MWh.

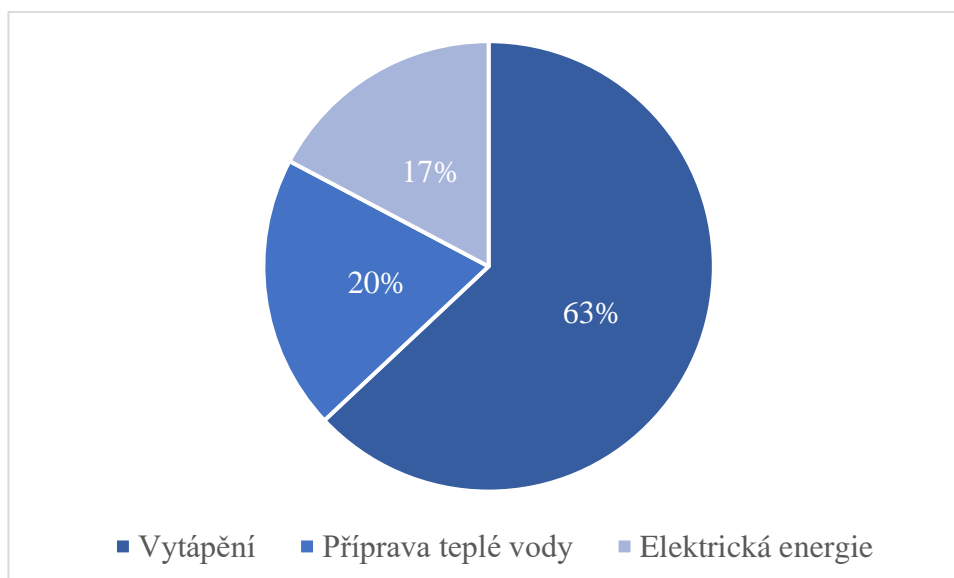
Celkový přehled

Roční potřeba tepla na vytápění s uvažovanou účinností soustavy CZT 90 %, činí 253,66 MWh, což odpovídá měrné potřebě tepla 101 kWh/m². Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody je 79,44 MWh, ztráta tepla elektrických akumulčních zásobníků činí 31 % celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody. Celková potřeba elektrické energie zahrnuje umělé osvětlení, elektrické spotřebiče a pomocnou elektrickou energii. Roční potřeba elektrické energie je 69,03 MWh.

Původní stav svými hodnotami odpovídá vystavěným bytovým domům v 80. letech 20. století. Pro takové domy se měrná potřeba tepla na vytápění pohybuje v rozmezí 90-120 kWh/m². Tomu odpovídá i rozložení potřeb energií, jelikož u starších budov vytápění představuje zhruba dvě třetiny celkové potřeby energií.

Tabulka 4.11: Celkový přehled potřeb energií pro původní stav

Potřeba energie	Zemní plyn	Elektrická energie
Vytápění [MWh]	253,66	-
Příprava teplé vody [MWh]	-	79,44
Uživatelská energie [MWh]	-	69,47



Obrázek 4.6: Rozložení potřeb energií pro původní stav

4.3 Popis hodnocených variant

V rámci diplomové práce byly navrženy tři různé varianty rekonstrukce bytového domu, kombinující nízko energetická opatření s různými zdroji tepla. Navržené varianty jsou uvedeny v tabulce 4.12. Pro všechny varianty je uvažována stejná potřeba elektrické energie na osvětlení a elektrické spotřebiče, jako u původního stavu. Pomocná elektrická energie je u každé varianty jiná v důsledku různých technologických systémů.

Tabulka 4.12: Hodnocené varianty

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Zateplení	$U_{\text{rec},20}$	$U_{\text{rec},20}$	$U_{\text{pas},20}$
Výplně otvorů			
Větrání	nucené	nucené s rekuperací	nucené s rekuperací
Vytápění	původní	plynový kotel	tepelné čerpadlo
Příprava teplé vody	původní	plynový kotel	tepelné čerpadlo
Fotovoltaický systém	ne	ne	ano

Pro každou variantu jsou stanovené investiční a provozní náklady včetně DPH. Investiční náklady zahrnují ceny jednotlivých technologií, veškerého příslušenství a instalace. Provozními náklady se rozumí roční náklady spojené s provozem, kontrolou a údržbou jednotlivých technologických systémů. Další část provozních nákladů tvoří náklady za spotřebovanou energii.

4.3.1 Varianta 1

Konstrukce

Pro první variantu je navrženo zateplení splňující doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$ podle ČSN 73 0540-2. Obálka budovy i střešní konstrukce jsou zatepleny materiálem EPS 70F. Tloušťka tepelné izolace pro fasádu je 120 mm, pro střešní konstrukci 100 mm. Výplně otvorů jsou uvažovány plastové s dvojitým zasklením, selektivním nízkoemisním povrchem a celkovou propustností slunečního záření 0,67. [9]

Tabulka 4.13: Doporučené součinitele prostupu tepla pro první variantu

Prvek	Plocha prvku A_i [m ²]	Součinitel prostupu tepla $U_{rec,20}$ [W/m ² · K]	Přirážka na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} [W/m ² · K]
Stěna vnější	1448	0,20	0,05
Střecha plochá	365	0,16	0,05
Výplň otvorů	550	1,2	0,05

Větrání

Výměnou výplní otvorů dojde ke značnému utěsnění obálky budovy. Z toho důvodu je nutné navrhnout výměnu vzduchu nuceným větráním. Výpočet je proveden podle normy ČSN EN 12831-1. [40]

Tepelná ztráta větráním $\phi_{V,i}$ [W] se vypočítá jako

$$\phi_{V,i} = \dot{V} \cdot \rho_a \cdot c_{p,a} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (4.2)$$

kde

\dot{V}	průtok vzduchu v budově	[m ³]
ρ_a	hustota vzduchu	[kg/m ³]
$c_{p,a}$	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg · K]
θ_i	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

Průtok vzduchu budovou je dán rovnicí

$$\dot{V} = \dot{V}_{su} \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + \dot{V}_{inf} \quad (4.3)$$

kde

$$\dot{V}_{su} \quad \text{průtok vzduchu nuceným větráním} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\dot{V}_{inf} \quad \text{průtok vzduchu infiltrací} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$\eta_{ZZT} \quad \text{účinnost zpětného získávání tepla výměníku VZT jednotky} \quad [-]$$

Průtok vzduchu nuceným větráním se určí jako

$$\dot{V}_{su} = n_{min} \cdot V_{i,b.j.} \quad (4.4)$$

kde

$$n_{min} \quad \text{požadovaná intenzita větrání} \quad [1/\text{h}]$$

$$V_{i,b.j.} \quad \text{vnitřní objem bytových jednotek} \quad [\text{m}^3]$$

Průtok vzduchu infiltrací se vypočítá jako

$$\dot{V}_{inf} = 2 \cdot V_{i,b.j.} \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (4.5)$$

kde

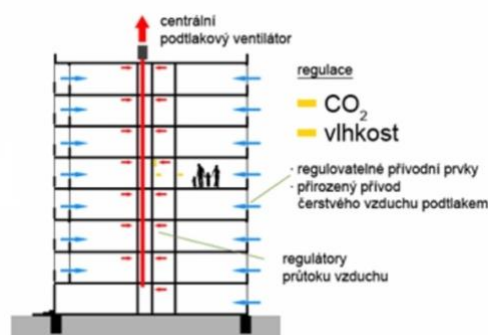
$$n_{50} \quad \text{intenzita větrání budovy při rozdílu tlaků mezi vnitřním a} \quad [-]$$

venkovním prostorem 50 Pa

$$e_i \quad \text{součinitel stínění} \quad [-]$$

$$\varepsilon_i \quad \text{korekční součinitel na výšku od úrovně terénu} \quad [-]$$

První varianta zajišťuje větrání pomocí centrálního podtlakového systému bez možnosti zpětného získávání tepla. Tento systém kombinuje nucené odvětrávání větraných zón s přirozeným přívodem čerstvého vzduchu do větraných zón. Odvětrání zajišťuje centrální podtlakový ventilátor umístěný na střeše bytového domu. Čerstvý vzduch je do bytových jednotek přiváděn šterbinami v rámech výplní otvorů. Odvod vzduchu obstarávají čtyři střešní ventilátory RF 40/22-2E s kombinovaným průtokem vzduchu 3 760 m³/h. [49]



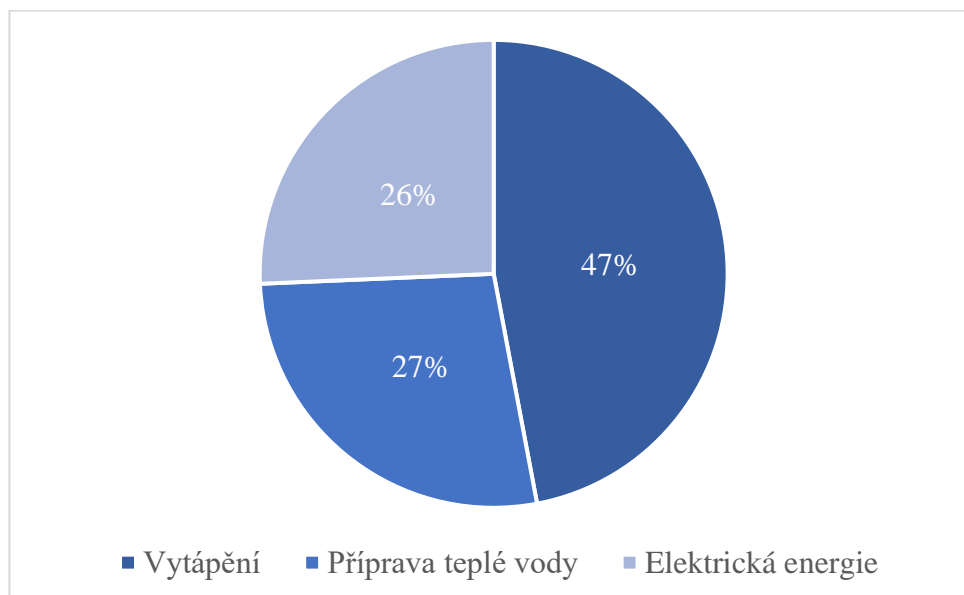
Obrázek 4.7: Centrální podtlakový systém nuceného větrání [49]

Potřeba energií

Díky zateplení obálky budovy a výměně původních výplní otvorů klesla potřeba energie na vytápění o 55 %. V důsledku změny systému větrání vzrostla pomocná elektrická energie z původních 0,44 MWh/rok na 5,71 MWh/rok.

Tabulka 4.14: Přehled potřeb energií pro první variantu

Potřeba energie	Zemní plyn	Elektrická energie
Vytápění [MWh]	136,89	-
Příprava teplé vody [MWh]	-	79,44
Uživatelská energie [MWh]	-	74,74



Obrázek 4.8: Rozložení potřeb energií pro první variantu

Ekonomické vyhodnocení varianty

Ceny energií jsou převzaty od dodavatele energií Pražská energetika a.s. a jsou platné pro červen 2022. Pro elektrickou energii je uvažována distribuční sazba D25d.

Tabulka 4.15: Náklady na energii pro první variantu

Druh energie	Celková dodaná energie [MWh/rok]	Cena energie [Kč/MWh]	Náklady na energii [Kč/rok]
Zemní plyn	136,89	2 400	328 532
Elektrická energie	154,19	5 053	779 103

Ceny jednotlivých opatření a technologií jsou převzaty z webových stránek dodavatelů. Provozní náklady jsou určeny na základě počtu obsluhovaných zařízení.

Tabulka 4.16: Přehled nákladů pro první variantu

Opatření/technologie	Investiční náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]
Zateplení	966 608	-
Výplně otvorů	2 820 658	-
Větrání	269 080	30 000
Vytápění	-	7 000
Příprava teplé vody	-	66 000

Celkové investiční náklady pro první variantu jsou 4 056 345 Kč, roční provozní náklady technologií jsou 103 000 Kč. Pro tuto variantu jsou náklady na energii v prvním roce 1 107 636 Kč.

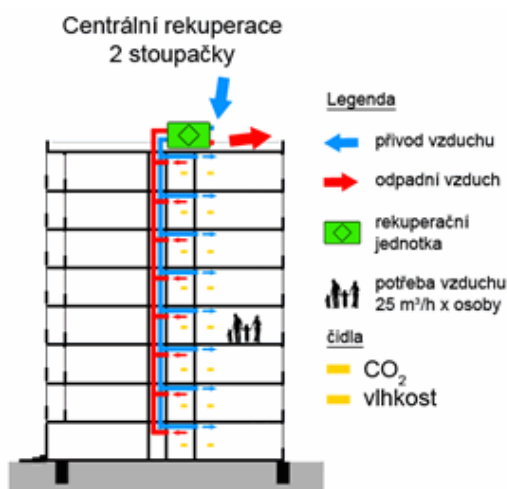
4.3.2 Varianta 2

Konstrukce

Zateplení obálky budovy je navrženo na doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{\text{rec},20}$ podle ČSN 73 0540-2 stejně jako v první variantě. Výplně otvorů jsou uvažovány stejně jako v první variantě. [9]

Větrání

Druhá varianta uvažuje nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla. Jedná se o systém centrální rekuperace, ve kterém rekuperační jednotka zajišťuje přívod i odvod vzduchu z větraných zón. Systém je vybaven regulátory průtoku vzduchu. V návrhu se uvažují dvě rekuperační jednotky Regulus Totus o celkovém průtoku vzduchu 3 744 m³/h s účinností 75 %. Výpočet byl proveden podle návrhu v první variantě. [50]



Obrázek 4.9: Vzduchotechnický systém s centrální rekuperací [50]

Vytápění

Původně bylo teplo potřebné pro vytápění dodávané soustavou CZT. Nově bude vytápění realizováno kondenzačním plynovým kotlem, který bude umístěn v plynové kotelně III. kategorie v suterénu bytového domu. Původní otopná soustava bude zachována, litinová otopná tělesa budou vyměněna za desková otopná tělesa. Návrhový teplotní rozdíl otopné vody je navržen na 50/40 °C.

Návrhový tepelný výkon na vytápění stanovený rovnicí 3.32 je pro druhou variantu 47 kW. Návrh uvažuje dva kondenzační plynové kotle Viessmann Vitodens 200-W s celkovým jmenovitým tepelným výkonem 64 kW a stupněm využití 103 %. Kondenzační plynové kotle budou dodávat teplo pro vytápění i přípravu teplé vody. Z toho důvodu je jejich tepelný výkon o zhruba 30 % vyšší, než je návrhový tepelný výkon pro vytápění.

Příprava teplé vody

Původní způsob přípravy teplé vody byl realizován elektrickými akumulacími ohříváči v každé bytové jednotce samostatně. Nový návrh pro přípravu teplé vody uvažuje centrální přípravu pro celý bytový dům. V plynové kotelně bude instalován nepřímo ohříváný akumulací zásobník teplé vody, který bude nabíjen plynovým kondenzačním kotlem.

Denní potřeba tepla na přípravu teplé vody

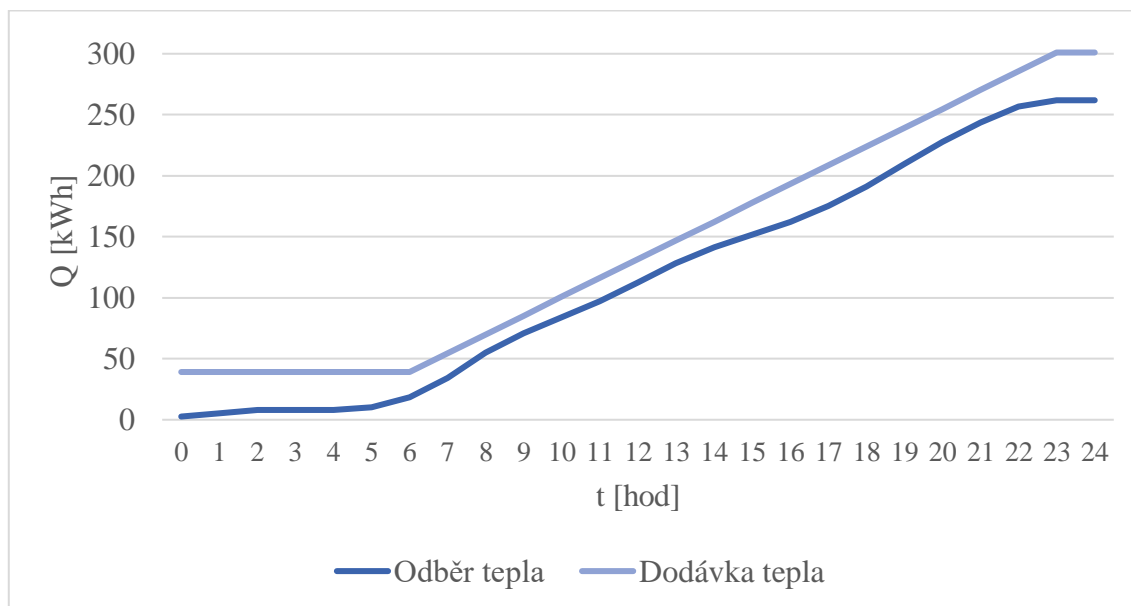
$$Q_{p,TV,d,cel} = \frac{(1 + z) \cdot V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \cdot 10^6} \quad (4.6)$$

kde

$Q_{p,TV,d,cel}$	celková denní potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
z	přirážka pro tepelnou ztrátu soustavy	[-]
$V_{TV,den}$	celková denní potřeba teplé vody	[m ³ /den]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita	[J/kg · K]
t_{TV}	teplota teplé vody	[°C]
t_{SV}	teplota studené vody	[°C]

Akumulační zásobník

Velikost zásobníku je stanovena na základě metody křivek dodávky a odběru tepla systému teplé vody. Návrh předpokládá přerušovanou dodávku tepla do zásobníku teplé vody v časové periodě 16 h. Při návrhu je nutné dodržet alespoň 15% navýšení potřeby tepla nad křivkou odběru, z důvodů nestandardního chování odběratelů. Maximální rozdíl křivek nastává ve 23 h a odpovídá hodnotě $\Delta Q_{max} = 39 \text{ kWh}$.



Obrázek 4.10: Graf křivek dodávky a odběru tepla

Velikost zásobníku se vypočítat jako

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \quad (4.7)$$

kde

V_z	objem zásobníku	$[\text{m}^3]$
ρ	hustota vody	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$
t_{TV}	teplota teplé vody	$[\text{°C}]$
t_{SV}	teplota studené vody	$[\text{°C}]$

Návrhová velikost akumulčního zásobníku je $0,7 \text{ m}^3$. Pro instalaci v bytovém domě byl vybrán akumulční zásobník od firmy Viessmann. Jedná se o zásobník typu SVPB o objemu $0,75 \text{ m}^3$.

Zdroj pro přípravu teplé vody

Návrhový tepelný výkon zdroje tepla pro přípravu teplé vody $\Phi_{TV,N}$ [W] se určí jako

$$\Phi_{TV,N} = \left(\frac{Q_{p,TV,d,cel}}{\tau} \right)_{max} \quad (4.8)$$

kde

τ doba nabíjení akumulčního zásobníku [h]

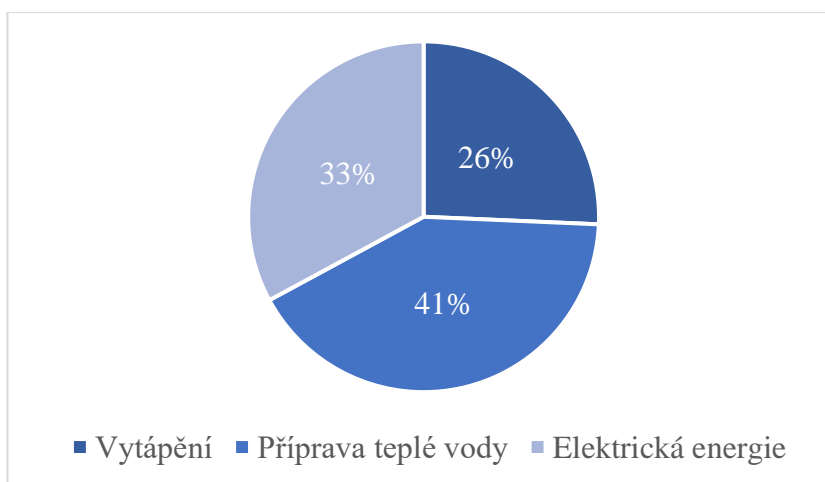
Návrhový tepelný výkon zdroje tepla pro přípravu teplé vody je 16 kW. Přípravu teplé vody i vytápění budou zajišťovat kondenzační plynové kotel Viessmann Vitodens 220-W.

Potřeba energií

Opatření v druhé variantě dokázaly snížit potřebu energie na vytápění o necelých 80 % oproti původnímu stavu. V důsledku změny systému vytápění, větrání a přípravy teplé vody vzrostla pomocná elektrická energie z původních 0,44 MWh/rok na 3,34 MWh/rok.

Tabulka 4.17: Přehled potřeb energií pro druhou variantu

Potřeba energie	Zemní plyn	Elektrická energie
Vytápění [MWh]	56,53	-
Příprava teplé vody [MWh]	91,13	-
Uživatelská energie [MWh]	-	72,37



Obrázek 4.11: Rozložení potřeb energií pro druhou variantu

Ekonomické vyhodnocení varianty

Ceny energií jsou převzaty od dodavatele energií Pražská energetika a.s. a jsou platné pro červen 2022. Pro elektrickou energii je uvažována distribuční sazba D02d.

Tabulka 4.18: Náklady na energii pro druhou variantu

Druh energie	Celková dodaná energie [MWh/rok]	Cena energie [Kč/MWh]	Náklady na energii [Kč/rok]
Zemní plyn	147,66	2 400	354 380
Elektrická energie	72,37	4 480	324 228

Ceny jednotlivých opatření a technologií jsou převzaty z webových stránek dodavatelů. Provozní náklady jsou určeny na základě počtu obsluhovaných zařízení.

Tabulka 4.19: Přehled nákladů pro druhou variantu

Opatření/technologie	Investiční náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]
Zateplení	966 608	-
Výplně otvorů	2 820 658	-
Větrání	850 080	15 000
Vytápění	142 800	7 000
Příprava teplé vody	49 140	8 000

Celkové investiční náklady pro druhou variantu jsou 4 829 285 Kč, roční provozní náklady technologií jsou 30 000 Kč. Roční náklady na energii v prvním roce činí 678 608 Kč.

4.3.3 Varianta 3

Konstrukce

Pro třetí variantu je navrženo zateplení splňující horní hranici doporučených hodnot součinitele prostupu tepla pro pasivní domy $U_{pas,20}$ podle ČSN 73 0540-2. Obálka budovy i střešní konstrukce jsou zatepleny pomocí EPS 70F. Tloušťka tepelné izolace pro fasádu i pro střešní konstrukci je 160 mm. Výplně otvorů jsou uvažovány plastové s trojitým zasklením, selektivním nízkoemisním povrchem a celkovou propustností slunečního záření 0,50.

Tabulka 4.20:: Doporučené součinitele prostupu tepla pro třetí variantu

Prvek	Plocha prvku A_t [m ²]	Součinitel prostupu tepla $U_{pas,20}$ [W/ m ² · K]	Přirážka na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} [W/m ² · K]
Stěna vnější	1448	0,18	0,02
Střecha plochá	365	0,15	0,02
Výplň otvorů	550	0,8	0,02

Větrání

Třetí varianta uvažuje stejný systém větrání jako varianta druhá, tzn. nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla. Výpočet byl proveden podle návrhu v první variantě.

Vytápění

Soustava s tepelným čerpadlem vzduch-voda je navržena pro přípravu teplé vody i vytápění s přednostní přípravou teplé vody. Aby mohlo tepelné čerpadlo pracovat co nejeфекtivněji, je nutné upravit teplotní rozdíl otopné vody. Původní návrhový teplotní rozdíl otopné vody 80/60 °C byl v důsledku snížení tepelných ztrát bytového domu přepočítán na 50/40 °C. Vytápění budou zajišťovat dvě tepelná čerpadla navržená v bivalentním režimu v kombinaci s elektrickým kotlem. Pro návrh byla zvolena tepelná čerpadla Regulus EcoAir 622M.

Tabulka 4.21: Technické údaje tepelného čerpadla Regulus EcoAir 622M [51]

Technické údaje	
Výkon při teplotách A2/W35 [kW]	13,87
Příkon při teplotách A2/W35 [kW]	3,92
Topný faktor při teplotách A2/W35 [-]	3,54
Maximální výstupní teplota TČ [°C]	65
Hladina akustického výkonu [dB]	66
Výška [mm]	1 180
Šířka [mm]	1 375
Hloubka [mm]	550
Hmotnost [kg]	190
Chladicí médium	R 407C

Tabulka 4.22: Výkonové parametry tepelného čerpadla Regulus EcoAir 622M [51]

Výkonové parametry				
Teplota vzduchu [°C]	Výstupní teplota [°C]	Výkon [kW]	Příkon [kW]	Topný faktor [-]
12	35	20,78	4,14	5,02
	45	19,70	4,88	4,04
	55	18,34	5,55	3,31
	65	17,30	6,38	2,71
7	35	17,55	4,06	4,33
	45	17,19	4,76	3,61
	55	15,94	5,45	2,92
	65	14,85	6,24	2,38
2	35	13,87	3,92	3,54
	45	13,43	4,54	2,96
	55	13,05	5,10	2,56
	65	12,02	5,86	2,06
-7	35	11,42	3,78	3,02
	45	11,02	4,32	2,55
	55	10,91	4,83	2,26
-15	35	8,96	3,59	2,50
	45	8,54	4,10	2,08
	55	8,36	4,61	1,82

Tabulka 4.23: Roční spotřeba elektrické energie tepelných čerpadel

Měsíc	Q_c [MWh]	Q_{TC} [MWh]	$E_{TC, TV}$ [MWh]	$E_{TC, VYT}$ [MWh]	E_{pom} [MWh]	E_{TC} [MWh]
leden	18,36	16,92	3,35	3,43	0,02	6,81
únor	14,20	13,30	3,23	2,51	0,02	5,76
březen	11,63	11,63	2,93	1,31	0,01	4,25
duben	7,85	7,85	2,51	0,12	0,01	2,63
květen	7,58	7,58	2,23	0,00	0,01	2,24
červen	7,16	7,16	1,97	0,00	0,01	1,97
červenec	7,22	7,22	1,81	0,00	0,00	1,82
srpen	7,40	7,40	1,88	0,00	0,00	1,88
září	7,34	7,34	2,14	0,00	0,01	2,14
říjen	8,57	8,57	2,51	0,27	0,01	2,78
listopad	13,51	13,51	2,80	2,07	0,01	4,89
prosinec	18,46	16,70	3,40	3,38	0,02	6,80
Suma	129,27	125,15	30,76	13,09	0,13	43,98

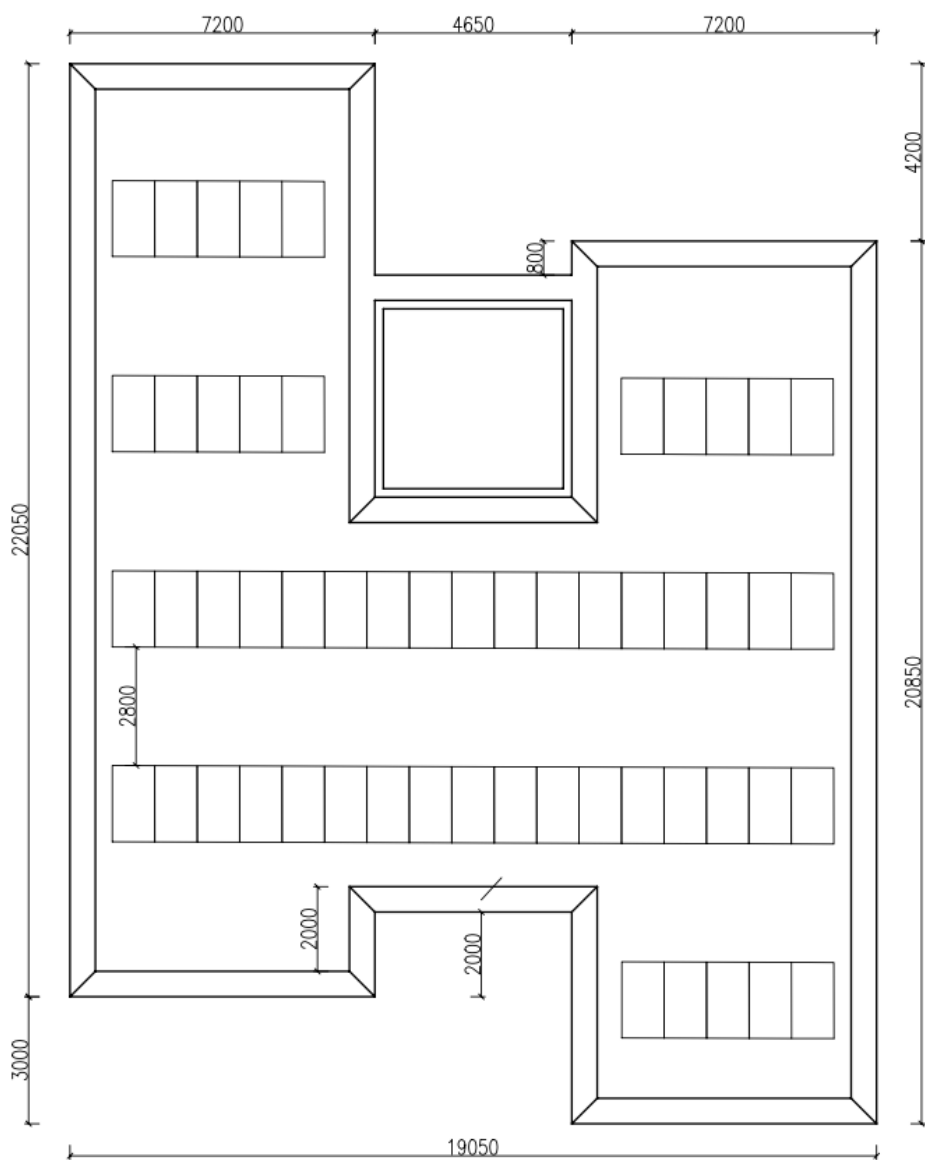
Celkové teplo dodané tepelnými čerpadly pokryje 97 % roční potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Zbylou potřebu tepla zajišťuje doplňkový elektrický kotel. Roční spotřeba elektrické energie tepelných čerpadel činí 43,98 MWh. Celková hodnota sezónního topného faktoru SPF je 3,1.

Fotovoltaický systém

Součástí třetí varianty je i fotovoltaický systém kompenzující nárůst elektrické energie spotřebované tepelnými čerpadly. V návrhu se uvažuje s monokrystalickými fotovoltaickými panely AS-6M144-HC-450Wp od firmy Amerisolar. Na využitelnou část střechy bytového domu bude instalováno 54 fotovoltaických panelů s orientací na jih a sklonem 30° viz obrázek 4.12. Roční produkce fotovoltaického systému činí 22,82 MWh.

Tabulka 4.24: Technické parametry FV panelu AS-6M144-HC-450Wp [52]

Technické parametry FV panelu	
Jmenovitý výkon [Wp]	450
Jmenovitá účinnost [%]	20,58
NOCT [°C]	43±2
Pohltivost modulu [-]	0,95
Teplotní součinitel výkonu [%/K]	-0,36
Součinitel k [-]	0,025
Relativní snížení účinnosti z 1000 W/m ² na 200 W/m ² [%]	-4
Počet instalovaných panelů [kus]	54
Plocha instalovaných panelů [m ²]	163



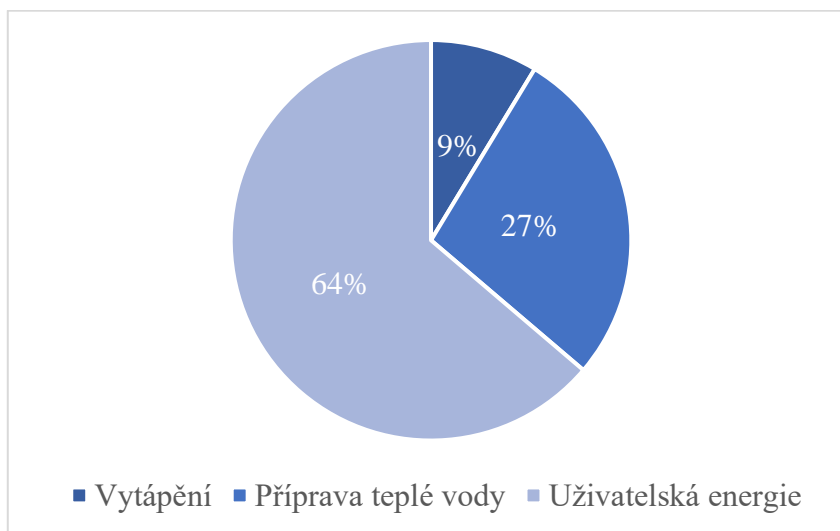
Obrázek 4.12: Umístění fotovoltaických panelů na střeše bytového domu

Potřeba energií

Díky vysokému sezonnímu topnému faktoru tepelných čerpadel a instalovanému fotovoltaickému systému má třetí varianta nejnižší potřebu energií ze všech variant. V důsledku změny systému vytápění, větrání a přípravy teplé vody vzrostla pomocná elektrická energie z původních 0,44 MWh/rok na 3,34 MWh/rok.

Tabulka 4.25: Přehled potřeb energií pro třetí variantu

Potřeba energie	Zemní plyn	Elektrická energie
Vytápění [MWh]	-	13,09
Příprava teplé vody [MWh]	-	30,76
Uživatelská energie [MWh]	-	72,48
Doplňkový zdroj tepla [MWh]	-	4,14
Fotovoltaika [MWh]	-	-22,82



Obrázek 4.13: Rozložení potřeb energií pro třetí variantu

Ekonomické vyhodnocení varianty

Ceny energií jsou převzaty od dodavatele energií Pražská energetika a.s. a jsou platné pro červen 2022. Pro elektrickou energii je uvažována distribuční sazba D57d.

Tabulka 4.26: Náklady na energie pro třetí variantu

Druh energie	Celková dodaná energie [MWh/rok]	Cena energie [Kč/MWh]	Náklady na energie [Kč/rok]
Zemní plyn	0	2 400	0
Elektrická energie	97,65	4 800	468 727

Ceny jednotlivých opatření a technologií jsou převzaty z webových stránek dodavatelů. Provozní náklady jsou určeny na základě počtu obsluhovaných zařízení.

Tabulka 4.27: Přehled nákladů pro třetí variantu

Opatření/technologie	Investiční náklady [Kč]	Provozní náklady [Kč]
Zateplení	1 330 442	0
Výplně otvorů	3 666 855	0
Větrání	490 000	15 000
Vytápění	0	0
Příprava teplé vody	154 980	0
Tepelná čerpadla	728 000	16 000
Fotovoltaika	411 264	24 000

Celkové investiční náklady pro třetí variantu činí 6 781 541 Kč, roční provozní náklady technologií jsou 55 000 Kč. Roční náklady na energie pro první rok provozu jsou 468 727 Kč.

4.4 Porovnání variant

Potřeba energií

U navržených variant je zřetelné, že s narůstajícím počtem energeticky úsporných opatření, klesá potřeba tepla na vytápění a na druhé straně roste potřeba tepla na přípravu teplé vody a potřeba elektrické energie. Největší vliv na snížení energetické náročnosti má zateplení obálky, výměna výplní otvorů a systém větrání s možností zpětného získávání tepla.

Tabulka 4.28: Porovnání potřeb energií jednotlivých variant

Potřeba energie	Zemní plyn	Elektrická energie
Původní stav [MWh]	253,66	148,92
Varianta 1 [MWh]	136,89	154,19
Varianta 2 [MWh]	147,66	72,37
Varianta 3 [MWh]	-	97,65

Ekonomické porovnání

V tabulce 4.29 jsou uvedeny investiční a průměrné roční provozní náklady jednotlivých variant. Největší podíl investičních nákladů ve všech třech variantách tvoří zateplení a výplně otvorů, v průměru přes 80 % investičních nákladů. Provozní náklady jsou ovlivněny mírou tepelně technických opatření a změnou zdroje tepla. Meziroční eskalace cen za energie se uvažuje 3 %. Meziroční eskalace nákladu pro provoz a údržbu technologických systémů se uvažuje 1 %. Celkové náklady jsou porovnávány pro prvních 15 let provozu, kdy se nepředpokládá s poruchou, nebo výměnou jednotlivých systémů.

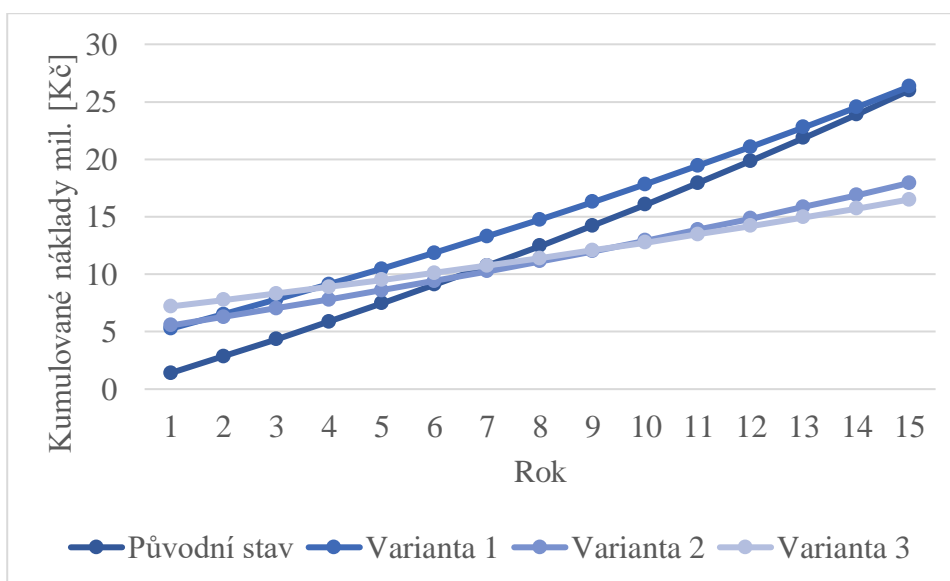
Tabulka 4.29: Investiční a provozní náklady pro PS a jednotlivé varianty

	Investiční náklady [Kč]	Průměrné roční provozní náklady [Kč]
Původní stav	0	1 732 399
Varianta 1	4 056 345	1 483 920
Varianta 2	4 829 285	873 619
Varianta 3	6 781 541	640 210

Pro porovnání variant je nutné stanovit kumulované náklady pro všechny varianty. Kumulované náklady za prvních 15 let provozu jsou vyneseny v tabulce 4.30.

Tabulka 4.30: Kumulované náklady jednotlivých variant

Rok	Kumulované náklady [Kč]			
	Původní stav	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
1	1 406 998	5 266 981	5 537 893	7 305 269
2	2 854 746	6 511 876	6 267 160	7 843 608
3	4 344 452	7 792 037	7 017 698	8 396 986
4	5 877 360	9 108 502	7 790 140	8 965 843
5	7 454 751	10 462 338	8 585 138	9 550 633
6	9 077 944	11 854 645	9 403 361	10 151 822
7	10 748 299	13 286 557	10 245 500	10 769 891
8	12 467 214	14 759 239	11 112 266	11 405 334
9	14 236 132	16 273 893	12 004 392	12 058 660
10	16 056 536	17 831 756	12 922 632	12 730 396
11	17 929 955	19 434 102	13 867 763	13 421 080
12	19 857 964	21 082 243	14 840 585	14 131 270
13	21 842 185	22 777 530	15 841 923	14 861 539
14	23 884 287	24 521 354	16 872 624	15 612 476
15	25 985 991	26 315 148	17 933 564	16 384 689



Obrázek 4.14: Graf kumulovaných nákladů

Z kumulovaných nákladů vynesných na obrázku 4.14 je zřejmé, že ekonomicky nejvýhodnější je druhá a třetí varianta. Při rozhodování o výběru varianty pro rekonstrukci bytového domu, bude hrát významnou roli výše investičních nákladů. Čím vyšší jsou investiční náklady, tím vyšší je riziko celkové investice. Pokud bude brát investor v potaz rizikovitost investice, tak je výhodnější druhá varianta, která má o cca 1,8 mil. Kč nižší investiční náklady. Pokud rizikovitost investice nehraje roli, tak je výhodnější třetí varianta.

4.5 Redukce emisí CO₂

Součástí diplomové práce je i návrh kombinace energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady pro zvolenou úroveň redukce emisí CO₂. Z toho důvodu byly navrženy čtyři různé varianty, které kombinují tepelně technická opatření a změny zdroje tepla navržených pro varianty v kapitole 4.3. Počet fotovoltaických panelů je pro každou variantu stanoven tak, aby daná varianta těsně splňovala stanovenou úroveň emisí CO₂. Pro diplomovou práci byla zvolena úroveň redukce emisí CO₂ 60 %. Navržené varianty jsou uvedeny v tabulce 4.31.

Tabulka 4.31: Hodnocené varianty

	Zateplení + výplně otvorů	Větrání	Zdroj tepla	Počet FV panelů
Varianta 1	$U_{rec,20}$	nucené s ZZT	plynový kotel	49
Varianta 2	$U_{rec,20}$	nucené s ZZT	tepelné čerpadlo	15
Varianta 3	$U_{pas,20}$	nucené s ZZT	plynový kotel	38
Varianta 4	$U_{pas,20}$	nucené s ZZT	tepelné čerpadlo	0

Množství vyprodukovaných emisí CO₂ m_{CO_2} [tCO₂/rok] se vypočítá jako

$$m_{CO_2} = \frac{Q_p}{\eta_i} \cdot F_{CO_2,i} \quad (4.9)$$

kde

Q_p	potřeba energie	[MWh/rok]
η_i	sezonní účinnosti zdroje tepla	[%]
$F_{CO_2,i}$	emisní faktor	[tCO ₂ /MWh]

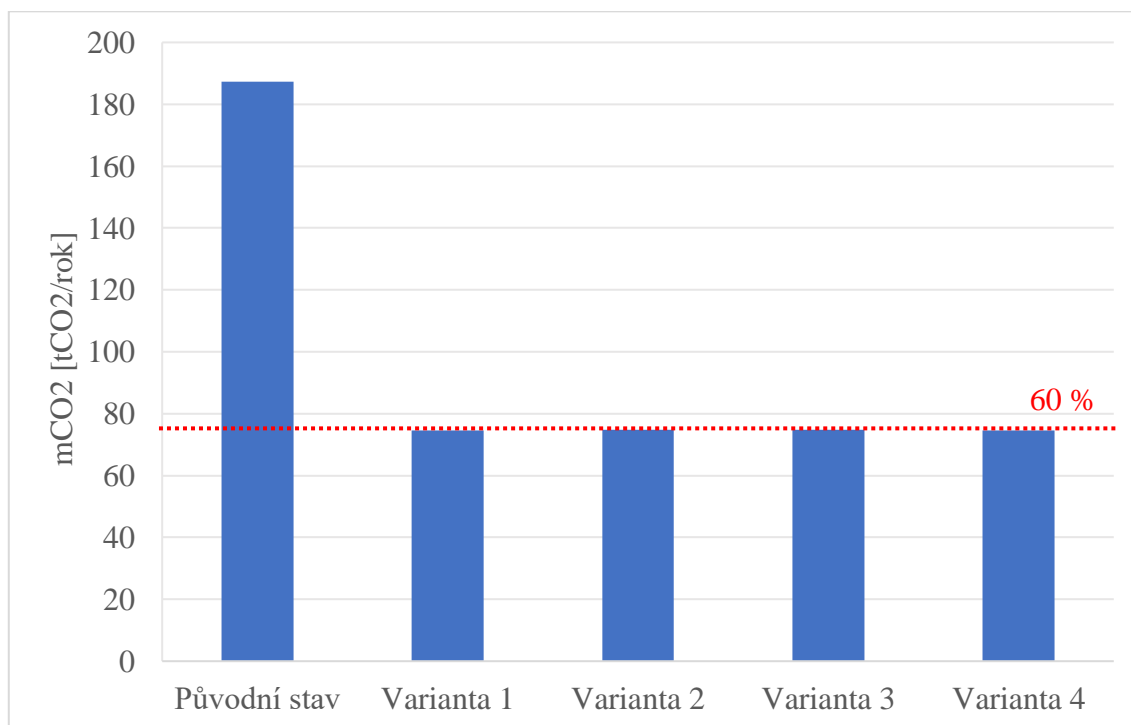
Pro každý zdroj tepla se uvažuje jiná provozní účinnost podle normy ČSN 73 0331-1. Emisní faktory pro různá paliva a energie jsou dané vyhláškou

č. 141/2021. Pro zemní plyn se emisní faktor uvažuje 0,2, pro elektrickou energii 0,86. [42] [53]

Původní stav bytové domu ročně vyprodukuje 187,28 tCO₂. Aby byla splněna podmínka redukce emisí tCO₂ o 60 %, nesmí jednotlivé varianty svým provozem vyprodukovat více než 74,91 tCO₂/rok

Tabulka 4.32: Roční produkce emisí CO₂

	Potřeba zemního plynu Q_p [MWh]	Potřeba elektrické energie Q_p [MWh]	Vyrobená elektrická energie FV systémem [MWh]	Celková produkce CO ₂ m_{CO_2} [tCO ₂ /rok]
PS	253,66	148,87	0	187,28
VAR 1	147,66	72,37	20,71	74,56
VAR 2	0	123,92	6,34	74,84
VAR 3	129,27	72,37	16,06	74,81
VAR 4	0	116,33	0	74,49



Obrázek 4.15: Grafické porovnání produkce emisí CO₂

Pro každou variantu byly stanoveny investiční náklady a průměrné roční provozní náklady. Roční eskalace cen energií se uvažuje 3 %, roční eskalace provozních nákladů pro technologické systémy se uvažuje 1 %.

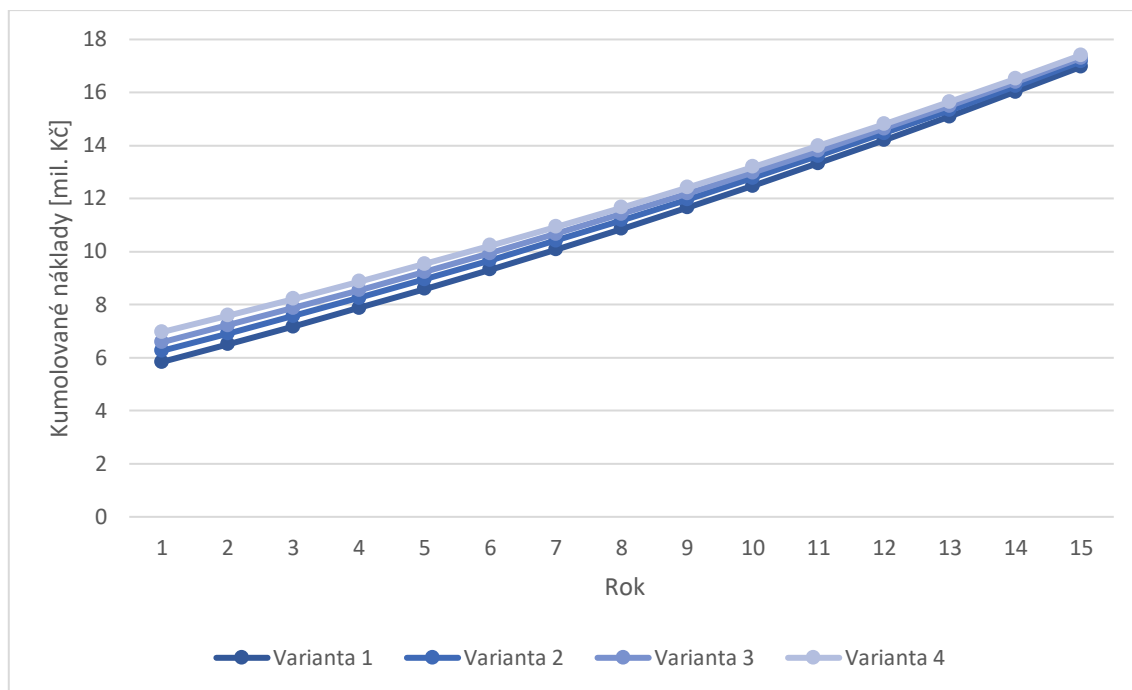
Tabulka 4.33: Investiční a provozní náklady pro navržené varianty

	Investiční náklady [Kč]	Průměrné roční provozní náklady [Kč]
Varianta 1	5 202 469	784 332
Varianta 2	5 634 565	769 036
Varianta 3	5 968 645	755 451
Varianta 4	6 370 277	735 747

Z investičních a ročních provozních nákladů se mohou stanovit kumulované náklady. Kumulované náklady jsou stanoveny pro prvních 15 let provozu, kdy se nepočítá s poruchou či výměnou jednotlivých technologických systémů.

Tabulka 4.34: Kumulované náklady pro prvních 15 let provozu

Rok	Kumulované náklady [Kč]			
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
1	5 842 297	6 262 191	6 585 180	6 967 826
2	6 500 239	6 907 545	7 219 130	7 582 681
3	7 176 828	7 571 149	7 871 008	8 215 356
4	7 872 614	8 253 540	8 541 341	8 866 379
5	8 588 160	8 955 268	9 230 671	9 536 293
6	9 324 049	9 676 904	9 939 557	10 225 660
7	10 080 879	10 419 032	10 668 574	10 935 056
8	10 859 268	11 182 257	11 418 316	11 665 076
9	11 659 851	11 967 199	12 189 392	12 416 332
10	12 483 281	12 774 498	12 982 431	13 189 454
11	13 330 234	13 604 813	13 798 079	13 985 091
12	14 201 401	14 458 823	14 637 004	14 803 913
13	15 097 499	15 337 226	15 499 892	15 646 608
14	16 019 264	16 240 741	16 387 450	16 513 885
15	16 967 451	17 170 109	17 300 405	17 406 475



Obrázek 4.16: Graf kumulovaných nákladů pro prvních 15 let provozu

Z hodnot kumulovaných nákladů v tabulce 4.34 vyplývá, že varianta s nejnižšími celkovými náklady je varianta první, což je varianta kombinující doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{\text{rec},20}$ pro zateplení a výplně otvorů, nucené větrání s rekuperací, kondenzační plynové kotle a 49 fotovoltaickými panely.

5 Závěr

Diplomová práce měla stanovené dva hlavní cíle. Prvním cílem bylo provedení analýzy různých variant rekonstrukce zadaného bytového domu. Pro analýzu byly navrženy tři varianty rekonstrukce, kombinující různé úrovně tepelně technických opatření s rozdílnými zdroji tepla a využitím obnovitelných zdrojů. První varianta uvažovala zateplení obálky budovy a výměnu výplní otvorů splňující doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$. Zároveň byl navržen systém nuceného centrálního podtlakového větrání bez možnosti zpětného získávání tepla. Druhá varianta uvažovala stejnou úroveň zateplení a výplní otvorů jako varianta první. Větrání bylo navrženo jako nucené rovnotlaké se zpětným získáváním tepla. Jako zdroj tepla byly navrženy dva kondenzační plynové kotle, zajišťující centrální vytápění i centrální přípravu teplé vody. Pro třetí variantu bylo navrženo zateplení a výplně otvorů odpovídající horním doporučeným hodnotám součinitele prostupu tepla pro pasivní domy $U_{pas,20}$. Systém větrání byl navržen shodně s druhou variantou. Vytápění a příprava teplé vody byly realizovány tepelnými čerpadly typu vzduch-voda. Součástí třetí varianty byl i fotovoltaický systém kompenzující nárůst elektrické energie pro pohon tepelných čerpadel. Pro každou variantu byly stanoveny potřeby energií a ekonomické vyhodnocení, ze kterého vyplynulo, že z pohledu kumulovaných nákladů stanovených pro prvních 15 let provozu je nejvýhodnější třetí varianta.

Druhým cílem diplomové práce bylo navrhnout kombinaci energeticky úsporných opatření s nejnižšími celkovými náklady pro 60% úroveň redukce emisí CO₂. Porovnány byly čtyři navržené varianty energeticky úsporných opatření. Roční produkce emisí CO₂ u původního stavu činila 187,28 tCO₂. Aby byla dodržena 60% úroveň redukce emisí, nesměly navržené varianty vyprodukovat více než 74,91 tCO₂/rok, což všechny splnily. Nejnižší celkové kumulované náklady vyšly pro první navrženou variantu kombinující doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{rec,20}$ pro zateplení a výplně otvorů, nucené větrání s rekuperací, kondenzační plynové kotle a 49 fotovoltaickými panely.

Literatura

- [1] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií a související předpisy. Parlament České republiky, 2000.
- [2] Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2020.
- [3] Energetická náročnost budov. *SEI – Státní energetická inspekce* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.cr-sei.cz/?portofolio=kontrolujeme-penb>
- [4] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [5] Přísnější požadavky na výstavbu nových budov od 1. ledna 2022. *Časopis stavebnictví* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-prisnejsi-pozadavky-na-vystavbu-novych-budov-od-1.-ledna-2022.html>
- [6] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. Praha: Grada Publishing, 2009. Stavitel: Nízkoenergetické domy. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [7] Passive house requirements. *Passiv.de* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Nulové, téměř nulové a plusové budovy v českém právním kontextu*, Stavebnictví č. 1–2, 2018.
- [9] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a statní zkušebnictví, 2011, 56 s. Třídící znak 730540.
- [10] Novostavby musí být od ledna úspornější. *Pasivní domy* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/novostavby-musi-byt-od-ledna-uspornější-chytrý-návrh-majitelum-use-tri-desitky-tisic-korun-na-energiich-rocne/t4933>
- [11] NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga group, 2009. ISBN 978-80-8076-077-9.
- [12] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.

- [13] Umístění, tvar a rozvržení místností pasivního domu. *TZB-info* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13877-umisteni-tvar-a-rozvrzeni-mistnosti-pasivniho-domu>
- [14] STEMPEL, Ulrich E. *Zateplení a rekonstrukce rodinného domu*. Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 978-80-247-4808-5.
- [15] RYKL, Radoš. *Energeticky nulový rodinný dům* [online]. Praha, 2020 [cit. 2022-06-20]. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/89801/F2-DP-2020-Rykl-Rados-Diplomova%20prace%20text%20Rykl.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [16] Jaké je nejvýhodnější tloušťka izolace pro zateplení. *Nazeleno* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/jaka-je-nejvyhodnejsi-tloustka-izolace-pro-zatepleni.aspx>
- [17] Dvojsklo nebo trojsklo. *Oknoland* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://oknoland.cz/dvojsklo-nebo-trojsklo/>
- [18] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách*. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-86176-81-9.
- [19] BELICA, Petr. *Průvodce energetickými úsporami a obnovitelnými zdroji energie*. Valašské Meziříčí: Regionální energetické centrum ve spolupráci s TG Tisk Lanškroun, 2006. ISBN 80-903680-1-8.
- [20] Jak funguje podlahový konvektor. *Chytré bydlení* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.chytre-bydleni.cz/dum/jak-funguje-podlahovy-konvektor>
- [21] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [22] ADAMOVSKEJ Daniel. *Nucené větrání, teplovzdušné vytápění. Větrání obytných budov*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2011. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tb2/prednasky/125tb2-03.pdf>
- [23] Jak rekuperační jednotky hospodaří s odpadním teplem. *Ventilátory* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/jak-rekuperacni-jednotky-hospodari-s-odpadnim-teplem-x31259>

- [24] Ohřev vody aneb příprava teplé vody III díl. *TZB-info* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17781-ohrev-vody-aneb-priprava-teple-vody-iii-dil>
- [25] Jak funguje soustava soustava centrálního zásobování teplem v ČR. *O energetice* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
- [26] MATUŠKA, Tomáš. *Úvod do zásobování teplem* [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2017. Dostupné z: <https://docplayer.cz/21382912-1-97-uvod-do-zasobovani-teplem.html>
- [27] VYORALOVÁ, Zuzana. *Technická zařízení budov a infrastruktura sídel I*. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06095-7.
- [28] Účinnost a výkon plynového kotle. *Viessmann* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/ucinnost-a-vykon-plynoveho-kotle.html>
- [29] MATUŠKA, Tomáš. *Tepelná čerpadla - základy*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2020. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [30] Tepelné čerpadlo – jak funguje. *Estav* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3184.tepelne-cerpadlo-jak-funguje>
- [31] MATUŠKA, Tomáš. *Nízkopotencialní zdroje pro tepelná čerpadla*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2020. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P7-tepelna_cerpadla_NPT.pdf
- [32] MATUŠKA, Tomáš. *Navrhování a bilancování tepelných čerpadel*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2020. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P6-tepelna_cerpadla_navrhovani_bilancovani.pdf
- [33] Teplené soustavy v budovách – Navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2011, 44 s. Třídící znak 060404

- [34] Fotovoltaická elektrárna – princip funkce a součásti. *O energetice* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [35] Solární energie pro rodinný dům – princip a funkce fotovoltaických elektráren. *Estav* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6444.solarni-energie-pro-rodinny-dum-princip-funkce-fotovoltaicky-ch-eletraren>
- [36] Jak funguje střešní fotovoltaická elektrárna. *Solární experti* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.solarniexpert.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>
- [37] MATUŠKA, Tomáš. *Fotovoltaiika – principy a technologie*, [Přednáška, online]. Praha: ČVUT, 2020. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/AZE2-P6_FV_technologie.pdf
- [38] ČSN EN ISO 52016-1. Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony – Část 1: Výpočtové postupy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019, 200 s. Třídící znak 730336.
- [39] TNI 73 0330. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění – Bytové domy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s. Třídící znak 730330.
- [40] ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 98 s. Třídící znak 060206.
- [41] ČSN EN 16798-1. Energetická náročnost budov – Větrání budov – Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky – Modul M1-6. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020, 64 s. Třídící znak 127027.
- [42] ČSN 73 0331-1. Energetické hodnocení soustavy s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 28 s. Třídící znak 730327.
- [43] TNI 73 0327. Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 56 s. Třídící znak 730327.

- [44] TNI 73 0351. Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 28 s. Třídící znak 730351.
- [45] Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosu fotovoltaických instalací. *TZB-info* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednodusen-y-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [46] Konstrukční soustava OP 1.11. *Panelaky.info* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <http://panelaky.info/op1-11/>
- [47] P 1.11. *Panelové domy* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://panelovedomy.ekowatt.cz/p-1-11.html>
- [48] Orientační hodnoty spotřeby elektřiny pro domácí spotřebiče. *TZB-info* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/facility-management/113456-orientacni-hodnoty-spotreby-elektriny-pro-domaci-spotrebice>
- [49] Centrální podtlakové větrání (hybridní větrání) v panelovém domě. Rekuperace či hybrid? *ZTB-info.cz* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/7479-centralni-podtlakove-vetrani-hybridni-vetrani-v-panelovem-dome-rekuperace-ci-hybrid>
- [50] Lokální či centrální rekuperace tepla v panelovém domě? In: *ZTB-info.cz* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/7384-lokalni-ci-centralni-rekuperace-tepla-v-panelovem-dome>
- [51] Tepelné čerpadlo EcoAir 633m, *Regulus* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-cerpadlo-ecoair-622m>
- [52] FVE panel AMERI SOLAR AS-6M144-HC-450Wp. *Argos* [online]. [cit. 2022-06-26]. Dostupné z: <https://argos.cz/produkty/detail/6737601126-fve-panel-ameri-solar-as-6m144-hc-450wp>
- [53] Vyhláška č. 141/2021 Sb. Vyhláška o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2021.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Schéma pasivního domu [7]	14
Obrázek 2.2: Desatero zásad návrhu budov s nízkou spotřebou energie [10]	16
Obrázek 2.3: Ideální umístění budovy na pozemku [13]	17
Obrázek 2.4: Závislost U na tloušťce izolace [15]	19
Obrázek 2.5: Řez okny s trojitým a dvojitým zasklením [17]	20
Obrázek 2.6: Rekuperační systém [23]	23
Obrázek 2.7: Schéma tepelné sítě pro CZT [26]	25
Obrázek 2.8: Schéma tepelného čerpadla [30]	27
Obrázek 2.9: Zjednodušený princip funkce fotovoltaického článku [35]	29
Obrázek 2.10: Schéma zapojení fotovoltaické elektrárny [36]	30
Obrázek 4.1: Bodová sekce 3453 B [46]	50
Obrázek 4.2: Půdorys typického podlaží 3453 B [46]	51
Obrázek 4.3: Grafické rozložení tepelných zisků v průběhu roku	54
Obrázek 4.4: Grafické znázornění měsíčních potřeb tepla na přípravu teplé vody	57
Obrázek 4.5: Grafické rozložení potřeby elektrické energie v průběhu roku	59
Obrázek 4.6: Rozložení potřeb energií pro původní stav	60
Obrázek 4.7: Centrální podtlakový systém nuceného větrání [49]	63
Obrázek 4.8: Rozložení potřeb energií pro první variantu	64
Obrázek 4.9: Vzduchotechnický systém s centrální rekuperací [50]	66
Obrázek 4.10: Graf křivek dodávky a odběru tepla	68
Obrázek 4.11: Rozložení potřeb energií pro druhou variantu	69
Obrázek 4.12: Umístění fotovoltaických panelů na střeše bytového domu	74
Obrázek 4.13: Rozložení potřeb energií pro třetí variantu	75
Obrázek 4.14: Graf kumulovaných nákladů	78
Obrázek 4.15: Grafické porovnání produkce emisí CO ₂	80
Obrázek 4.16: Graf kumulovaných nákladů pro prvních 15 let provozu	82

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Snížení hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů pro NZEB II [4].....	13
Tabulka 2.2: Požadavky pro pasivní domy [6]	13
Tabulka 2.3: Základní požadavky na energeticky nulové budovy podle ČSN 73 0540-2 [9].....	15
Tabulka 2.4: Požadavky na součinitele prostupu tepla dané normou ČSN 73 0540-2 [9]	18
Tabulka 2.5: Doporučené přírázky součinitele prostupu tepla v důsledku tepelných mostů dle ČSN 73 0540-2 [9]	19
Tabulka 2.6: Normové hodnoty SPF pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v renovacích [33]	29
Tabulka 3.1: Orientační hodnoty měrné roční spotřeby elektrické energie na osvětlení	39
Tabulka 3.2: Číselník podílu spotřeby elektrické energie na osvětlení fL, J v j-tém měsíci	39
Tabulka 3.3: Základní hodnoty roční spotřeby pomocné elektrické energie.....	40
Tabulka 4.1: Hodnoty tepelných odporů prostupem jednotlivými konstrukcemi	51
Tabulka 4.2: Hodnoty deklarovaných součinitelů prostupu tepla jednotlivými prvky... ..	51
Tabulka 4.3: Výsledné měrné ztráty tepla pro původní stav	52
Tabulka 4.4: Měsíční ztráty tepla pro původní stav.....	53
Tabulka 4.5: Měsíční tepelné zisky pro původní stav	54
Tabulka 4.6: Měsíční hodnoty potřeby tepla na vytápění pro původní stav	55
Tabulka 4.7: Potřeba tepla na přípravu teplé vody pro původní stav	56
Tabulka 4.8: Potřeba elektrické energie na umělé osvětlení	57
Tabulka 4.9: Potřeba elektrické energie pro elektrické spotřebiče.....	58
Tabulka 4.10: Potřeba elektrické energie	59
Tabulka 4.11: Celkový přehled potřeb energií pro původní stav	60
Tabulka 4.12: Hodnocené varianty	61
Tabulka 4.13: Doporučené součinitele prostupu tepla pro první variantu.....	62
Tabulka 4.14: Přehled potřeb energií pro první variantu.....	64
Tabulka 4.15: Náklady na energie pro první variantu	65
Tabulka 4.16: Přehled nákladů pro první variantu	65
Tabulka 4.17: Přehled potřeb energií pro druhou variantu.....	69
Tabulka 4.18: Náklady na energie pro druhou variantu	70

Tabulka 4.19: Přehled nákladů pro druhou variantu.....	70
Tabulka 4.20.: Doporučené součinitele prostupu tepla pro třetí variantu.....	71
Tabulka 4.21: Technické údaje tepelného čerpadla Regulus EcoAir 622M [51].....	72
Tabulka 4.22: Výkonové parametry tepelného čerpadla Regulus EcoAir 622M [51] ...	72
Tabulka 4.23: Roční spotřeba elektrické energie tepelných čerpadel.....	73
Tabulka 4.24: Technické parametry FV panelu AS-6M144-HC-450Wp [52].....	74
Tabulka 4.25: Přehled potřeb energií pro třetí variantu.....	75
Tabulka 4.26: Náklady na energie pro třetí variantu	76
Tabulka 4.27: Přehled nákladů pro třetí variantu	76
Tabulka 4.28: Porovnání potřeb energií jednotlivých variant	77
Tabulka 4.29: Investiční a provozní náklady pro PS a jednotlivé varianty	77
Tabulka 4.30: Kumulované náklady jednotlivých variant.....	78
Tabulka 4.31: Hodnocené varianty	79
Tabulka 4.32: Roční produkce emisí CO ₂	80
Tabulka 4.33: Investiční a provozní náklady pro navržené varianty	81
Tabulka 4.34: Kumulované náklady pro prvních 15 let provozu	81