

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

REKONSTRUKCE SOUBORU BUDOV

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PETR STANOŠEK

5 – IB – 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Stanošek** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **321450**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Rekonstrukce souboru budov

Název diplomové práce anglicky:

Retrofit of Building Cluster

Pokyny pro vypracování:

Proveďte analýzu rekonstrukce souboru bytových domů na sídlišti Barrandov. Uvažujte: a) soubor budov napojené na centralizované zásobování teplem a b) budovy s decentralními zdroji tepla (plynové kotle, tepelná čerpadla). Analyzujte vliv zateplení na ekonomické parametry rekonstrukce.

Seznam doporučené literatury:

- 1) TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup, ÚNMZ 2014.
- 2) TNI 73 0351 Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly - Zjednodušený výpočtový postup, ÚNMZ 2014
- 3) Podklady ke studiu předmětu Základy alternativních zdrojů energie, Alternativní zdroje energie, Základy zásobování teplem

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: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

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

prof. Ing. **Michael Valášek, DrSc.**
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.

30.4.2020
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

5.1.2021

Souhrn

V této diplomové práci posuzuji vhodnost rozsahu tepelně technických opatření na souboru budov a porovnávám s možností využití CZT, plynové kotelny či tepelných čerpadel jako zdroj tepla. Zohledňuji také finanční náročnost jednotlivých opatření pro úsporu energií.

Summary

In this diploma thesis I assess the suitability of the range of thermal technical measures on a set of buildings and compare with the possibility of using DH. I also take into account the financial demands of individual energy saving measures.

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

V Praze 08. 01. 2021

Petr Stanošek

Obsah

Soupis značení.....	3
1. ÚVOD.....	7
1.1. Postup řešení a očekávané výsledky.....	7
1.2. Centrální zásobování teplem (CZT)	8
1.2.1. Způsoby výroby tepla – Zdroje.....	9
1.2.2. Distribuce tepla.....	9
1.2.4. Měření odebraného tepla.....	11
1.2.5. Cena tepla z CZT	11
1.2.6. Legislativa.....	13
1.3. Stávající stav souboru budov	14
<i>Vytápění</i>	15
<i>Příprava teplé vody</i>	15
<i>Větrání</i>	15
2. TEORETICKO-METODICKÁ ČÁST	17
2.1. Vyhodnocení stávajícího stavu.....	17
2.1.1. Návrhový tepelný výkon.....	17
2.1.1.3. Návrhový tepelný výkon větráním	21
2.1.1.3.1. Stanovení měrné ztráty větráním	22
2.1.2. Bilance potřeb	24
2.1.2.1. Tepelné zisky	24
2.1.2.2. Vnitřní zisky	24
2.1.2.3. Solární zisky.....	25
2.1.3. Potřeba tepla na vytápění (VYT)	27
2.1.3.1. Tepelná ztráta	27
2.1.3.2. Potřeba tepla na vytápění.....	27
2.1.4. Potřeba tepla na přípravu teplé vody (TV).....	29
2.1.5. Spotřeba elektrické energie (EE).....	31
2.1.6. CZT – Tepelné ztráty distribucí.....	32
2.1.6.1. Návrh teplovodní sítě.....	32
2.1.6.2. Tepelná ztráta distribuční sítě.....	34
2.2. Navrhovaná tepelně technická opatření.....	36
2.2.1. Varianta $U_{N,20}$ - Požadované hodnoty	36
2.2.2. Varianta $U_{rec,20}$ - Doporučené hodnoty	37
2.2.3. Varianta $U_{pas,20}$ – Doporučené pasivní hodnoty	37

2.2.4.	Větrání.....	37
2.2.5.	Vyhodnocení tepelně technických opatření	39
2.3.	Plynová kotelna	39
2.3.1.	Koncepce vytápění	39
	Volba teplotního spádu pro plynovou kotelnu	39
2.3.2.	Koncepce přípravy teplé vody.....	39
2.3.2.1.	Návrh akumulčního zásobníku	40
2.3.2.2.	Návrh zdroje pro přípravu teplé vody	41
2.3.3.	Návrh zdroje pro vytápění.....	42
2.3.4.	Návrh plynové kotelny	43
	Roční potřeba zemního plynu	44
	Větrání kotelny.....	45
2.4.	Tepelná čerpadla.....	47
2.4.1.	Koncepce vytápění TČ	47
	Volba teplotního spádu pro tepelné čerpadlo	47
2.4.2.	Koncepce přípravy teplé vody TČ.....	47
2.4.3.	Návrh zdroje.....	47
	Výpočtový postup	49
2.4.4.	Vyhodnocení variant s tepelným čerpadlem	53
3.	ANALYTICKÁ ČÁST	54
	Ekonomické vyhodnocení	55
4.	ZÁVĚR	58
	Zdroje	60
	Citace.....	60
	Přílohy	61
	Soupis obrázků	61
	Soupis tabulek	62
	Soupis grafů.....	63

Soupis značení

Značka	Název	Jednotka
H	Měrná tepelná ztráta budovy	[W/K]
H_T	Měrná ztráta prostupem	[W/K]
$H_{T,e}$	Měrná ztráta prostupem obálkou budovy	[W/K]
$H_{T,g}$	Měrná ztráta prostupem zeminou	[W/K]
H_V	Měrná ztráta větráním	[W/K]
A_k	Plocha stavební části	[m ²]
λ_n	Součinitel tepelné vodivosti vrstvy	[W/m.K]
R	Tepelný odpor prostupem	[m ² .K/W]
U_i	Součinitel prostupu tepla i-té konstrukce	[W/m ² K]
$U_{k,i}$	Deklarovaný součinitel prostupu tepla i-té konstrukce	[W/m ² K]
$U_{tb,i}$	Přirážka zohledňující tepelné vazby a mosty	[W/m ² K]
$\phi_{HL,b}$	Návrhový tepelný výkon	[W]
$\phi_{T,b}$	Návrhový tepelný výkon prostupem	[W]
$\phi_{V,b}$	Návrhový tepelný výkon větráním	[W]
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok prostupem do vnějšího prostředí €	[W/K]
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok prostupem přes nevytápěný prostor (a) vnějšího prostředí	[W/K]
Θ_{int}	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
Θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² .K]
$f_{U,k}$	Opravný součinitel zohledňující povětrnostní vlivy a stavební části, které nebyly uvažovány při výpočtu U_k , pro ČR=1	[-]
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný součinitel	[-]
R_{si}	Odpor při přestupu tepla na straně interiéru	[m ² .K/W]
R_{se}	Odpor při přestupu tepla na straně exteriéru	[m ² .K/W]
R_k	Odpor konstrukce	[m ² .K/W]
S_n	Tloušťka vrstvy	[m]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (i) do zeminy (g)	[W/K]
A_k	Plocha konstrukce ve styku se zeminou	[m ²]
$U_{equip,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukcí (k) ve styku se zeminou	[W/m ² .K]
$f_{ig,k}$	Opravný teplotní součinitel	[-]
$f_{GW,k}$	Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$f_{\Theta ann}$	Opravný činitel zohledňující vliv změny teploty v průběhu roku	[-]
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (i) přes nevytápěný prostor (a) do vnějšího prostředí (e)	[W/K]
A_k	Plocha konstrukce, přes kterou tepelný tok proudí	[m ²]
$f_{iae,k}$	Teplotní opravný součinitel zahrnující rozdíl teplot mezi nevytápěným prostorem a vnější výpočtovou teplotou	[-]
$\Theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěné části	[°C]
$\Theta_{iae,k}$	Vnitřní výpočtová teplota nevytápěné části	[°C]
Θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\phi_{V,b}$	Návrhový tepelný výkon větráním budovy	[W]

V	Průtok vzduchu v objektu	[m ³ /h]
$\rho.c$	Tepelná kapacita vzduchu = 0,34	[Wh/m ³ .K]
V_f	Průtok vzduchu nuceným větráním	[m ³ /h]
η_{ZZT}	Účinnost výměníku zpětného získávání tepla	[-]
V_x	Průtok vzduchu infiltrací	[m ³ /h]
k	Počet osob	[ks]
$0,7$	Koeficient přítomnosti osob	[-]
c	Koeficient počtu osob na bytovou jednotku	[-]
b_j	Počet bytových jednotek v objektu	[ks]
$0,8$	Procento pro vnitřní objem budovy	[-]
V_e	Vnější objem budovy	[m ³]
n_{50}	Intenzita výměny vzduchu – pro starší budovy = 4,5	[h ⁻¹]
e	Součinitel větrné expozice – pro bytové domy = 0,07	[-]
Q_G	Celkové tepelné zisky	[Wh]
Q_i	Vnitřní zisky	[Wh]
Q_s	Solární zisky	[Wh]
t	Časový úsek, pro který je výpočet veden	[h]
$I_{s,j}$	Úhrn slunečního záření z dané orientace (j)	[kW/m ²]
$A_{s,n}$	Účinná plocha zasklení	[m ²]
A_s	Účinná plocha zasklení	[m ²]
A	Plocha otvoru (dle dokumentace)	[m ²]
F_S	Korekční činitel trvalého stínění	[-]
F_C	Korekční činitel clonění	[-]
F_F	Korekční činitel rámu	[-]
g	Celková propustnost slunečního záření	[-]
$Q_{L,m}$	Ztráta tepla v daném měsíci	[Wh]
$H_{T,b}$	Měrný tepelný tok prostupem	[W/K]
$H_{V,b}$	Měrný tepelný tok větráním	[W/K]
Θ_{int}	Vnitřní požadovaná teplota	[°C]
$\Theta_{e,m}$	Průměrná měsíční venkovní teplota	[°C]
t	Délka časového úseku (měsíc)	[h]
Q_H	Roční potřeba energie na vytápění	[W/h]
$Q_{H,m}$	Potřeba energie na vytápění v daném měsíci	[W/h]
$Q_{L,m}$	Ztráta tepla v daném měsíci	[Wh]
$Q_{G,m}$	Tepelný zisk v daném měsíci	[W/h]
η	Stupeň využití solárních zisků	[W]
C	Vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
H	Celkový měrný tepelný tok budovou	[W/K]
A_t	Vnitřní podlahová plocha všech podlaží	[m ²]
a	Numerický parametr závislý na časové konstantě	[-]
a_0	Numerický parametr (pro měsíční interval = 1)	[-]
T	Časová konstanta	[h]
T_0	Referenční časová konstanta	[h]
$Q_{w,d}$	Denní potřeba energie pro přípravu teplé vody	[kW/h]
$V_{w,d}$	Objem teplé vody za den	[m ³ /d]
ρ_w	Hustota vody	[kg/m ³]
c_w	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$\Theta_{w,p}$	Teplota odebírané vody	[°C]

$\Theta_{w,c}$	Teplota studené vody	[°C]
$V_{w,d}$	Objem vody za den	[l/d]
$V_{w,f,d}$	Objem teplé vody na osobu za den	[l/d]
f	Počet osob	[ks]
d_m	Počet dní daného měsíce	[d]
b_j	Počet bytových jednotek	[ks]
E_u	Roční spotřeba EE domácnosti	[kW/h]
$E_{aux,m}$	Měsíční spotřeba pomocné EE	[kW/h]
$E_{app,m}$	Měsíční statistická průměrná spotřeba EE domácnosti	[kW/h]
E_{app}	Roční spotřeba EE domácnosti	[kW/h]
$E_{app,m}$	Měsíční statistická průměrná spotřeba EE domácnosti	[kW/h]
f	Činitel podílu spotřeby EE v daném měsíci	[-]
b_j	Počet bytových jednotek v objektu	[ks]
M_W	Návrhový hmotnostní průtok	[kg/s]
k_z	Součinitel ztrát v síti (1,02)	[-]
T_i	Teplota teplotonosného média	[°C]
T_e	Teplota ve žlabovém kanále	[°C]
r_1	Poloměr ke vnitřní hraně trubky	[m]
r_2	Poloměr ke vnější hraně trubky	[m]
r_3	Poloměr ke vnější hraně izolace	[m]
h_{ke}	Součinitel přestupu tepla	[W/m ² .K]
L	Délka úseku	[m]
ϕ_{CZT}	Návrhový výkon zdroje	[W]
$\phi_{HL,CELK}$	Přípojný výkon	[W]
P_{CELK}	Celková ztráta distribucí	[W]
$\phi_{TV,N}$	Návrhový tepelný výkon pro ohřev TV	[W]
$Q_{w,p,d,z}$	Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody včetně ztrát	[kWh/d]
τ	Doba nabíjení	[h]
V_S	Přívod vzduchu pro spalování	[m ³ /h]
B_H	Hodinová spotřeba zemního plynu	[m ³ /h]
V_{Sl}	Skutečné množství vzduchu pro spalování	[m ³ /h]
λ	Přebytek vzduchu pro spalování	[-]
V_{min}	Minimální teoretické množství vzduchu pro spalování ZP	[m ³ /h]
t	Teplota vzduchu pro skutečné podmínky	[°C]
p	Výpočtový tlak vzduchu	[kPa]
$Q_{M,i}$	Hodinová potřeba tepla	[Wh]
η	Účinnost zdroje	[-]
H	Výhřevnost zemního plynu	[MJ/m ³]
V_i	Množství vzduchu pro odvod škodlivin	[m ³ /h]
I	Intenzita větrání kotelný	[h ⁻¹]
O	Objem vzduchu v kotelně	[m ³]
Q_K	Celkový výkon kotlů	[W]
Δt	Rozdíl teplot vzduchu	[K]
S	Plocha větracího otvoru	[m ²]
V_{max}	Maximální množství větracího vzduchu	[m ³ /h]
v	rychlost větracího vzduchu	[m/s]
Q_p	Přípojný výkon	[W/h]
t_{w1}	Teplota vody na vstupu	[°C]

t_{w2}	Teplota vody na vratném potrubí	[°C]
d	Průměr potrubí	[m]
w	Ekonomická rychlost vody je 0,5 až 2,0	[m/s]
ΔP	Tepelná ztráta přívodního a vratného potrubí	[W/m]
G	Tepelná vodivost potrubí v zemině	[W/m.K]
t_z	Průměrná teplota zeminy	[°C]
R_p	Tepelný odpor izolovaného potrubí	[m.K/W]
R_z	Tepelný odpor zeminy	[m.K/W]
R_t	Odpor teplotní výměny mezi přívodním a vratným potrubím	[m.K/W]
λ_z	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W/m.K]
H	Hloubka uložení k horní hraně potrubí	[m]
A	Osová vzdálenost přívodního a vratného potrubí	[m]
0,0685	Konstanta zohledňující přechodový odpor zemského povrchu	[m ² .K/W]
$Q_{p,VYT,j}$	Celková j-(měsíční) potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{p,TV,j}$	Celková j-(měsíční) potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
τ_j	Doba trvání výpočtového teplotního intervalu	[h]
$t_{em,j}$	Střední teplota v daném intervalu j	[°C]
$f_{VYT,j}$	Měsíční podíl potřeby tepla na vytápění	[-]
$f_{TV,j}$	Měsíční podíl potřeby tepla na přípravu teplé vody	[-]
t_{v1}	Teplota na vstupu do výparníku	[°C]
t_{K2}	Teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]
$t_{w1,N}$	Návrhová teplota otopné vody na přívodu	[°C]
$t_{w2,N}$	Návrhová teplota vratné otopné vody	[°C]
$t_{e,N}$	Výpočtová venkovní teplota	[°C]
t_i	Vnitřní teplota	[°C]
m	Teplotní exponent otopných ploch	[-]

1. ÚVOD

Systém zásobování teplem (SZT) je možností ekologického i hospodárného způsobu vytápění, má dlouholetou historii nejen v České republice, ale i ve vyspělých západních zemích, jako je Rakousko, Německo, Dánsko či Finsko. Centrální zásobování teplem (CZT), někdy také označované jako dálkové vytápění, nebo síť dálkového tepla, je systém dodávek tepla pro vytápění a ohřev teplé vody, kdy je teplo vyráběno centrálně ve vzdáleném zdroji a následně rozváděno teplotními sítěmi odběratelům do městských čtvrtí, sídlišť a bytových domů. V posledních dvou dekadách jsou stálým a vysoce aktuálním tématem možnosti a dopady decentralizace, tzn. odpojení především bytových domů od centrálního zásobování teplem, vyvolané a související s potřebou nezávislosti vlastního rozhodování a očekáváním efektivnějšího vynakládání provozních nákladů na vytápění a přípravu teplé vody. Právě úspora provozních nákladů a přímá kontrola nad spotřebou jednotlivých médií a energií se pro vlastníky bytových domů, zpravidla společenství vlastníků jednotek (SVJ) či bytová družstva, jeví jako jeden z hlavních ukazatelů přínosu odpojení od centrálního zásobování teplem. Nahrazování centrálního zásobování teplem v bytových domech individuálními tepelnými zdroji v podobě plynových kotlen, solárních systémů či tepelných čerpadel, a to i přes nesporné výhody CZT, jež je komplexní službou s nepřetržitým monitoringem provozu a kvality dodávky tepla a teplé užitkové vody prostřednictvím centrálního dispečinku, včetně pohotovostní služby pro odstranění závad či havarijních stavů, zajišťování servisu, předepsaných revizí zařízení či minimalizaci ekologických dopadů na životní prostředí apod., je rostoucím problémem pro teplotní společnosti a hrozí tak rozpad vybudovaných tepelných sítí v daných lokalitách. Proti sobě tak stojí dvě strany, z nichž každá má opodstatněné důvody pro svá tvrzení.

Vybudování nového tepelného zdroje je často doprovázeno dalšími tepelně technickými opatřeními, zejména u nezateplených bytových domů starší zástavby. Každý projekt decentralizace je tedy nutno posuzovat individuálně, a to v závislosti na konkrétních, reálných možnostech (místních, prostorových), jakož i na požadavcích investora. Při zpracování ekonomické bilance je nutno zohlednit náklady investiční, provozní, náklady spojené s odpojením, ale také odpisy na obnovu technologií v dlouhodobém horizontu, a především dbát platné legislativy.

1.1. Postup řešení a očekávané výsledky

Cílem mé práce je vyhodnocení stávajícího tepelně technického stavu souboru konkrétních šesti bytových objektů na sídlišti Barrandov, jež jsou nyní napojeny na centrální zásobování teplem a provést ekonomické srovnání po rekonstrukci, která zahrnuje decentrální zdroje tepla v podobě plynových kotlů a tepelných čerpadel.

Z tepelně technického posouzení stávajícího stavu všech objektů se pokusím odhadnout druh a navržený výkon stávajícího centrálního zdroje tepla a dimenzi

trubního vedení tepelné sítě. Na základě dostupných informací o cenách dodávky tepla v dané lokalitě budu mít výchozí pozici pro ekonomickou bilanci navrhovaných řešení.

Jako hodnoty míry zateplení v rekonstruovaných variantách jsem si vymezil normové hodnoty součinitelů prostupu tepla na hodnoty požadované ($U_{N,20}$), doporučené ($U_{rec,20}$) a hodnoty doporučené pro pasivní budovy ($U_{pas,20}$). Pro každou z variant bude na základě tepelné ztráty vhodně navržen nový decentrální zdroj tepla v podobě plynových kotlů a tepelných čerpadel. Jelikož vzhledem k provedení tepelně technických opatření vzniká požadavek pro dodržení hygienických požadavků pro výměnu vzduchu, bude navržena také vzduchotechnická jednotka pro centrální větrání se zpětným získáváním tepla.

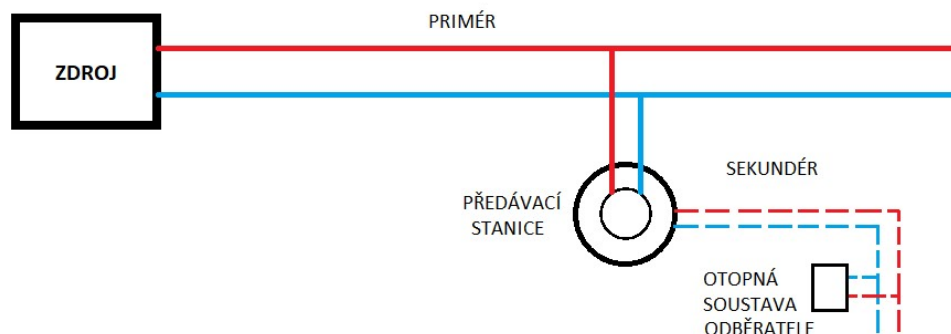
Na základě vypočtených potřeb energií dle jednotlivých variant zateplení a jednotlivých zdrojů tepla lze vyčíslit investiční i provozní náklady a tyto následně porovnat se stávajícím stavem. Takto je možné získat ucelenější náhled na rentabilitu a výhodnost navrhovaných řešení. Očekávaným výsledkem by pak měla být výše jednotkových nákladů (cena) na GJ, tedy jednotku odebraného tepla při využití jednotlivých variant ke srovnání s cenou z centrálního zásobování teplem pro možnost volby optimálního řešení.

1.2. Centrální zásobování teplem (CZT)

Pojmem centrálního zásobování teplem se rozumí především výroba a zásobení teplem širšího souboru obytných budov a městských částí. V městské zástavbě je teplo dodáváno především pro účely vytápění, přípravu teplé vody a případně jiné individuální technologické potřeby průmyslových provozů.

Rozvodné sítě centrálního zásobování teplem se začaly budovat v 50. letech zejména v oblasti jižních Čech a na Slovensku. V letech 60. již existoval ucelený plán rozvoje CZT a od 70. let již systém zásobování teplem představoval dobře vybavenou část energetiky v Československu.

Součástí soustavy centralizovaného zásobování teplem jsou: zdroje, kde se teplo vyrábí, rozvodná síť pro distribuci tepla, předávací stanice a koncový odběratel.



Obrázek 1 – Schéma soustavy CZT

1.2.1. Způsoby výroby tepla – Zdroje

Zdroje tepla rozlišujeme primárně podle způsobu, jakým teplo vyrábějí a doby provozu v průběhu roku. Zdroje dodávající teplo nepřetržitě (mimo letní odstávky) nazýváme *zdroje stálé*.

Zdrojem stálým, který se zabývá kombinovanou výrobou tepla a elektřiny, je **teplárna**. V teplárnách se energie, získaná spalováním, použije pro ohřev vody na vysokotlakou páru, která následně roztáčí parní turbínu a ta generuje elektrickou energii. Topná pára, která prošla turbínou, je využita pro parní dodávku, nebo dále prochází výměníkem a ohřívá vodu pro distribuci. Provozní režimy se přizpůsobují přednostní produkci tepla.

Dalším zdrojem stálým je **tepelná elektrárna**. Ta vyrábí také kombinovaně teplo a elektřinu, ale hlavním produktem je elektřina a vznikající teplo je využito dle dostupnosti odběratelů. Provozní režim je přizpůsoben výrobě elektřiny.

Zdroje, pokrývající maxima potřeby tepla, se nazývají *zdroje doplňkové*. Tyto zdroje pomáhají vyrovnávat nerovnoměrnost potřeby tepelného výkonu v průběhu roku. Příkladem takového doplňkového zdroje jsou **výtopny**, ve kterých se výroba omezuje pouze na ohřev vody a jsou tudíž méně hospodárné.

Využití kogeneračních zdrojů je trendem, který se zaměřuje na současnou výrobu tepla a elektřiny podobně jako u tepláren a tepelných elektráren. Generátor elektřiny je poháněn spalovacím motorem a přebytečné teplo a teplo ze spalin je využito pro ohřev či předehřev teplé vody, kdy je nutné teplou vodu dále dohřívát. Využití kogeneračních jednotek je vhodné i pro menší odběratele jako průmyslové celky, sportoviště či větší administrativu.

Dalšími způsoby výroby tepla mohou být například geotermální zdroje, tedy využití energie zemského jádra. Teplo získané solárními soustavami ze slunečního záření, či využití odpadního tepla z technologických procesů při chlazení turbín, nebo využití spaloven tuhého komunálního odpadu (TKO).

1.2.2. Distribuce tepla

Jedním ze základních dělení tepelných soustav je rozdělení na soustavy otevřené, kdy odběratel společně s teplem odebírá i teplotně stabilizované médium a soustavy uzavřené, kdy je odebíráno pouze teplo a teplotně stabilizovaná látka se vrací zpět ke zdroji.

Uzavřené soustavy jsou z pravidla sítě dvoutrubkové s větví přívodní a vratnou (tzv. zpáteční), zřídka kdy mohou být také třítrubkové, má-li jeden druh odběratele výrazně odlišnou spotřebu tepla. Pro některé otevřené soustavy se používají sítě jednotrubkové, které jsou investičně levnější, ale odebírané médium je nutné opětovně dodávat a antikorozně upravovat z důvodu životnosti potrubí.

Podle teplotně stabilizovaného média rozlišujeme sítě *vodní* a sítě *parní*, kdy sítě vodní se dále dělí dle teploty topné vody na *teplovodní* a *horkovodní* s hraniční teplotou

110°C. V případě vodní dvoutrubkové sítě mají přívodní i vratné potrubí stejný průměr. Vratné potrubí při použití páry se nazývá kondenzátní a má poloviční až třetinový průměr parního (přívodního) potrubí. Kondenzátní potrubí není nutné tepelně izolovat.

Mezi odběratele a zdroj je možné vložit *předávací stanici*, jež rozdělí síť na primární a sekundární. Primární síť, navazující přímo na zdroj, lze provozovat při vyšších parametrech tlaků a teplot (horkovody). Na sekundární síti je pak provozován redukováný výkon, který je pro odběratele bezpečnější (teplovody).

Podle prostorového uspořádání jsou tepelné sítě navrhovány jako *radiální* (paprskovité), *okruhové* (okružní) a *mřížové*. Mřížová tepelná síť, která vzájemně propojuje další okruhy umístěné vedle sebe, je vhodná spíše pro plynovody a vodovody a při zásobování teplem se nevyskytuje.

1.2.3. Potrubí a jeho umístění

V počátcích rozvoje sítí centrálního zásobení teplem bylo používáno téměř výhradně ocelové potrubí. V závislosti na požadovaných tlacích, teplotách a DN se používají ocelové trubky bezešvé, podélně svařované či se šroubovicovým svarem. U trubek s dlouhým svarem je větší pravděpodobnost poruchy a jsou používány tam, kde nejsou vystavovány velkým tlakům a teplotám, tam kde by byly trubky bezešvé zbytečnou investicí. Výjimečně u teplovodních rozvodů do 90 °C bylo povoleno potrubí z polybutenu a pro kondenzátní potrubí z polypropylenu. Z důvodu zabránění tepelných ztrát se potrubí dodatečně izolovalo minerální vlnou a proti mechanickému poškození bylo chráněno oplechováním či uložením v betonovém žlabovém kanálu.

Trubní vedení lze vézt nadzemně na sloupech, což je investičně náročné a využívá se především při přechodu vodních toků, silnic či železnic. Proto jsou často k tomuto účelu využívány stávající stavby mostů a lávek. Pozemní vedení je investičně nejlevnější a používá se především na okrajích měst, extravilánu a v průmyslových areálech, kde vystupuje nad zem minimálně 300 mm. Vlákenná tepelná izolace je chráněna hydroizolací proti vodě a klempířskými prvky z pozinkovaného plechu proti mechanickému poškození. Investičně náročným, avšak v městské zástavbě nezbytným řešením, je uložení v zemi (bezkanálové uložení) či v podzemních stavebních konstrukcích (kanálové uložení). Podzemními stavebními konstrukcemi mohou být kolektory, tepelné kanály, průlezné či neprůlezné. Podzemní stavební konstrukce chrání izolované potrubí před spodní vodou, vlínající vlhkostí a mechanickému poškození a vnější korozi. Potrubí musí být vhodně uloženo tak, aby byl umožněn axiální či radiální posun vlivem tepelné roztažnosti. V minulosti se při bezkanálovém uložení potrubí zalávalo tepelně-izolační směsí bitumenu a korkové drtě, pěnobetonem, obsypávalo drcenými asfaltity, nebo bylo uloženo do tvárnic z agloporitu.

V současné době se technika rozvodů tepla velmi zdokonalila. Nejčastěji je potrubí ukládáno bezkanálově a proti vlhkosti je chráněno opláštěním z polyethylenu (PE). Mezikruží je vyplněno tepelnou izolací – pěnovým

polyuretanem (PUR), (XPE), nebo jejich kombinací. Spojování se provádí svařením vnitřní ocelové trubky, převlečením návleku a vyplněním mezikruží dvousložkovou směsí, která vytvoří PUR pěnu. Pro dimenze do DN100 při zatížení maximálně 100 °C lze ocelová potrubí nahradit předizolovaným plastovým potrubím. Výhodou plastových potrubí je dodávaná délka až 250 m na kotouči a rychlost spojování lisováním.

1.2.4. Měření odebraného tepla

K měření odebraného tepla se používá kalorimetr, který je instalován v patě objektu na přívodním potrubí. Celková spotřeba tepla pro daný objekt je pak poměrově rozúčtována mezi bytové jednotky na základě obytné plochy.

1.2.5. Cena tepla z CZT

Přímo citovaný text Energetického regulačního úřadu [1]:

Dodavatel tepelné energie kalkuluje cenu tepelné energie v souladu s platnými cenovými předpisy, tj. v souladu se zákonem č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů a s cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu k cenám tepelné energie pro příslušný kalendářní rok.

Cena tepelné energie v průběhu daného kalendářního roku je kalkulována jako předběžná a po jeho ukončení jako výsledná. Předběžná cena vychází z předběžné kalkulace, ve které lze uplatnit pouze předpokládané ekonomicky oprávněné náklady, přiměřený zisk a předpokládané množství tepelné energie v kalendářním roce. Výsledná cena vychází z výsledné kalkulace, která obsahuje skutečně uplatněné ekonomicky oprávněné náklady a odpovídá výnosům za tepelnou energii a skutečnému množství tepelné energie za ukončený kalendářní rok.

Dodavatel tepelné energie si pro jím provozovaná tepelná zařízení určuje cenové lokality, v rámci, kterých samostatně kalkuluje cenu tepelné energie v souladu s cenovými předpisy.

Za ekonomicky oprávněné náklady v ceně tepelné energie se považují ekonomicky oprávněné náklady dle ustanovení § 2 odst. 7 písm. a) zákona č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů, které nezbytně souvisejí s výrobou nebo rozvodem tepelné energie v kalendářním roce. Tyto ekonomicky oprávněné náklady kalkulované do ceny tepelné energie vycházejí z údajů v účetnictví dodavatele, tvořeného v souladu s Českými účetními standardy dle zákona č. 563/1991 Sb., o účetnictví, ve znění pozdějších předpisů.

Tyto ekonomicky oprávněné náklady lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- proměnné ekonomicky oprávněné náklady – tvořené převážně náklady na paliva; dále sem patří i nakoupená tepelná energie pro další rozvod, elektřina při výrobě nebo rozvodu tepelné energie, technologická voda a ostatní proměnné

ekonomicky oprávněné náklady (např. poplatky za znečištění ovzduší či potřebný nákup emisních povolenek). Jejich výše v ceně tepelné energie je přímo závislá na množství tepelné energie.

- stálé ekonomicky oprávněné náklady – zahrnující u provozovaného majetku pro výrobu nebo rozvod tepelné energie zejména náklady na opravy, odpisy, nájemné, režijní náklady, mzdy a zákonné pojištění. Jejich výše v ceně tepelné energie není přímo závislá na množství tepelné energie.

Bližší vymezení některých ekonomicky oprávněných nákladů ve věcně usměrňované ceně tepelné energie včetně stanovení podmínek pro určení jejich výše lze nalézt v příloze č. 1 účinného cenového rozhodnutí k cenám tepelné energie.

Veškeré dodavatelem uplatňované ekonomicky oprávněné náklady související s výrobou nebo rozvodem tepelné energie musí být zahrnuty do ceny tepelné energie. V rozporu s cenovými předpisy je postup dodavatele, při kterém některé náklady související s výrobou nebo rozvodem tepelné energie (např. opravy, elektrická energie a obsluha domovní předávací stanice) jsou odběratelům fakturovány samostatně.

Závazné podmínky pro kalkulaci a sjednání cen tepelné energie jsou uvedeny v cenovém rozhodnutí k cenám tepelné energie a vztahují se na všechny dodavatele tepelné energie, kterými jsou výrobce nebo distributor tepelné energie, který dodává tepelnou energii jiné osobě. ERÚ neschvaluje jednotlivým dodavatelům cenu tepelné energie, ale stanovuje obecně závazné podmínky pro její kalkulaci a sjednání.

Ve smlouvě o dodávce tepelné energie, resp. v cenovém ujednání, sjednává dodavatel tepelné energie s odběrateli výši ceny tepelné energie stanovenou v místě měření, termíny a způsob platby za odebranou tepelnou energii včetně záloh. V případě uplatňování dvousložkové ceny, sjednává jednotlivé složky ceny tepelné energie.

Cena tepelné energie může být sjednána jako:

- jednosložková cena, která je vztažena na jednotkové množství tepelné energie (Kč/GJ, Kč/kWh) nebo*
- dvousložková cena, která je tvořena proměnnou složkou ceny vztaženou na jednotkové množství tepelné energie (Kč/GJ, Kč/kWh) a stálou složkou ceny vztaženou na jednotkové množství tepelné energie (Kč/GJ, Kč/kWh) nebo na jednotku tepelného výkonu (Kč/kW), které odpovídají příslušnému rozvodnému nebo odběrnému tepelnému zařízení.*

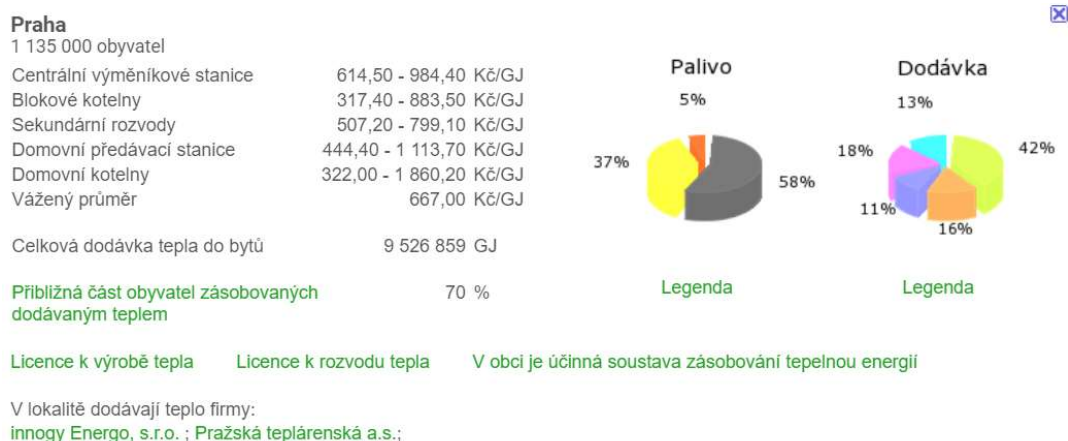
V případě, že odběratel prokáže jinou trvalou potřebu množství tepelné energie nebo tepelného výkonu (např. zateplení objektu odběratele), kterou dodavatelí doloží do 30. září kalendářního roku, není-li dohodnuto datum pozdější, je dodavatel povinen tyto změny zohlednit při stanovení stálé složky dvousložkové ceny tepelné energie odběratelům nejpozději od 1. ledna následujícího kalendářního roku.

V rámci jedné cenové lokality jsou ceny tepelné energie nebo jejich složky tvořeny, sjednány a uplatňovány stejným způsobem pro všechna odběrná místa společně kalkulovaná na stejné úrovni předání.

Ve smlouvě o dodávce tepelné energie může být sjednána výše ceny tepelné energie, která se podle daných platebních podmínek při vyúčtování nemění, nebo předběžná výše ceny tepelné energie, jejíž výsledná výše se po ukončení kalendářního roku v souladu s jednoznačně definovanou cenovou doložkou či jiným obdobným ujednáním může při vyúčtování změnit.

ERÚ stanovuje v cenových rozhodnutích obecně závazná pravidla pro kalkulaci a sjednání ceny tepelné energie za účelem poskytnutí jisté ochrany konečnému spotřebiteli a zajištění spolehlivých a bezpečných dodávek tepelné energie za přijatelné ceny obsahující pouze nezbytné náklady při výrobě a rozvodu tepelné energie. Dodavatel dle cenového rozhodnutí ERÚ má povinnost zahrnovat veškeré uplatňované náklady související s výrobou nebo rozvodem tepelné energie do kalkulace ceny tepelné energie.

Uplatňováním některých nákladů souvisejících s výrobou nebo rozvodem tepelné energie samostatně (např. elektrickou energii, opravy) vedle vyúčtování ceny tepelné energie (a to i v případě dohody dodavatele s odběrateli) se dodavatel tepelné energie dopustí porušení cenového rozhodnutí. Důvodem může být snaha o snížení ceny tepelné energie, které je však jen zdánlivé a projeví se nárůstem jiných nákladů mimo vyúčtování ceny tepelné energie.



Obrázek 2 – Sazebník cen pro Prahu (ZDROJ: naseteplo.cz)

1.2.6. Legislativa

Při přechodu z centrálního zásobování teplem na plynovou domovní kotelnu je nutné respektovat ustanovení zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění, který v § 16 odstavci (7) stanoví: „Právnícká a fyzická osoba je povinna, je-li to technicky možné, u nových staveb nebo při změnách stávajících staveb využít pro vytápění teplo ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje, který není stacionárním zdrojem. Tato povinnost se nevztahuje na rodinné

domy a stavby pro rodinnou rekreaci a na případy, kdy energetický posudek (EP) prokáže, že využití tepla ze soustavy zásobování tepelnou energií nebo zdroje energie, který není stacionárním zdrojem, není pro povinnou osobu ekonomicky přijatelné.“

Na základě Vyhlášky č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku je možné prokázat, že využití tepla z CZT není pro povinnou osobu ekonomicky přijatelné především nižšími ročními náklady na teplo dodané z jiného zdroje než dodané z CZT. Tato potřeba je vypočtena z průměru klimatických podmínek za 30 let. A dále musí být doložena technická, ekonomická a ekologická proveditelnost projektu odpojení.

1.3. Stávající stav souboru budov

Řešený soubor bytových objektů, které jsou součástí sídliště Barrandov v ulici Lohniského, se nachází na jihu městské části Praha 5 v katastrálním území Hlubočepy. Jedná se o typovou panelovou zástavbu šesti objektů vybudovaných v roce 1984 v konstrukčním systému OP 1.11 (Bodová sekce 3453 B). Čtyři z těchto objektů jsou osmipodlažní, jeden šestipodlažní a jeden objekt je čtyřpodlažní. Objekty mají plochou střechu, jsou podsklepené a jsou založeny na skalnatém podkladu bez spodní vody. V každém typickém podlaží jsou 4 bytové jednotky. V suterénu je prádelna, sušárna, sklepní kóje a technická místnost. Všechny objekty jsou shodně orientovány vůči světovým stranám se vstupem z ulice Lohnického z jihu. Objekty dosud neprošly žádnou rekonstrukcí obálky budovy.



Obrázek 3 - Typický půdorys KS OP 1.11

Jako vstupní podklady byla k dispozici kopie výkresové dokumentace s typickými podlažními, řezy a technickou zprávou. Další informace vyplynuly z místního šetření a veřejně dostupných podkladů o existenci inženýrských sítí.

Vytápění

Dodávka tepla pro vytápění objektů je zajišťována nedalekým centrálním zásobováním teplem (CZT), v tomto případě jde o plynovou výtopnu provozovanou firmou Veolia Energie ČR, a.s. Z dostupných materiálů Institutu plánování Prahy (IPR) je teplovod veden ve žlabovém kanálu od zdroje v zeleném pásu mezi chodníkem a pozemní komunikací ulice Lohniského. Jedná se o uzavřenou dvoutrubkovou tepelnou soustavu paprskovitého typu. Teplonosným médiem je voda vedená v ocelové trubce, opatřené vláknitou izolací (teplovodní síť) s teplotním spádem **110/70°C**. V suterénu každého z objektů se nachází tlakově nezávislá předávací stanice. Regulace probíhá na předávací stanici kvalitativně v závislosti na venkovní teplotě (ekvitermně), ta upravuje teplotu otopné vody tak, aby výkon systému odpovídal aktuálním tepelným ztrátám objektu.

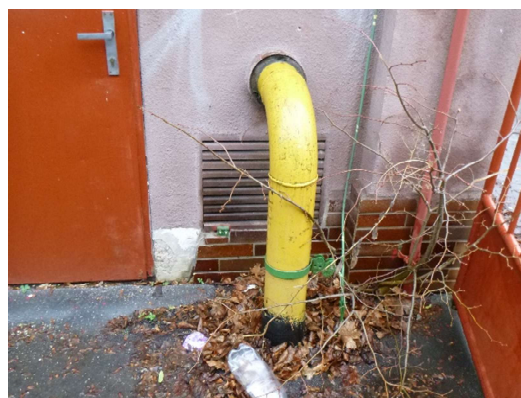
Otopná soustava v domech je teplovodní dvoutrubková se spodním rozvodem, přirozeným oběhem a článkovými litinovými otopnými tělesy, umístěnými v jednotlivých bytových jednotkách na stěnách pod okny. Otopná tělesa jsou projektově navržena na teplotní spád **92,5/67,5°C**. Otopná soustava plně pokrývá tepelnou ztrátu prostupem a větráním.

Příprava teplé vody

Příprava teplé vody probíhá v každé bytové jednotce individuálně, a to přímým ohřevem elektrickými akumulacími ohříváči typu EO 903–160 l, nebo EZ 125 l na požadovanou teplotu 60°C. Tlakové akumulacími ohříváče jsou osazeny v prostoru vstupní chodby každé bytové jednotky.

Větrání

Větrání je v původním stavu, zajišťováno přirozeně vlivem netěsností rámu výplní otvorů (infiltrací). Nárazové odvětrání hygienického zázemí a kuchyně zajišťuje centrální ventilátor na střeše objektu. Odvod znečištěného vzduchu je realizován kruhovým potrubím přes instalační šachty.



Obrázek 4 – Fotografie skutečného stavu objektů

2. TEORETICKO-METODICKÁ ČÁST

2.1. Vyhodnocení stávajícího stavu

2.1.1. Návrhový tepelný výkon

Popis metody

Pro energetickou bilanci je nutné stanovit potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody a elektrické energie. Výpočet tepelného výkonu byl proveden v souladu se základní metodou dle ČSN EN 12831-1:2018 [3], tedy normou harmonizovanou se souborem norem o energetické náročnosti budov (ENB), která popisuje výpočet návrhového tepelného výkonu za ustáleného stavu vytápěných prostor. Základní metoda je všestranným přístupem k dimenzování otopných soustav jak v nových budovách, tak v budovách s rozsáhlou rekonstrukcí. Výpočet je veden jako jedno zónový (celý objekt je uvažován jako jedna vytápěná zóna). Výpočetní postup je demonstrován na objektu č.2 (6. podlaží).

Vstupní údaje

Všechny objekty jsou typově jednotné a jsou také jednotně orientovány vůči světovým stranám. Rozdílné jsou pouze počtem podlaží, kdy objekt č.1 je 4 podlažní, objekt č.2 je 6 podlažní a zbývající objekty č.3 až 6 jsou 8 podlažní. Z tohoto důvodu je vhodné vypočítat měrný tepelný tok jednoho typického podlaží a následně aplikovat pro jednotlivé objekty v závislosti na počtu pater. Konstrukce střechy, 1. nadzemního podlaží a 1. podzemního podlaží jsou pro všechny objekty shodné. Hodnoty součinitelů odporu při prostupu tepla jednotlivými konstrukcemi vyplývají z Technické zprávy projektové dokumentace a jsou uvedeny v (*Tabulka 1*).

Popis konstrukce	Tepelný odpor prostupem R [$m^2 \cdot K/W$]
Střešní konstrukce	3,0
Stěna vnější	1,5
Strop nad suterénem	0,1

Tabulka 1 – Hodnoty součinitelů tepelných odporů

Klimatické údaje

Ve výpočtu jsou použity hodnoty venkovní výpočtové teploty pro Prahu $\Theta_e = -12$ [°C] a vnitřní výpočtové teploty v bytových objektech $\Theta_{int} = 20$ [°C] dle ČSN EN 12831-1 [3], Národní příloha NA.1.

2.1.1.1. Výpočet návrhového tepelného výkonu

Návrhový tepelný výkon je součtem návrhového tepelného výkonu prostupem a návrhového tepelného výkonu větráním budovy.

$$\phi_{HL,b} = \phi_{T,b} + \phi_{V,b} \quad (1)$$

kde

$\phi_{HL,b}$	návrhový tepelný výkon	[W]
$\phi_{T,b}$	návrhový tepelný výkon prostupem	[W]
$\phi_{V,b}$	návrhový tepelný výkon větráním	[W]

2.1.1.2. Návrhový tepelný výkon prostupem

Návrhový tepelný výkon prostupem budovy z vytápěného prostoru do venkovního je vypočten na základě vnějších a vnitřních výpočtových teplot. Jedná se o součet všech měrných tepelných toků prostupem vynásobený rozdílem výpočtových teplot.

$$\phi_{T,b} = (H_{T,ie} + H_{T,iae}) \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = H_{T,b} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (2)$$

kde

$\phi_{T,b}$	návrhový tepelný výkon prostupem budovy	[W]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem do vnějšího prostředí (e)	[W/K]
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem přes nevytápěný prostor (a) vnějšího prostředí	[W/K]
Θ_{int}	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
Θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

2.1.1.2.1. Výpočet měrných tepelných toků prostupem

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (i) do venkovního (e) prostředí se vypočítá podle vzorce:

$$H_{T,ie} = \sum_k \langle A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k} \rangle \quad (3)$$

kde

$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (i) do venkovního (e) prostředí	[W/K]
A_k	plocha konstrukce	[m ²]
U_k	součinitel prostupu tepla konstrukcí	[W/m ² .K]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² .K]
$f_{U,k}$	opravný součinitel zohledňující povětrnostní vlivy a stavební části, které nebyly uvažovány při výpočtu U_k , pro ČR=1	[-]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný součinitel	[-]

Součinitel prostupu tepla U_k je převrácenou hodnotou součtu tepelných odporů. Pro stanovení součinitele prostupu tepla je nutné dbát na správný směr tepelného toku. Směr toku je zohledněn pomocí přestupových odporů R_{se} a R_{si} .

$$U_k = \frac{1}{R_{si} + \sum_n R_k + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_n \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (4)$$

kde

R_{si}	odpor při přestupu tepla na straně interiéru	[m ² .K/W]
R_{se}	odpor při přestupu tepla na straně exteriéru	[m ² .K/W]
R_k	odpor konstrukce	[m ² .K/W]
S_n	tloušťka vrstvy	[m]
λ_n	Součinitel tepelné vodivosti vrstvy	[W/m.K]

[m ² .K/W]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Tabulka 2 – Smluvní odpory při přestupu tepla dle ČSN EN ISO 6946

Výpočet součinitele prostupu tepla pro obvodovou stěnu typického podlaží:

dle (4)

$$U_w = \frac{1}{R_{si} + R_k + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + 1,5 + 0,04} = \mathbf{0,6} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$$

Popis konstrukce	Vypočtený součinitel prostupu tepla U_k [W/m ² .K]
Střešní konstrukce	$U_R = 0,32$
Stěna vnější	$U_W = 0,6$
Strop nad suterénem	$U_S = 0,9$
Okna a dveře	$U_O = 2,9$

Tabulka 3 – Vypočtené součinitele prostupu tepla

Strop nad suterénem není zatížen vnějším prouděním vzduchu, proto byla ve výpočtu volena hodnota $R_{se} = 0,08$ [m².K/W] dle ČSN EN ISO 6946 [1], Příloha A.1. Hodnota přírážky na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} zohledňuje vliv tepelných mostů dle stáří objektu dle ČSN EN ISO 12831-1 [3], Příloha B, Tabulka B.1. Zvolená hodnota pro stávající stav $\Delta U_{TB} = 0,1$ [W/m².K] odpovídá konstrukcím s běžnými tepelnými mosty u starších budov. Detailní zohlednění tepelných mostů lze určit dle ČSN EN 12831-1 [3], Příloha C. Nicméně pro řešený účel je metoda přírážky na tepelné vazby plně dostačující.

V tomto případě uvažujeme suterén, který je částečně pod terénem, jako nevytápěný prostor, přes který proudí tepelný tok do vnějšího prostředí z vytápěné nadzemní části objektu. Velikost tohoto měrného toku lze vypočítat

součtem měrného tepelného toku nadzemních konstrukcí suterénu do vnějšího prostředí dle (3) a měrného tepelného toku do země $H_{T,ig}$ (5).

$$H_{T,ig} = f_{\theta_{ann}} \sum_k \langle A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k} \rangle \quad (5)$$

kde

$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (<i>i</i>) do země (<i>g</i>)	[W/K]
A_k	plocha konstrukce ve styku se zemí	[m ²]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla konstrukcí (<i>k</i>) ve styku se zemí	[W/m ² .K]
$f_{ig,k}$	opravný teplotní součinitel	[-]
$f_{GW,k}$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$f_{\theta_{ann}}$	opravný činitel zohledňující vliv změny teploty v průběhu roku	[-]

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla $U_{equiv,k}$ je potřeba vypočítat dle ČSN EN 12831-1 [3], Příloha E, kde do výpočtu vstupuje geometrický parametr podlahové plochy B' . Dalším možným přístupem je použití vzorce (6) pro měrný tepelný tok do nebo přes sousední nevytápěný prostor $H_{T,iae}$

$$H_{T,iae} = \sum_k \langle A_k \cdot U_k \cdot f_{iae,k} \rangle \quad (6)$$

kde

$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného (<i>i</i>) přes nevytápěný prostor (<i>a</i>) do vnějšího prostředí (<i>e</i>)	[W/K]
A_k	plocha konstrukce přes kterou tepelný tok proudí	[m ²]
$f_{iae,k}$	teplotní opravný součinitel zahrnující rozdíl teplot mezi nevytápěným prostorem a vnější výpočtovou teplotou	[-]

Teplotní opravný součinitel je nutné vypočítat z rovnice (7), kde teplota nevytápěného prostoru je volena dle ČSN EN 12831-1 [3], Tabulka NA.4 – Teplota vnitřního vzduchu sousedních nevytápěných prostor. Prověřeny byly oba přístupy výpočtu a výsledné hodnoty se příliš nelišily, proto je tento zjednodušený postup pro další výpočet dostačující. Výpočtová teplota pro sklepy a suterény $\Theta_{iae,k} = +3$ [°C] dle NA.4. Jelikož se v suterénu nachází technická místnost s domovní předávací stanicí tepla a se započtením tepelných zisků od ležatých rozvodů vytápění, ve výpočtu jsem uvažoval teplotu $\Theta_{iae,k} = +5$ [°C].

$$f_{iae,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{iae,k}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7)$$

kde

$\Theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěné části	[°C]
$\Theta_{iae,k}$	vnitřní výpočtová teplota nevytápěné části	[°C]
Θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]

Výpočet měrného tepelného toku prostupem:

dle (7)

$$f_{iae,s} = \frac{20 - 5}{20 - (-12)} = \mathbf{0,468} [-]$$

dle (6)

$$H_{T,iae,s} = A_s \cdot (U_s + \Delta U_{TB}) \cdot f_{iae,s} = 365,4 \cdot (0,9 + 0,1) \cdot 0,468 \\ = \mathbf{164,7} [\text{W/K}]$$

$$H_{T,b} = H_{T,R} + (P \cdot H_{T,W}) + H_{T,O} + H_{T,S} \quad (8)$$

kde

P počet podlaží posuzovaného objektu [-]

Popis konstrukce	Označení	Měrný tepelný tok [W/K]
Střešní konstrukce	$H_{T,R}$	145,5
Vnější stěna (typické podlaží)	$H_{T,W}$	141,3
Okna a dveře	$H_{T,O}$	192,9
Strop nad suterénem	$H_{T,S}$	164,7
Měrný tepelný tok 6. NP objektu	$H_{T,b}$	2 316

Tabulka 4 – Měrné tepelné toky prostupem

Výpočet tepelného výkonu prostupem:

dle (2)

$$\phi_{T,b} = H_{T,b} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 2\,316 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{74,1} [\text{kW}]$$

2.1.1.3. Návrhový tepelný výkon větráním

$$\phi_{V,b} = H_{V,b} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (9)$$

kde

$\phi_{V,b}$ návrhový tepelný výkon větráním budovy [W]

Θ_{int} vnitřní výpočtová teplota [°C]

Θ_e venkovní výpočtová teplota [°C]

2.1.1.3.1. Stanovení měrné ztráty větráním

Měrná ztráta větráním je odvozena od minimálního požadovaného objemového průtoku v místnostech a stanoví se na základě vzorce:

$$H_{V,b} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \quad (10)$$

kde

\dot{V}	průtok vzduchu v objektu	[m ³ /h]
$\rho \cdot c$	tepelná kapacita vzduchu = 0,34	[Wh/m ³ .K]

Průtok vzduchu v objektu je zajištěn podtlakovým větráním centrálním ventilátorem umístěným na střeše objektu. Znehodnocený vzduch je odváděn z místností hygienického zázemí a kuchyní, čerstvý vzduch je nasáván netěsnostmi okenních rámců (infiltrací).

$$\dot{V} = \dot{V}_f \cdot (1 - \eta_{ZZT}) + \dot{V}_x \quad (11)$$

kde

\dot{V}_f	průtok vzduchu nuceným větráním	[m ³ /h]
η_{ZZT}	účinnost výměníku zpětného získávání tepla	[-]
\dot{V}_x	průtok vzduchu infiltrací	[m ³ /h]

Průtok vzduchu nuceným větráním

Požadavek na trvalé větrání obytných místností dle ČSN EN 16798-1 [9] je 25 [m³/h] čerstvého vzduchu na osobu, jež byl odvozen od množství koncentrace CO₂ ve venkovním vzduchu. Počet osob byl stanoven pomocí statistického údaje vztaženému k bytové jednotce, viz Fotovoltaika pro budovy [1]. Počet osob je stanoven v závislosti na počtu bytových jednotek pomocí koeficientu 2,7 [os/bj] a zaokrouhlen nahoru na celé osoby.

$$\dot{V}_f = 0,7 \cdot k \cdot 25 = 0,7 \cdot c \cdot b_j \cdot 25 \quad (12)$$

kde

k	počet osob	[ks]
$0,7$	koeficient přítomnosti osob	[-]
c	koeficient počtu osob na bytovou jednotku	[-]
b_j	počet bytových jednotek v objektu	[ks]

$$\dot{V}_f = 0,7 \cdot k \cdot 25 = 0,7 \cdot 2,7 \cdot 25 \cdot 25 = \mathbf{1190} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Průtok vzduchu infiltrací je stanoven z vnějšího objemu budovy

$$\dot{V}_x = 0,8 \cdot V_e \cdot n_{50} \cdot e \quad (13)$$

kde

0,8	procento pro vnitřní objem budovy	[-]
V_e	vnější objem budovy	[m ³]
n_{50}	intenzita výměny vzduchu – pro starší budovy = 4,5	[h ⁻¹]
e	součinitel větrné expozice – pro bytové domy = 0,07	[-]

$$\dot{V}_x = 0,8 \cdot 6\,832,6 \cdot 4,5 \cdot 0,07 = \mathbf{1\,722} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Budova je velmi netěsná a průtok infiltrací pokrývá celou potřebu výměny vzduchu na osobu. Dle (10) je tedy měrná ztráta větráním. To odpovídá intenzitě větrání $l = 0,32 \text{ [h}^{-1}\text{]}$.

$$H_{V,b} = \dot{V}_x \cdot \rho \cdot c = 1\,722 \cdot 0,34 = \mathbf{585,5} \text{ [W/K]}$$

Výpočet návrhového tepelného výkonu větráním:

dle (9)

$$\phi_{V,b} = H_{V,b} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 585,4 \cdot (20 - (-12)) = \mathbf{18,7} \text{ [kW]}$$

Výpočet návrhového tepelného výkonu budovy:

dle (1)

$$\phi_{HL,b} = \phi_{T,b} + \phi_{V,b} = 74,1 + 18,7 = \mathbf{92,8} \text{ [kW]}$$

V tabulce (*Tabulka 5*) jsou stanoveny návrhové tepelné výkony ostatních objektů a celkový návrhový výkon souboru posuzovaných budov.

Označení	Návrhové tepelné výkony [kW]
$\phi_{HL,4}$	66,1
$\phi_{HL,6}$	92,8
$\phi_{HL,8}$	119,6
$\phi_{HL,4} + \phi_{HL,6} + (4 \cdot \phi_{HL,4})$	637,3

Tabulka 5 – Návrhové tepelné výkony objektů

2.1.2. Bilance potřeb

Popis

Bilance potřeb je provedena dle ČSN EN ISO 52016-1 [2]. Výpočet je proveden měsíční metodou, kde jsou hodnoty tepelných zisků a potřeb přímo stanoveny v měsíčním intervalu.

Klimatické údaje

Vnitřní výpočtová teplota v bytových objektech je $\Theta_{int} = 20$ [°C] dle ČSN EN 12831-1 [3], Národní příloha NA.1. Průměrné měsíční klimatické teploty dle historických dat ČHMÚ za posledních 30 let [Příloha 1]. Dávky měsíčního slunečního ozáření H [kWh/m².měsíc] dle ČSN 73 0331-1 [6], Tabulka C.1.

2.1.2.1. Tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky v budovách jsou způsobeny pohybem osob (metabolické teplo), provozem domácích spotřebičů, osvětlením či tepelnými ztrátami rozvodů teplé vody. Zisky způsobené slunečním zářením, procházejícím přes prosklené prvky, se nazývají solární zisky. Součet vnitřních a solárních zisků jsou zisky celkové a ty mohou pozitivně či negativně ovlivňovat potřeby energií na vytápění či chlazení.

$$Q_G = Q_i + Q_s \quad (14)$$

kde

Q_G	celkové tepelné zisky	[Wh]
Q_i	vnitřní zisky	[Wh]
Q_s	solární zisky	[Wh]

2.1.2.2. Vnitřní zisky

Vnitřní zisky jsou stanoveny dle počtu osob a čas strávený v zóně je upraven koeficientem přítomnosti. Počet osob byl statisticky odvozen podle počtu bytových jednotek, viz Fotovoltaika pro budovy [9].

$$Q_i = (0,7 \cdot k \cdot 100 + 100) \cdot t \quad (15)$$

kde

Q_i	vnitřní zisky	[Wh]
$0,7$	koeficient přítomnosti osob	[-]
k	počet osob	[ks]
t	časový úsek, pro který je výpočet veden	[h]

Výpočet vnitřních zisků:

Demonstrativní výpočet je pro měsíc leden (31 dní).

dle (15)

$$Q_i = (0,7 \cdot 68 \cdot 100 + 100) \cdot 24 \cdot 31 = \mathbf{3\ 616} \text{ [kWh]}$$

2.1.2.3. Solární zisky

Solární zisky se stanoví z úhrnů slunečního ozáření dle ČSN 73 0331-1 [6], Tabulka C.1, procházejícího zasklenými plochami. Zde je nutné zohlednit propustnost slunečního záření výplněmi otvorů, jejich zastínění, a především orientací ke světovým stranám.

$$Q_s = \sum_j I_{s,j} \cdot \sum_n A_{s,j} \quad (16)$$

kde

$I_{s,j}$	úhrn slunečního ozáření z dané orientace (j)	[kWh/m ²]
$A_{s,n}$	účinná plocha zasklení	[m ²]

Účinná plocha zasklení

$$A_s = A \cdot F_S \cdot F_C \cdot (1 - F_F) \cdot g \quad (17)$$

kde

A_s	účinná plocha zasklení	[m ²]
A	plocha otvoru (dle dokumentace)	[m ²]
F_S	korekční činitel trvalého stínění	[-]
F_C	korekční činitel clonění	[-]
F_F	korekční činitel rámu	[-]
g	celková propustnost slunečního záření	[-]

Technická zpráva k projektu bytových domů uvádí tloušťku okenních rámu a rámu okna 120 [mm]. Výpočtem poměru okno/rám byl nalezen průměrný korekční činitel 30 [%] tedy 0,3 [-]. Celková propustnost slunečního záření je uvažována pro zdvojené zasklení hodnotou $g = 0,75$ [-].

Demonstrativní výpočet je proveden pro všechna okna orientovaná na jih v 6 podlažním objektu za měsíc leden.

dle (17)

$$A_{s,jih} = 6 \cdot 7,2 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot (1 - 0,3) \cdot 0,9 \cdot 0,75 = \mathbf{18,73} \text{ [m}^2\text{]}$$

Výpočet solárních zisků:

dle (16)

$$Q_{s,jih} = I_{s,jih,leden} \cdot A_{s,jih} = 34,2 \cdot 18,37 = \mathbf{628} \text{ [kWh]}$$

Orientace	Označení	Solární zisk za leden [kWh]
Sever	$Q_{s,sever}$	151
Jih	$Q_{s,jih}$	628
Východ	$Q_{s,východ}$	881
Západ	$Q_{s,západ}$	915
Celkem	Q_s	2 575

Tabulka 6 – Solární zisky leden

Výpočet tepelných zisků za leden:

dle (14)

$$Q_{G,leden} = Q_i + Q_s = 3\,615 + 2\,575 = \mathbf{6\,190} \text{ [kWh]}$$

Měsíc	Tepelný zisk [kWh]
Leden	6 190
Únor	7 699
Březen	11 421
Duben	15 186
Květen	17 197
Červen	-
Červenec	-
Srpen	-
Září	12 246
Říjen	10 254
Listopad	6 799
Prosinec	5 685
Celkem Q_G	92,7 [MWh]

Tabulka 7 – Tepelné zisky v otopném období

2.1.3. Potřeba tepla na vytápění (VYT)

2.1.3.1. Tepelná ztráta

$$Q_{L,m} = (H_{T,b} + H_{V,b}) \cdot (\theta_{int} - \theta_{e,m}) \cdot t \quad (18)$$

kde

$Q_{L,m}$	ztráta tepla v daném měsíci	[Wh]
$H_{T,b}$	měrný tepelný tok prostupem	[W/K]
$H_{V,b}$	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
Θ_{int}	vnitřní požadovaná teplota	[°C]
$\Theta_{e,m}$	průměrná měsíční venkovní teplota	[°C]
t	délka časového úseku (měsíc)	[h]

dle (18)

$$Q_{L,leden} = (2\,316,0 + 585,4) \cdot (20 - (-1,2)) \cdot 24 \cdot 31 = 45\,764 \text{ [kWh]}$$

Měsíc	Ztráta tepla [kWh]
Leden	45 764
Únor	39 385
Březen	35 186
Duben	23 815
Květen	13 600
Červen	-
Červenec	-
Srpen	-
Září	13 579
Říjen	24 393
Listopad	34 678
Prosinec	43 389
Celkem Q_L	274 [MWh]

Tabulka 8 – Ztráta tepla za otopné období

2.1.3.2. Potřeba tepla na vytápění

Jelikož je použitý interval výpočtu měsíční, můžeme aplikovat zjednodušenou výpočtovou metodu výpočtu potřeb tepla na vytápění. Roční potřeba energie na vytápění je součtem všech potřeb na vytápění v jednotlivých měsících otopného období.

$$Q_H = \sum_{m=1}^{12} Q_{H,m} \quad (19)$$

kde

Q_H	roční potřeba energie na vytápění	[W/h]
$Q_{H,m}$	potřeba energie na vytápění v daném měsíci	[W/h]

Potřeba energie na vytápění v daném měsíci

$$Q_{H,m} = Q_{L,m} - \eta \cdot Q_{G,m} \quad (20)$$

kde

$Q_{H,m}$	potřeba energie na vytápění v daném měsíci	[W/h]
$Q_{L,m}$	ztráta tepla v daném měsíci	[Wh]
$Q_{G,m}$	tepelný zisk v daném měsíci	[W/h]
η	Stupeň využití solárních zisků	[W]

Stupeň využití solárních zisků η (24) vypovídá o dynamickém chování budovy a vypočítá se na základě časové konstanty τ (22) a poměru tepelných ztrát a zisků γ (21).

$$\gamma_m = \frac{Q_{G,m}}{Q_{L,m}} = \frac{6\,190}{45\,764} = \mathbf{0,135} \quad (21)$$

$$\tau = \frac{C}{H} \cdot \frac{1}{3600} = \frac{165\,000 \cdot A_t}{H \cdot 3600} = \frac{165\,000 \cdot 6 \cdot 349}{2\,901 \cdot 3600} = \mathbf{33,04} \quad (22)$$

kde

C	vnitřní tepelná kapacita budovy (zvolil jsem středně těžkou)	[J/K]
H	celkový měrný tepelný tok budovou	[W/K]
A_t	vnitřní podlahová plocha všech podlaží	[m ²]

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} = 1 + \frac{33,04}{16} = \mathbf{3,065} \quad (23)$$

kde

a	numerický parametr závislý na časové konstantě	[-]
a_0	numerický parametr (pro měsíční interval = 1)	[-]
τ	časová konstanta	[h]
τ_0	referenční časová konstanta	[h]

Stupeň využití solárních zisků pro $\gamma \neq 1$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = \frac{1 - 0,135^{3,065}}{1 - 0,135^{3,065+1}} = \mathbf{0,998} \quad (24)$$

Tepelný zisk v měsíci lednu se tedy započte z 99,8 [%] v potřebě tepla na vytápění. Je-li průměrná venkovní teplota vyšší než vnitřní požadovaná teplota, je ztráta tepla rovna 0 a stupeň využití solárních zisků rovněž 0.

Výpočet potřeby tepla na vytápění (leden):

dle (20)

$$Q_{H,leden} = 45\,764 - 0,998 \cdot 6\,191 = 39\,585 \text{ [kWh]}$$

Tepelný zisk pokryje 14% ztráty tepla v měsíci lednu. Je tedy zřejmé, že tepelné zisky mají významný podíl při bilancování potřeb energie na vytápění a chlazení.

Měsíc	Potřeba tepla na vytápění [kWh]
Leden	39 585
Únor	31 728
Březen	24 013
Duben	10 280
Květen	2 254
Červen	-
Červenec	-
Srpen	-
Září	3 886
Říjen	14 569
Listopad	27 917
Prosinec	37 714
Celkem Q_H	192 [MWh]

Tabulka 9 – Potřeba tepla na vytápění za otopné období

2.1.4. Potřeba tepla na přípravu teplé vody (TV)

Výpočtový postup dle ČSN EN 12831-3 [3], potřebu energie pro přípravu teplé vody lze zjednodušeně určit na základě obsazenosti zóny. Měrná denní spotřeba teplé vody je závislá na typu daného provozu dle ČSN 73 0331 [6], Tabulka A.55, tedy pro bytové domy je dána hodnotou 40 l/den/os. Požadovaná teplota připravované vody je 60 [°C]. Příprava teplé vody je realizována lokálně elektrickými akumulacími ohříváči v každé bytové jednotce individuálně. Demonstrativní výpočet je proveden opět pro 6 podlažní objekt v měsíci lednu.

Celková potřeba energie pro přípravu teplé vody je definována jako součet potřebné energie pro přípravu teplé vody, ztrátové energie akumulací a ztrátou rozvodů.

$$Q_{w,m} = Q_{w,p,m} + Q_{w,z,m} \quad (25)$$

Potřeba energie pro přípravu teplé vody

$$Q_{w,d} = V_{w,d} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{w,p} - \theta_{w,c}) \cdot \frac{1}{3600} \quad (26)$$

kde

$Q_{w,d}$ denní potřeba energie pro přípravu teplé vody [kWh]

$V_{w,d}$	objem teplé vody za den	[m ³ /d]
ρ_w	hustota vody	[kg/m ³]
c_w	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
$\Theta_{w,p}$	teplota odebírané vody	[°C]
$\Theta_{w,c}$	teplota studené vody na vstupu	[°C]

Objem teplé vody

$$V_{w,d} = V_{w,f,d} \cdot f = 40 \cdot 68 = \mathbf{2\,720} \text{ [l/d]} = \mathbf{2,72} \text{ [m}^3\text{/d]} \quad (27)$$

kde

$V_{w,d}$	objem teplé vody za den	[l/d]
$V_{w,f,d}$	objem teplé vody na osobu za den	[l/d]
f	počet osob	[ks]

dle (26)

$$Q_{w,p,d} = 2,72 \cdot 1000 \cdot 4,182 \cdot (60 - 10) \cdot \frac{1}{3600} = \mathbf{158} \text{ [kWh]}$$

Měsíční potřeba je pak vypočtena násobkem počtu dní daného měsíce

$$Q_{w,p,m} = Q_{w,p,d} \cdot d_m = 158 \cdot 31 = \mathbf{4\,898} \text{ [kWh]} \quad (28)$$

Typická denní ztráta přímo elektricky ohříváního zásobníku teplé vody je dle ČSN 73 0331 [6], Tabulka A.57 rovna $Q_{w,gen,d} = 10$ [Wh/d], uvažovaného podle velikosti objemu 150 [l].

Měsíční ztráta všech zásobníků je potom dána vztahem:

$$Q_{w,z,m} = Q_{w,gen,d} \cdot d_m \cdot b_j = 10 \cdot 31 \cdot 25 = \mathbf{7,75} \text{ [kWh]} \quad (29)$$

kde

d_m	počet dní daného měsíce	[d]
b_j	počet bytových jednotek	[ks]

dle (25)

$$Q_{w,leden} = 4\,898 + 7,75 = \mathbf{4\,906} \text{ [kWh]}$$

Celková roční potřeba energie je pak definována součtem všech měsíčních potřeb:

$$Q_w = \sum Q_{w,m} \text{ [kWh]} \quad (30)$$

Měsíc	Potřeba tepla na přípravu TV [kWh]
Leden	4 905
Únor	4 431
Březen	4 807
Duben	4 558
Květen	4 611
Červen	4 368
Červenec	4 416
Srpen	4 514
Září	4 463
Říjen	4 709
Listopad	4 652
Prosinec	4 905
Celkem Q_w	55,3 [MWh]

Tabulka 10 – Potřeby tepla pro přípravu TV

2.1.5. Spotřeba elektrické energie (EE)

Celková roční spotřeba uživatelské elektrické energie pro domácnosti je dána vztahem (31), kde údaj o roční spotřebě elektrické energie české domácnosti je ze statistiky projektu REMODENCE. Fotovoltaika pro budovy [9], Tabulka 4.18. Činitel spotřeby elektrické energie je převzat z ČSN 73 0331 [6].

$$E_u = \sum E_{aux,m} + \sum E_{app,m} \quad (31)$$

kde

E_u roční spotřeba EE domácnosti [kWh]

$E_{aux,m}$ měsíční spotřeba pomocné EE [kWh]

$E_{app,m}$ měsíční statistická průměrná spotřeba EE domácnosti [kWh]

Měsíční spotřeba EE

$$E_{app,m} = \frac{E_{app}}{12} \cdot f_m \cdot bj \quad (32)$$

kde

E_{app} roční spotřeba EE domácnosti [kWh]

$E_{app,m}$ měsíční statistická průměrná spotřeba EE domácnosti [kWh]

f činitel podílu spotřeby EE v daném měsíci [-]

bj počet bytových jednotek v objektu [ks]

dle (32)

$$E_{app,leden} = \frac{2\,124}{12} \cdot 1,52 \cdot 25 = 6\,726 \text{ [kWh]}$$

Pomocnou elektrickou energií se rozumí elektrická energie vynaložená na provoz domovních technologií jako jsou čerpadla, ventilátory a regulační prvky potřebné pro vytápění, chlazení a ohřev TV. Hodnota E_b je údaj pro bytové domy dle ČSN 73 0331 [6].

$$E_{aux} = \sum E_b + 0,1 \cdot (V_e - 400) \cdot \frac{\sum E_b}{100} \quad (33)$$

kde

$\sum E_b$ součet základních hodnot spotřeby jednotlivých technologií [kWh/rok]

V_e vnější objem budovy [m³]

dle (33)

$$E_{aux} = 50 + 0,1 \cdot (6\,832,6 - 400) \cdot \frac{50}{100} = 372 \text{ [kWh/rok]}$$

Měsíční pomocná EE je připočtena k měsíční spotřebě EE.

Měsíc	Spotřeba EE [kWh]
Leden	6 757
Únor	5 562
Březen	4 633
Duben	3 792
Květen	3 128
Červen	2 907
Červenec	2 907
Srpen	3 128
Září	3 881
Říjen	4 589
Listopad	5 518
Prosinec	6 668
Celkem E_u	53,5 [MWh]

Tabulka 11 – Celková spotřeba EE

2.1.6. CZT – Tepelné ztráty distribucí

Na základě vypočtených návrhových tepelných výkonů jednotlivých objektů ve stávajícím stavu je nyní možné odhadnout dimenzi teplovodní sítě, tepelné ztráty distribucí a výkonové charakteristiky zdroje tepla pro CZT. Charakteristika tepelné sítě je uvedena v oddíle 1.3 Stávající stav souboru budov – Vytápění.

2.1.6.1. Návrh teplovodní sítě

Na základě přípojných výkonů v patách jednotlivých objektů a teplotního spádu je vypočten návrhový hmotnostní průtok potrubím. Jedná se pouze o orientační návrh a tlakové poměry v síti nejsou podrobně řešeny. Navržené potrubí je

ocelové běžně používaných rozměrů. Demonstrativní výpočet je proveden pro připojovací potrubí k 8 podlažnímu objektu č.6 s teplotním spádem **110/70[°C]**.

$$M_W = \frac{k_z \cdot Q_p}{c \cdot (t_{w1} - t_{w2})} \quad (34)$$

kde

M_W	návrhový hmotnostní průtok	[kg/s]
k_z	součinitel ztrát v síti (1,02)	[-]
Q_p	přípojný výkon	[Wh]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
t_{w1}	teplota vody na vstupu	[°C]
t_{w2}	teplota vody na vratném potrubí	[°C]

dle (34)

$$M_{W,sp} = \frac{1,02 \cdot 119\,593}{4\,187 \cdot (110 - 70)} = \mathbf{0,73} \text{ [kg/s]}$$

Zjednodušený návrh vychází z rovnice kontinuity se zvolenou ekonomickou rychlostí proudění $w = 1,0$ [m/s].

Minimální vnitřní průměr potrubí

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot M_W}{\pi \cdot w \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,73}{\pi \cdot 1,0 \cdot 965,3}} = \mathbf{31} \text{ [mm]} \quad (35)$$

kde

d	průměr potrubí	[m]
M_W	návrhový hmotnostní průtok	[kg/s]
w	ekonomická rychlost vody je 0,5 až 2,0	[m/s]
ρ	hustota vody při dané teplotě	[kg/m ³]

Navrhovaný průměr ocelové trubky je **DN 32** pro úsek objekt č.6 - uzel č.5.

2.1.6.2. Tepelná ztráta distribuční sítě

Teplovodní rozvod byl vybudován před 40 lety a byl izolován vláknitou tepelnou izolací se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,05$ [W/m.K], obvykle se jednalo o skelnou či kamennou vlnu. Teplovod nebyl do současné doby rekonstruován a ve výpočtu jsem proto zohlednil předpokládaný špatný stav tepelné izolace skutečným součinitelem tepelné vodivosti $\lambda_R = 0,8$ [W/m.K].

Výpočet měrného tepelného toku kruhovým potrubím (rovnice je sestavená z kondukce ocelovou trubkou, kondukce tepelnou izolací a konvekce při povrchu):

$$\dot{q}_L = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{TR}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{IZ}} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) + \frac{1}{2\pi \cdot h_{ke}}} \quad (36)$$

kde

T_i	teplota teplotonosného média	[°C]
T_e	teplota ve žlabovém kanále	[°C]
λ_{TR}	součinitel tepelné vodivosti ocelové trubky	[W/m.K]
λ_{IZ}	součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace	[W/m.K]
r_1	poloměr ke vnitřní hraně trubky	[m]
r_2	poloměr ke vnější hraně trubky	[m]
r_3	poloměr ke vnější hraně izolace	[m]
h_{ke}	součinitel přestupu tepla	[W/m ² .K]

dle (36)

$$\dot{q}_L = \frac{110 - 25}{\frac{1}{2\pi \cdot 50} \cdot \ln\left(\frac{21,2}{18,6}\right) + \frac{1}{2\pi \cdot 0,8} \cdot \ln\left(\frac{171,2}{21,2}\right) + \frac{1}{2\pi \cdot 10}} = 200 \text{ [W/m]}$$

Tepelná ztráta úseku

$$P_{06-U5} = \dot{q}_L \cdot L = 200 \cdot 74 = 14,8 \text{ [kW]} \quad (37)$$

kde

L	délka úseku	[m]
-----	-------------	-----

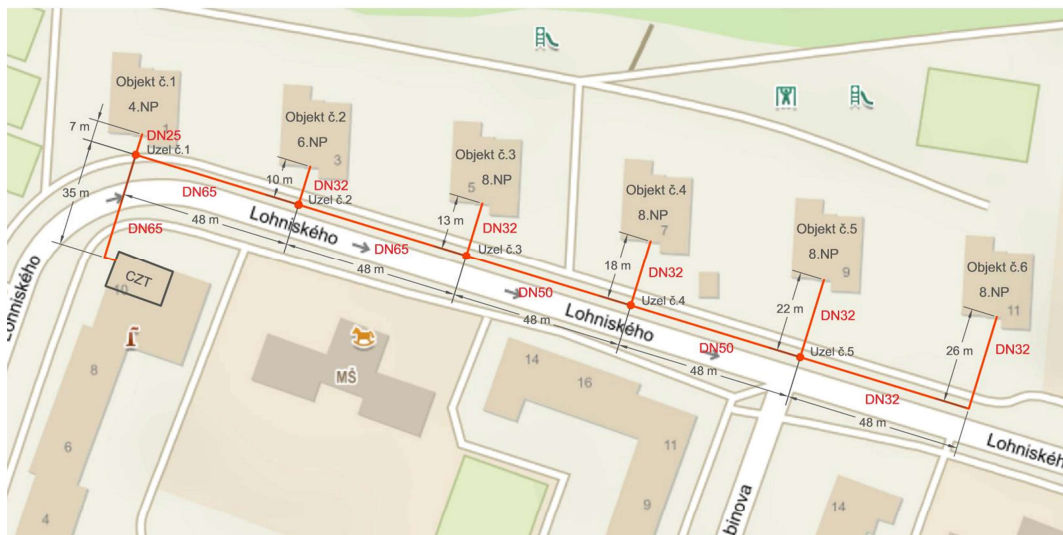
Úsek	M_w [Kg/s]	DN	q_L [W/m]	L [m]	P [kW]
Objekt 6 - Uzel 5	0,73	32	200	74	14,8
Objekt 5 - Uzel 5	0,73	32	200	22	4,4
Uzel 4 - Uzel 5	1,46	50	236	48	11,3
Objekt 4 - Uzel 4	0,73	32	200	18	3,6
Uzel 3 - Uzel 4	2,19	50	236	48	11,3
Objekt 3 - Uzel 3	0,73	32	200	13	2,6
Uzel 2 - Uzel 3	2,91	65	268	48	12,8
Objekt 2 (6.p) - Uzel 2	0,57	32	200	10	2,0
Uzel 1 - Uzel 2	3,48	65	268	48	12,8
Objekt 1 (4.p) - Uzel 1	0,40	25	180	7	1,3
CZT - Uzel 1	3,88	65	268	35	9,4
Tepelná ztráta potrubní sítě					86,4

Tabulka 12 – Tepelná ztráta distribuční sítě

Návrhový výkon této větve tepelného rozvodu je pak součtem ztráty distribucí a návrhových tepelných výkonů všech objektů.

$$\phi_{CZT} = \phi_{HL,CELK} + P_{CELK} = 637 + 86 = \mathbf{724} \text{ [kW]} \quad (38)$$

Tepelné ztráty rozvodem tvoří významný podíl na celkové dodávce tepla souboru budov, a to 12 [%]. Nejvýznamněji se na tom podílí především špatný stav tepelné izolace. Standartně výrobci uvádějí, že tepelný součinitel vodivosti λ se vlivem vystavenému teplu zvýší o 1,5násobek, což rozhodně nereprezentuje reálný stav izolovaných trubek současných rozvodů z 80 let. Běžné ztráty rozvodem tvoří 5 až 7 [%]. Celková délka rozvodů je 371 m.



Obrázek 5 – Distribuční síť CZT

2.2. Navrhovaná tepelně technická opatření

Míru tepelně technických opatření rekonstruovaných objektů jsem stanovil ve třech variantních řešeních. Hodnoty zateplení obálek budov jsem vymezil dle normového požadavku součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 [8] na hodnoty požadované ($U_{N,20}$), doporučené ($U_{rec,20}$) a hodnoty doporučené pro pasivní budovy ($U_{pas,20}$). Neposuzuji, zda objekty splní daný standard, pouze zohledňuji míru zateplení a ekonomickou stránku opatření.

Vlivem provedení tepelně technických opatření je zásadně ovlivněna výměna vzduchu v budovách. Pro zajištění hygienických požadavků na kvalitu ovzduší v bytech je ve všech navrhovaných variantách instalována centrální rovnotlaká vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla. Instalaci rekuperačního výměníku ve vzduchotechnické jednotce je pozitivně ovlivněna ztráta tepla větráním.

Jelikož centrální zdroj tepla doposud kryl pouze potřebu tepla na vytápění a potřeba tepla pro přípravu teplé vody byla kryta individuálně přímým ohřevem elektrickými akumulacími ohříváči v každém bytě, jsou všechny variantní stavy vyhodnoceny s nově navrženými decentrálními zdroji tepla zajišťujícími jak přípravu teplé vody, tak přípravu vody otopné. Potřeba tepla na přípravu teplé vody se navýšila vlivem tepelných ztrát rozvodem a ztrát systému pro přípravu teplé vody, který se nyní odehrává centrálně v domovní kotelně nově navrženým zdrojem tepla. Použitím centrálního systému přípravy teplé vody se pozitivně projeví na potřebě elektrické energie.

Výpočty měrných tepelných toků, návrhových výkonů, tepelných zisků a potřeb respektují stejný postup a vzorce jako při posouzení stávajícího stavu. Vnitřní a vnější výpočtové teplotní podmínky zůstávají zachovány. ($\Theta_e = -12$ [°C], $\Theta_{int} = 20$ [°C])

2.2.1. Varianta $U_{N,20}$ - Požadované hodnoty

V této variantě byly součinitele prostupu tepla nahrazeny požadovanými hodnotami $U_{N,20}$. Ty odpovídají tloušťkám tepelné izolace v tabulce (*Tabulka 13*).

Popis konstrukce	Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{N,20,R}$ [W/m ² .K]	Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ_D [W/m.K]	Tloušťka izolantu [mm]
Střešní konstrukce	$U_{N,20,R} = 0,24$	0,037	40
Stěna vnější	$U_{N,20,W} = 0,3$	0,035	60
Strop nad suterénem	$U_{N,20,S} = 0,6$	-	-
Okna a dveře	$U_{N,20,O} = 1,5$	0,038	20

Tabulka 13 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{N,20}$

Při výpočtu měrných tepelných toků prostupem byla volena hodnota přírážky na vliv tepelných vazeb podle ČSN EN 12831-1 [3], Příloha B, Tabulka B.1 jako pro budovy s optimalizovanými tepelnými mosty $\Delta U_{TB} = 0,05$ [W/m².K]. Hodnota celkové propustnosti slunečního záření $g = 0,75$ [kWh/m²] odpovídá zasklení okenních otvorů dvojsklem.

2.2.2. Varianta $U_{rec,20}$ - Doporučené hodnoty

V této variantě byly součinitele prostupu tepla nahrazeny doporučenými hodnotami $U_{rec,20}$. Ty odpovídají tloušťkám tepelné izolace uvedené v tabulce (*Tabulka 14*).

Popis konstrukce	Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{rec,20,R}$ [W/m ² .K]	Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ_D [W/m.K]	Tloušťka izolantu [mm]
Střešní konstrukce	$U_{rec,20,R} = 0,16$	0,037	120
Stěna vnější	$U_{rec,20,W} = 0,25$	0,035	80
Strop nad suterénem	$U_{rec,20,S} = 0,4$	-	-
Okna a dveře	$U_{rec,20,O} = 1,2$	0,038	50

Tabulka 14 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{rec,20}$

Při výpočtu měrných tepelných toků prostupem byla volena hodnota přírážky na vliv tepelných vazeb podle ČSN EN 12831-1 [3], Příloha B; Tabulka B.1 jako pro *budovy s optimalizovanými tepelnými mosty* $\Delta U_{TB} = 0,05$ [W/m².K]. Prosklené části výplní otvorů v této navrhované variantě mají hodnotu celkové propustnosti slunečního záření, odpovídající dvojsklu se selektivním nízkoemisivním povrchem $g = 0,67$ [kWh/m²].

2.2.3. Varianta $U_{pas,20}$ – Doporučené pasivní hodnoty

V této variantě byly součinitele prostupu tepla nahrazeny hodnotami doporučenými pasivními $U_{pas,20}$. Ty odpovídají tloušťkám tepelné izolace v uvedené tabulce (*Tabulka 15*).

Popis konstrukce	Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{pas,20,R}$ [W/m ² .K]	Hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ_D [W/m.K]	Tloušťka izolantu [mm]
Střešní konstrukce	$U_{pas,20,R} = 0,12$	0,037	200
Stěna vnější	$U_{pas,20,W} = 0,16$	0,035	160
Strop nad suterénem	$U_{pas,20,S} = 0,4$	-	-
Okna a dveře	$U_{pas,20,O} = 0,8$	0,028	90

Tabulka 15 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{pas,20}$

Při výpočtu měrných tepelných toků prostupem již byla volena hodnota přírážky na vliv tepelných vazeb podle ČSN EN 12831-1 [3], Příloha B; Tabulka B.1 jako pro *budovy téměř bez tepelných mostů* $\Delta U_{TB} = 0,02$ [W/m².K]. Hodnota celkové propustnosti slunečního záření $g = 0,5$ [kWh/m²] odpovídá zasklení okenních otvorů trojsklem se selektivním nízkoemisivním povrchem.

2.2.4. Větrání

Jak bylo výše zmíněno, vlivem provedení tepelně technických opatření se zásadně změní poměry výměny čerstvého vzduchu v bytových jednotkách, kdy byla výměna vzduchu zajišťována zejména infiltrací a krátkodobým

provětráváním otvíráním oken. Nově je v navrhovaných variantách uvažováno nucené rovnotlaké větrání v podobě centrální vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla. Instalovaný rekuperační výměník tepla ve vzduchotechnické jednotce pozitivně přispívá ke snížení tepelné ztráty větráním. Průtok větracího vzduchu je stanoven požadavkem kvality ovzduší intenzitou větrání dle normy ČSN EN 15665/Z1 [14], pro bytovou jednotku $I = 0,5$ [h⁻¹].

Požadovaný průtok čerstvého vzduchu

$$V_e = O \cdot I \quad (39)$$

kde

V_e	celkový objemový průtok bytovými jednotkami	[m ³ /h]
O	vnitřní objem bytových jednotek	[m ³]
I	požadovaná intenzita větrání	[h ⁻¹]

Tepelná ztráta větráním

$$\phi_{V,b} = V_e \cdot \rho \cdot c \cdot \mu \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (40)$$

kde

$\phi_{V,b}$	návrhový tepelný výkon větráním budovy	[W]
Θ_{int}	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
Θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\rho \cdot c$	tepelná kapacita vzduchu = 0,34	[Wh/m ³ .K]
μ	účinnost systému větrání se ZZT	[%]

Na základě celkového průtoku vzduchu byla navržena vzduchotechnická jednotka z katalogu výrobce ATREA s. r. o.

Objekt	Požadovaný průtok vzduchu [m ³]	Typ vzduchotechnické jednotky	Tepelná ztráta větráním [kW]
4. podlažní	1451	DUPLEX 1500 Multi-N	3,9
6. podlažní	2176	DUPLEX 2500 Multi-N	5,9
8. podlažní	2901	DUPLEX 2500 Multi-N	7,9

Tabulka 16 – Návrh VZT jednotek ATREA

Centrální vzduchotechnická jednotka s rekuperačním výměníkem je umístěna na střeše objektu a vzduch je přiváděn a odváděn potrubím kruhového průřezu k jednotlivým bytovým jednotkám instalačními šachtami. Čerstvý vzduch je přiveden do obytných místností a odveden z místností hygienického zázemí a kuchyní. Návrh větracích jednotek je proveden pouze koncepčně, což je pro naše potřeby dostačující. Při výpočtu tepelné ztráty větráním byla uvažována účinnost celého systému větrání se ZZT 75 [%]. Zbývající tepelná ztráta větráním je hrazena otopnou soustavou.

2.2.5. Vyhodnocení tepelně technických opatření

Všechny objekty byly posouzeny pro každou z variant opatření a výsledné tepelné ztráty a potřeby tepla na vytápění jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 17*)

Objekt/Varianta	Tepelná ztráta [kW]/Roční potřeba tepla na vytápění [MWh]					
	4. podlažní		6. podlažní		8. podlažní	
Stávající stav	66,1	139,5	92,8	191,9	119,6	244,8
Požadované $U_{N,20}$	32,6	47,8	45,4	63,7	58,3	79,9
Doporučené $U_{rec,20}$	26,8	35,3	37,8	47,7	48,8	60,4
Pasivní $U_{pas,20}$	18,6	19,4	26,2	26,0	33,9	32,9

Tabulka 17 – Vyhodnocení tepelně technických opatření

2.3. Plynová kotelna

2.3.1. Koncepce vytápění

Koncepce otopné soustavy zůstane zachována jako vertikální protiproudá dvoutrubková se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody. Ležaté rozvody jsou vedeny u stropu suterénu od zdroje v technické místnosti k jednotlivým instalačním šachtám. Otopná tělesa jsou umístěna na stěně pod okny. Vzhledem k výraznému snížení tepelných ztrát vlivem provedení tepelně technických opatření se změní teplotní charakteristika otopné soustavy v navrhovaných variantách v závislosti na novém zdroji tepla. V návrhu plynové domovní kotelny, která bude zajišťovat vytápění a nově také přípravu teplé vody, je uvažováno s nástěnnými kondenzačními kotli zapojenými v kaskádě s plynulou modulací výkonu. Regulace tepelného výkonu je řízena kvalitativně směšovací armaturou v závislosti na venkovní teplotě (ekvitermně). V soustavě jsou osazena pojistná a zabezpečovací zařízení.

Volba teplotního spádu pro plynovou kotelnu

Různé technologie přípravy tepla vyžadují různé teplotní charakteristiky topné vody (teplotní spád). První variantou nahrazení zdroje tepla pro vytápění jsou plynové kondenzační kotle. Při zachování rozvodů a původních otopných těles je důležité také zachovat stejný hmotnostní průtok soustavou, čemuž odpovídá zvolený teplotní spád **60/40°C**.

2.3.2. Koncepce přípravy teplé vody

Příprava teplé vody bude nově probíhat centrálně v kotelně v suterénu každého z objektů. Stacionární nepřímě ohříváný akumuláční zásobník bude nabíjen plynovým kondenzačním kotlem na požadovanou teplotu 60 [°C] dle ČSN EN 12831-3 [4]. Teplota vstupní vody je uvažována v zimních měsících 10 [°C]. Nové rozvody teplé vody budou k výtokovým armaturám vedeny instalačními šachtami a jsou doplněny dvoutrubkovou cirkulací s oběhovým čerpadlem. Veškeré rozvody jsou provedeny v mědi a dle vyhlášky č. 193/2007 Sb. jsou opatřeny tepelnou izolací v dané tloušťce.

2.3.2.1. Návrh akumulčního zásobníku

Objem akumulčního zásobníku je navržen v závislosti na denní potřebě teplé vody na osobu dle ČSN EN 12831-3 [4]. Výpočet denní potřeby teplé vody a potřeby tepla pro přípravu teplé vody, byl již proveden v oddíle 2.1.4 pro stávající stav s elektrickými akumulčními ohřivači. V nově navrhovaných stavech je nutno uvažovat s přírůzkou na potřebě tepla pro přípravu, způsobenou tepelnými ztrátami systému přípravy a rozvodů teplé vody, pro bytové domy $z = 0,5$ [-]. Dále je zohledněn pokles potřeby tepla pro přípravu o cca 25 [%] v letních měsících (červenec a srpen) z důvodu dovolených. Snížení potřeby představuje hodnota 349,5 dní.

dle (27)

$$V_{w,d} = 2,72 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

dle (26)

$$Q_{w,p,d} = 158 \text{ [kWh]}$$

$$Q_{w,p,d,z} = Q_{w,p,d} \cdot (1 + z) = 158 \cdot (1 + 0,5) = 237 \text{ [kWh]}$$

kde

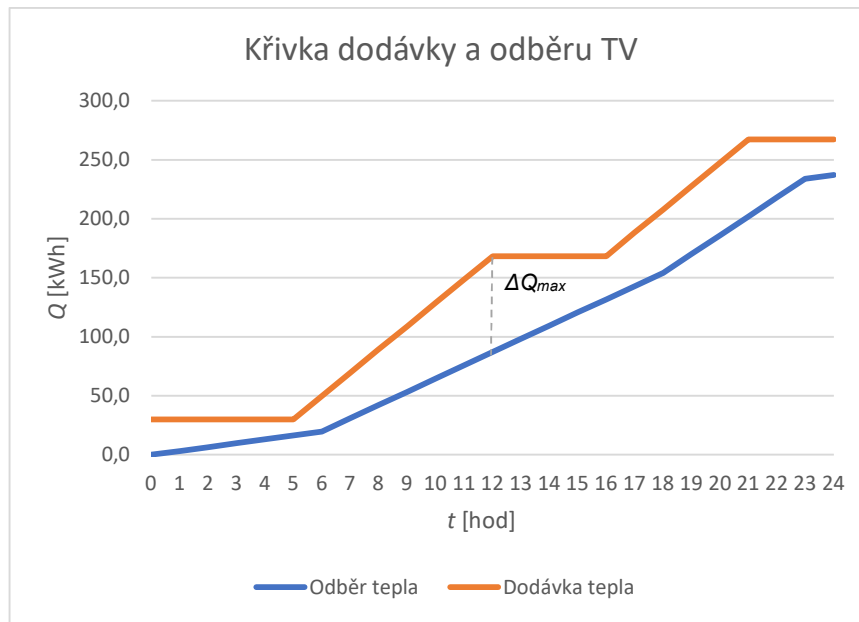
$V_{w,d}$	denní potřeba teplé vody	[m ³ /d]
$Q_{w,p,d}$	denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody	[kWh/d]
z	poměrná ztráta tepla při ohřevu a dopravě teplé vody	[-]

Při návrhu akumulčního zásobníku uvažuji s přerušovanou dodávkou tepla do zásobníku a využívám jeho akumulční schopnost. To se projeví na větším objemu zásobníku, což také vhodně redukuje nárazové nestandardní chování odběratelů. Návrh akumulčního zásobníku vychází z metody křivek odběru a dodávek. Profil odběru pro bytový dům jsem stanovil dle aproximativní křivky odběru teplé vody za předpokladu:

Časový úsek [hod]	Počet hodin [hod]	Podíl odběru [%]
0:00 - 6:00	6	0
6:00 - 18:00	12	60
18:00 - 23:00	5	40
23:00 - 24:00	1	0

Tabulka 18 – Hodnoty aproximativní křivky odběru TV v bytovém domě

Na základě aproximativní křivky odběru teplé vody jsem navrhl křivku dodávky tepla v rozmezí 24 hodin. Pro pokrytí nestandardního chování odběratelů jsem navrhl bezpečnostní rezervu 15 [%] což odpovídá 30 [kW].



Obrázek 6 – Graf křivek dodávek a odběru TV

Maximální vertikální rozdíl křivek odpovídá hodnotě $\Delta Q_{max} = 81,4$ [kWh] a nastává ve 12 [hod]. Doba nabíjení akumulčního zásobníku je $\tau = 12$ [hod].

Velikost zásobníku

$$V_z = \rho \cdot c \cdot \frac{\Delta Q_{max}}{(t_2 - t_1)} = \frac{81\,400}{1000 \cdot 1,163 \cdot (60 - 10)} = 1,4 \text{ [m}^3\text{]} \quad (41)$$

kde

V_z	velikost zásobníku	[m ³]
Q_{max}	maximální rozdíl tepla mezi dodávkou a odběrem	[Wh]
$\rho \cdot c$	tepelná kapacita vody = 1 163	[Wh/m ³ ·K]
t_1	teplota studené vody na vstupu	[°C]
t_2	požadovaná teplota vody na výstupu	[°C]

Pro 6 podlažní objekt byly z produktového katalogu firmy BUDERUS vybrány dva akumulční zásobníky typu **SU750.5** s celkovým instalovaným objemem **1450** [l].

2.3.2.2. Návrh zdroje pro přípravu teplé vody

Tepelný výkon zdroje pro přípravu teplé vody

$$\phi_{TV,N} = \left(\frac{Q_{w,p,d,z}}{\tau} \right)_{max} = \left(\frac{237}{12} \right) = 19,8 \text{ [kW]} \quad (42)$$

kde

$\phi_{TV,N}$	návrhový tepelný výkon pro ohřev TV	[W]
$Q_{w,p,d,z}$	denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody včetně ztrát	[kWh/d]
τ	doba nabíjení	[h]

Na základě vypočteného návrhového tepelného výkonu zdroje byl z produktového katalogu firmy BUDERUS zvolen kondenzační kotel typu **GB192-25i** s účinností ve vysokoteplotním režimu 98,6 [%] a jmenovitým výkonem **23,8 [kW]**.

Objekt	Kondenzační kotel			Akumulační zásobník		
	Návrh. výkon [kW]	Instal. výkon [kW]	Typ kotle	Návrh. výkon [kW]	Instal. výkon [kW]	Typ zásobníku
4 podlažní	13,4	16,7	GB192-15i	942	960	1x SU1000.5
6 podlažní	19,7	23,8	GB192-25i	1400	1480	2x SU750.5
8 podlažní	25,8	33,7	GB192-35i	1690	1700	1x SU1000.5 1x SU750.5

Tabulka 19 – Instalovaný výkon kotlů a objem zásobníků

Potřeba teplé vody se pro jednotlivé varianty objektu se stejným počtem podlaží nemění.

2.3.3. Návrh zdroje pro vytápění

Návrh zdrojů tepla je proveden na základě návrhového tepelného výkonu prostupem a větráním jednotlivých objektů.

dle (1)

$$\phi_{HL,b} = \phi_{T,b} + \phi_{V,b}$$

kde

$\phi_{HL,b}$ návrhový tepelný výkon – požadovaný výkon zdroje [W]

$\phi_{T,b}$ návrhový tepelný výkon prostupem [W]

$\phi_{V,b}$ návrhový tepelný výkon větráním [W]

Varianta/Objekt	Návrhový výkon pro VYT / Instalovaný výkon pro VYT					
	4 podlažní		6 podlažní		8 podlažní	
Stávající stav	66,1	67,4	92,8	95,8	119,6	129,5
Požadované $U_{N,20}$	32,6	33,7	45,4	47,6	58,3	67,4
Doporučené $U_{rec,20}$	26,8	33,7	37,8	40,5	48,8	57,5
Pasivní $U_{pas,20}$	18,6	18,6	26,2	33,7	33,9	33,4

Tabulka 20 – Instalovaný výkon pro vytápění

2.3.4. Návrh plynové kotelny

Ve všech řešených objektech se jedná o plynovou kotelnu III. kategorie, pro kterou se aplikují předpisy dle ČSN 07 0703 [5]. Kotelny III. kategorie jsou specifikovány jako „*kotelny se jmenovitým tepelným výkonem jednoho kotle od 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW včetně a kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů větším než 100 kW, i když ani jeden z nich nedosahuje jmenovitého tepelného výkonu od 50 kW*“. Lze je umísťovat ve vyhrazeném prostoru, skříňovém objektu, skříni nebo samostatné místnosti stavby (sklepy, suterény). „*Kotelny musí být vybaveny bezpečnostním detekčním systémem s automatickým uzávěrem plynu, který samočinně uzavře přívod plynu do kotelny při překročení limitních parametrů indikovaných detekčním systémem. Součástí bezpečnostního systému je i indikace překročení teploty vzduchu v kotelně. Detekční systém má dvoustupňovou funkci: 1. stupeň – optická a zvuková signalizace do místa obsluhy nebo dozoru, 2. stupeň – blokovací funkce (funkce automatického uzávěru). Provoz kotelny může být obnoven až po osobním zásahu obsluhy nebo dozoru. Elektroinstalace plynového zařízení kotelny, kromě kotlen s kotli řízenými počítači, musí být opatřena bezpečnostním vypínáním, kterým se v případě nutnosti dá odstavit přívod elektrické energie do automatiky hořáku.*“

Dále musí být zajištěn přívod spalovacího vzduchu, intenzita větrání a teplota vzduchu v kotelně. Potřebné množství spalovacího vzduchu je dáno výkonem hořáků kotlů a je třeba zajistit také potřebný tlak vzduchu. Podtlak v kotelně by mohl mít za následek zhasnutí hořáku. Přívod vzduchu pro hořáky je řešen samostatným potrubím z exteriéru (kotle typu C), nicméně i pro volbu přívodu spalovacího vzduchu z vnějšího prostředí je podmínka na minimální intenzitu větrání v kotelně $I = 0,5 \text{ [h}^{-1}\text{]}$. Doporučená teplota vnitřního prostředí kotelny v zimním období je $7 \text{ [}^\circ\text{C]}$ a pokud nebude tepelný zisk od kotlů a akumulčních výměníků dostačující, je nutné větrací vzduch ohřívat. Odvod spalin a přívod spalovacího vzduchu je řešen jednotně koncentrickým potrubím vedeným na fasádě objektu. Potrubí je vyvedeno minimálně 1 [m] nad hranu atiky a osazeno protidešťovou stříškou. V plynových kotelnách nesmíme opomenout také na odvod kondenzátu do kanalizačního potrubí a osazení odtokové guly v podlaze místnosti.

Varianta/ Objekt	Celkový instalovaný výkon v kotelně [kW] / Typ a počet kotlů					
	4. podlažní		6. podlažní		8. podlažní	
Stávající stav	84	2x GB192-35i 1x GB192-15i	120	2x GB192-50i 1x GB192-25i	163	2x GB192-50i 2x GB192-35i
Požadované $U_{N,20}$	50	1x GB192-35i 1x GB192-15i	71	3x GB192-25i	101	3x GB192-35i
Doporučené $U_{rec,20}$	50	1x GB192-35i 1x GB192-15i	64	2x GB192-25i 1x GB192-15i	91	2x GB192-35i 1x GB192-25i
Pasivní $U_{pas,20}$	40	1x GB192-25i 1x GB192-15i	58	1x GB192-35i 1x GB192-25i	67	1x GB192-35i 2x GB192-15i

Tabulka 21 – Instalované výkony v kotelnách

Roční potřeba zemního plynu

$$B_R = \frac{Q_{H,i} \cdot 3600}{\eta \cdot H} \quad (43)$$

kde

B_R	spotřeba zemního plynu	[m ³]
$Q_{H,i}$	roční potřeba tepla	[Wh]
η	účinnost zdroje	[-]
H	výhřevnost zemního plynu $H_{ZP} = 33,9$	[MJ/m ³]

Roční potřeba tepla pro vytápění (6.NP, varianta $U_{N,20}$)

dle (20)

$$Q_{H,6,P,U_{N,20}} = 63,7 \text{ [MWh]}$$

Roční potřeba ZP na vytápění

dle (43)

$$B_{R,6,P,VYT} = \frac{63,7 \cdot 3600}{0,98 \cdot 33,9} = 6\,856 \text{ [m}^3\text{]}$$

Roční potřeba tepla pro přípravu teplé vody (6.NP)

dle (25)

$$Q_{W,6,P} = 55,3 \text{ [MWh]}$$

dle (43)

$$B_{R,6,P,TV} = \frac{55,3 \cdot 3600}{0,98 \cdot 33,9} = 5\,950 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objekt / Varianta	Celková roční potřeba zemního plynu [m ³]		
	4 podlažní	6 podlažní	8 podlažní
Stávající stav	19 346	26 841	186 875
Požadované $U_{N,20}$	9 282	12 806	61 295
Doporučené $U_{rec,20}$	7 927	11 100	45 995
Pasivní $U_{pas,20}$	6 125	8 845	24 909

Tabulka 22 – Roční potřeby zemního plynu pro vytápění a přípravu TV

Větrání kotelny

Přívod vzduchu pro spalování se vypočte ze vzorce:

$$V_S = B_H \cdot V_{SI} \quad (44)$$

kde

V_S	přívod vzduchu pro spalování	[m ³ /h]
B_H	hodinová spotřeba zemního plynu	[m ³ /h]
V_{SI}	skutečné množství vzduchu pro spalování	[m ³ /h]

$$V_{SI} = V_{min} \cdot \lambda \cdot \left[\frac{273 + t}{273} \cdot \frac{101,3}{p} \right] \quad (45)$$

kde

λ	přebytek vzduchu pro spalování (1,1 až 1,2)	[-]
V_{min}	minimální teoretické množství vzduchu pro spalování ZP	[m ³ /h]
t	teplota vzduchu pro skutečné podmínky	[°C]
p	výpočtový tlak vzduchu ($p = 98,1$ kPa)	[kPa]

$$V_{min} = 0,26 \cdot H - 0,25 = 0,26 \cdot 33,9 - 0,25 = \mathbf{8,6} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (46)$$

dle (45)

$$V_{SI} = 8,6 \cdot 1,1 \left[\frac{273 + 15}{273} \cdot \frac{101,3}{98,1} \right] = \mathbf{10,3} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Hodinová potřeba paliva

$$B_H = \frac{Q_{M,i} \cdot 3600}{\eta \cdot H} = \frac{28,3 \cdot 3,6}{0,98 \cdot 33,9} = \mathbf{3,1} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (47)$$

kde

B_H	spotřeba zemního plynu	[m ³]
$Q_{M,i}$	hodinová potřeba tepla (leden)	[Wh]
η	účinnost zdroje	[-]
H	výhřevnost zemního plynu $H_{ZP} = 33,9$	[MJ/m ³]

dle (44)

$$V_S = 3,1 \cdot 10,3 = \mathbf{31,7} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Přívod vzduchu na odvod škodlivin:

$$V_i = I \cdot O = 0,5 \cdot 50,2 = 25 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (48)$$

kde

V_i	množství vzduchu pro odvod škodlivin	[m ³ /h]
I	Intenzita větrání kotelny	[h ⁻¹]
O	objem vzduchu v kotelně	[m ³]

Výměna vzduchu pro odvod tepelné zátěže:

$$V_z = 0,025 \cdot \frac{Q_K}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} = 0,025 \cdot \frac{71,4}{1,2 \cdot 0,28 \cdot 10} = 21,3 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (49)$$

kde

Q_K	celkový výkon kotlů	[W]
Δt	rozdíl teplot vzduchu	[K]

Velikost přívodního otvoru pro větrání

$$S = \frac{V_{max}}{3600 \cdot v} = \frac{31,7}{3600 \cdot 0,3} = 0,03 \text{ [m}^2\text{]} \quad (50)$$

kde

S	plocha větracího otvoru	[m ²]
V_{max}	Maximální množství větracího vzduchu	[m ³ /h]
v	rychlost větracího vzduchu	[m/s]

Velikost přívodního otvoru odpovídá kruhovému průřezu $d = 200$ [mm]

2.4. Tepelná čerpadla

2.4.1. Koncepce vytápění TČ

Ve variantě s tepelnými čerpadly také zůstávají zachovány rozvody vertikální dvoutrubkové protiproudé otopné soustavy. Otopná tělesa jsou nahrazena novými deskovými typu Radik Klasik-R, jelikož stávající článková litinová tělesa jsou pro hrazení tepelné ztráty místnosti v nízkoteplotním režimu nevyhovující. Nová tělesa jsou umístěna pod okny a jejich výkon odpovídá tepelné ztrátě místnosti a šířce okna. Umístění tepelných čerpadel **vzduch-voda** je předpokládáno na severní straně objektů, kde nejsou okna, v blízkosti není další zástavba a je zde dostatečný prostor, jak vyplynulo z místního šetření. Tepelná čerpadla jsou hydraulicky oddělena od otopné soustavy vloženým akumulacním zásobníkem v technické místnosti suterénu, jsou navržena pro přednostní přípravu teplé vody s doplňkovým zdrojem tepla v podobě elektrokotle. Tento provoz se nazývá monoenergetický, paralelně bivalentní. Kaskáda tepelných čerpadel s plynulou regulací topného výkonu je řízena v závislosti na venkovní teplotě.

Volba teplotního spádu pro tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo jako nízkoteplotní zdroj pracuje nejefektivněji s nízkými teplotními spády, s rostoucím tepelným spadem pak klesá topný faktor tepelného čerpadla. Vzhledem k výraznému snížení tepelných ztrát objektů je nutné také upravit teplotní spád v otopné soustavě na **50/35°C**.

2.4.2. Koncepce přípravy teplé vody TČ

Koncepce přípravy teplé vody je stejná jako u varianty pro plynovou kotelnu, Oddíl 2.32. Příprava teplé vody bude nově probíhat centrálně v kotelně v suterénu každého z objektů. Stacionární nepřímě ohřívání akumulacním zásobníkem bude nabíjen plynovým kondenzačním kotlem na požadovanou teplotu 60 [°C] dle ČSN EN 12831-3 [4]. Teplota vstupní vody je uvažována v zimních měsících 10 [°C]. Nové rozvody teplé vody budou k výtokovým armaturám vedeny instalačními šachtami a jsou doplněny dvoutrubkovou cirkulací s oběhovým čerpadlem. Veškeré rozvody jsou provedené v mědi a dle vyhlášky č. 193/2007 Sb. jsou opatřeny tepelnou izolací v dané tloušťce.

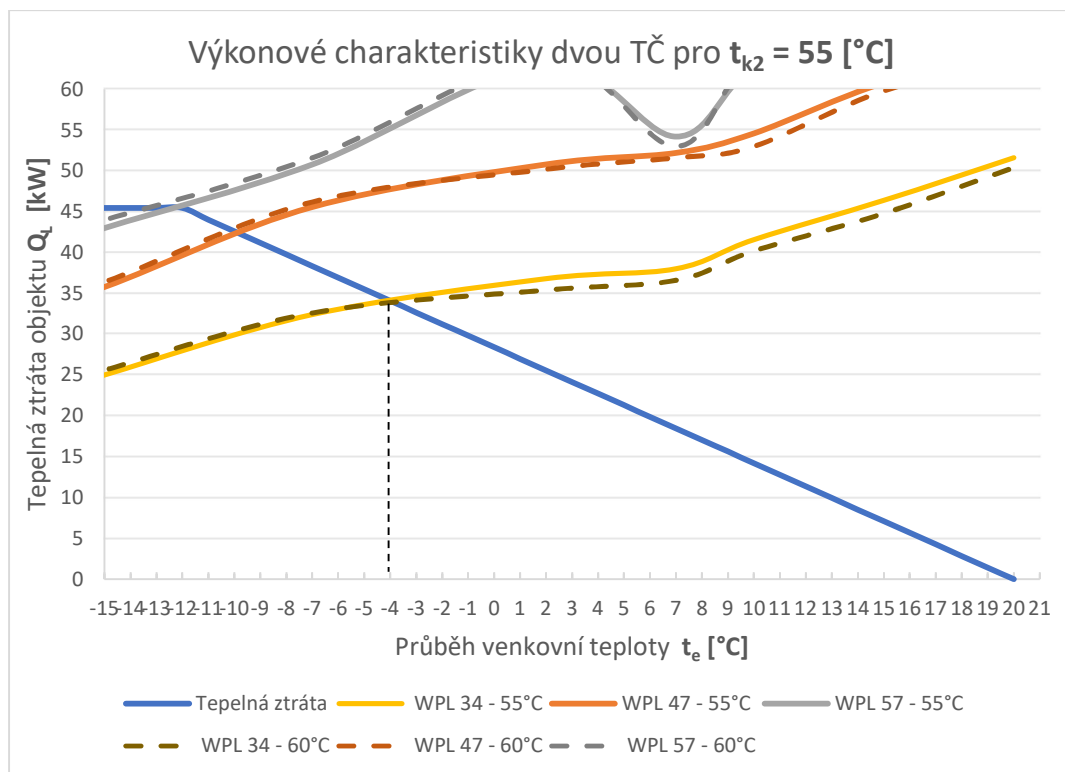
2.4.3. Návrh zdroje

Pro obytné budovy je navrhovaný výkon tepelného čerpadla proveden na základě pokrytí potřeby tepla na vytápění. Sestrojením grafu se závislostí tepelné ztráty objektu na venkovní teplotě proložený výkonnostními charakteristikami tepelného čerpadla, které svým výkonem pokrývá cca 60 [%] tepelné ztráty objektu, což odpovídá 98 [%] pokrytí potřeby tepla, hledám bod bivalence (bod kdy se spouští doplňkový zdroj). Bod bivalence by se měl pro monoenergetický provoz pohybovat v rozmezí -3 až -7 [°C].

Demonstrativní návrh tepelného čerpadla voda-vzduch je proveden pro variantu v 6 podlažním objektu, s tepelně technickými opatřeními odpovídající variantě

požadovaných hodnot $U_{N,20}$. Tepelné čerpadlo bude zajišťovat přednostní přípravu teplé vody a vytápění v průběhu otopného období.

Princip návrhu tepelného čerpadla vychází z TNI 73 0351 [7]. Norma přejímá takzvanou intervalovou metodu výpočtu z ČSN EN 15316-4-2. V této metodě bilancují vliv venkovních teplotních intervalů v rozmezí 1 [K] v dané lokalitě a hustotu jejich výskytu v daném období. Není vhodné použití metody založené na průměrné měsíční teplotě, jelikož výsledky jsou nevyhovující vzhledem k tomu, že průměrná měsíční teplota klesá pod bod mrazu pouze v měsících lednu, únoru a prosinci, a to na maximálně na teplotu $-1,2$ [°C]. Topný faktor tepelného čerpadla klesá s klesající venkovní teplotou, a to je důležité zohlednit v bilanci dodaného tepla a odebrané elektrické energie. Návrhové charakteristiky tepelných čerpadel jsem čerpal z podkladů výrobce STIEBEL ELTRON.



Obrázek 7 – Výkonové charakteristiky pro dvě TČ

Volím tedy 2x TČ WPL 34 s bodem bivalence -4 [°C].

Výpočtový postup

Užitím následujících vzorců jsem rozdělil měsíční potřeby tepla pro vytápění a přípravu TV na podíly dle výpočtových intervalů.

$$Q_{p,TV,j} = Q_{p,TV} \cdot f_{TV,j} \quad (51)$$

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{p,VYT,m} \cdot f_{VYT,j} \quad (52)$$

kde

$Q_{p,VYT,m}$	celková j-(měsíční) potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{p,TV,m}$	celková j-(měsíční) potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
$Q_{p,VYT,j}$	podíl potřeby na vytápění v intervalu	[kWh]
$Q_{p,TV,j}$	podíl potřeby na přípravu TV v intervalu	[kWh]
$f_{VYT,j}$	měsíční podíl potřeby tepla na vytápění	[-]
$f_{TV,j}$	měsíční podíl potřeby tepla na přípravu teplé vody	[-]

Teplotu připravované teplé vody uvažuji $t_{TV} = 55$ [°C]. Navíc je nutné přičíst zvýšení o 5 [°C], které zohledňuje teplotu přívodní vody v cirkulaci.

$$t_{k2} = t_{TV} + \Delta t_{TV} = 55 + 5 = \mathbf{60} \text{ [°C]} \quad (53)$$

kde

t_{k2}	teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]
t_{TV}	teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]
$t_{\Delta TV}$	teplota na výstupu z kondenzátoru	[°C]

Pro každý teplotní interval je nutné vypočíst tepelný výkon čerpadla $\phi_{k,TV,j}$ a topný faktor $COP_{TV,j}$. Toto je provedeno, na základě charakteristik tepelného čerpadla, užitím kubické interpolace. Demonstrativní výpočet je proveden pro venkovní teplotu -7 [°C] v měsíci lednu.

Teplu dostupné pro přípravu TV se vypočte:

$$Q_{k,TV,j} = \phi_{k,TV,j} \cdot \tau_i = 32,6 \cdot 25 = \mathbf{815} \text{ [kWh]} \quad (54)$$

kde

$\phi_{k,TV,j}$	výkon tepelného čerpadla v daném intervalu	[kW]
τ_i	délka intervalu, ve kterém trvá daná průměrná teplota	[h]

Následujícím vzorcem stanovím, jak velkou část tepla uhradí TČ.

$$Q_{TC,TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}; Q_{p,TV,j}) = \min(166,5; 815) = \mathbf{166,5} \text{ [kWh]} \quad (55)$$

V tomto případě je pokryta celá potřeba v daném teplotním intervalu. Doba chodu tepelného čerpadla v daném teplotním intervalu se vypočte:

$$\tau_{TC,TV,i} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{\phi_{k,TV,j}} = \frac{166,5}{32,6} = \mathbf{5,11} \text{ [h]} \quad (56)$$

kde

$Q_{TC,TV,j}$ teplo dostupné z TČ pro přípravu TV [kWh]

$\phi_{k,TV,j}$ výkon tepelného čerpadla v daném intervalu [kW]

Potřebu elektrické energie pro provoz čerpadla v daném teplotním intervalu a příslušné době trvání pak vypočtu:

$$E_{TC,TV,i} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{COP_{TV,j}} = \frac{166,5}{1,9} = \mathbf{87,64} \text{ [kWh]} \quad (57)$$

kde

$Q_{TC,TV,j}$ teplo dostupné z TČ pro přípravu TV [kWh]

$COP_{TV,j}$ topný faktor TČ v daném intervalu [-]

V topném faktoru je již uvažováno s pomocnými energiemi pro provoz TČ. Je nutné dále uvažovat další pomocné energie, například pro oběhová čerpadla pro přednostní nabíjení zásobníku TV nebo cirkulaci. Pomocná energie lze vypočítat dle TNI 73 0331 [6]; Kapitola A.1.5.1.1. Pomocnou energii je pak nutno násobit délkou provozu TČ v teplotním intervalu pro přípravu TV.

$$E_{pom,TV,j} = E_{pom,TV} \cdot \tau_{TC,TV,j} \quad (58)$$

Výpočet režimu vytápění se provede obdobným způsobem a je závislý na zbývající dostupné energii v teplotním intervalu, což stanovím rozdílem využitého času a času zbývajícího.

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{TC,TV,j} = 25 - 5,11 = \mathbf{19,89} \text{ [h]} \quad (59)$$

Dostupné teplo z TČ pro vytápění v daném intervalu:

$$Q_{k,VYT,j} = \phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} = 34 \cdot 19,89 = \mathbf{644,5} \text{ [kWh]} \quad (60)$$

Teplo dodané pro krytí potřeby tepla na vytápění:

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) = \min(644,5; 713,5) = \mathbf{644,5} \text{ [kWh]} \quad (61)$$

Potřeba elektrické energie se pak vypočte dle vzorce:

$$E_{TC,TV,i} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} = \frac{644,5}{2,1} = \mathbf{306,9} \text{ [kWh]} \quad (62)$$

Délka provozu TČ v daném teplotním intervalu pro vytápění:

$$\tau_{TC,VYT,i} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\phi_{k,VYT,j}} = \frac{644,5}{32,4} = \mathbf{19,89} \text{ [h]} \quad (63)$$

Tepelné čerpadlo není schopno pokrýt veškerou potřebu tepla v daném intervalu a zbylou potřebu je proto nutné pokrýt bivalentním zdrojem v podobě elektrokotle.

Teplo pro vytápění dodané bivalentním zdrojem v daném intervalu:

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} = 713,5 - 644,5 = \mathbf{69} \text{ [kWh]} \quad (64)$$

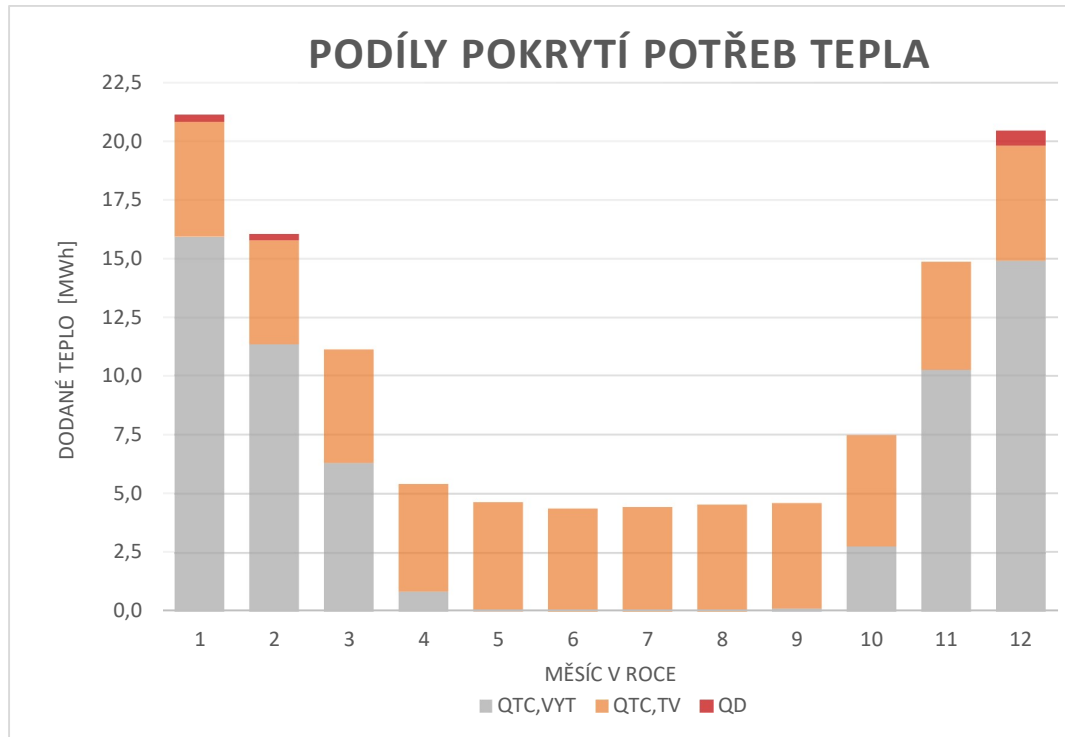
Délka provozu bivalentního zdroje v daném teplotním intervalu:

$$\tau_{D,VYT,i} = \frac{Q_{d,VYT,j}}{\tau_i} = \frac{69}{25} = \mathbf{2,8} \text{ [h]} \quad (65)$$

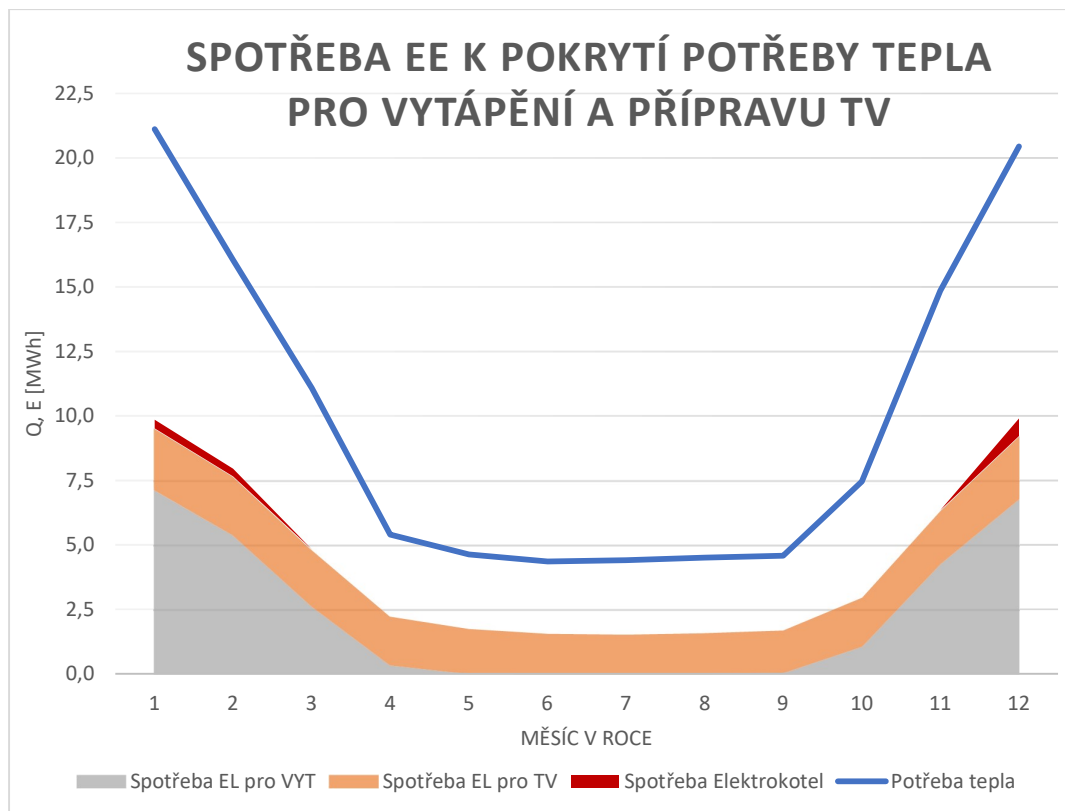
Součty měsíčních hodnot jsou uvedeny v tabulce (*Tabulka 23*) pro jednotlivé a názorně zobrazeny v grafu (*Graf 1*) a (*Graf 2*).

Měsíc		Teplo dodané TČ na VYT a TV	Teplo dodané TČ na přípravu TV	Teplo dodané TČ na VYT	Teplo dodané doplňkovým zdrojem
		Q _{TC}	Q _{TC,TV}	Q _{TC,VYT}	Q _D
		[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Leden	I.	20,81	4,89	15,92	0,32
Únor	II.	15,77	4,42	11,34	0,28
Březen	III.	11,13	4,85	6,28	-
Duben	IV.	5,39	4,55	0,84	-
Květen	V.	4,63	4,60	0,03	-
Červen	VI.	4,36	4,36	-	-
Červenec	VII.	4,42	4,42	-	-
Srpen	VIII.	4,52	4,52	-	-
Září	IX.	4,58	4,46	0,13	-
Říjen	X.	7,46	4,70	2,76	-
Listopad	XI.	14,86	4,64	10,22	-
Prosinec	XII.	19,79	4,90	14,89	0,65
		117,72	55,31	62,41	1,24

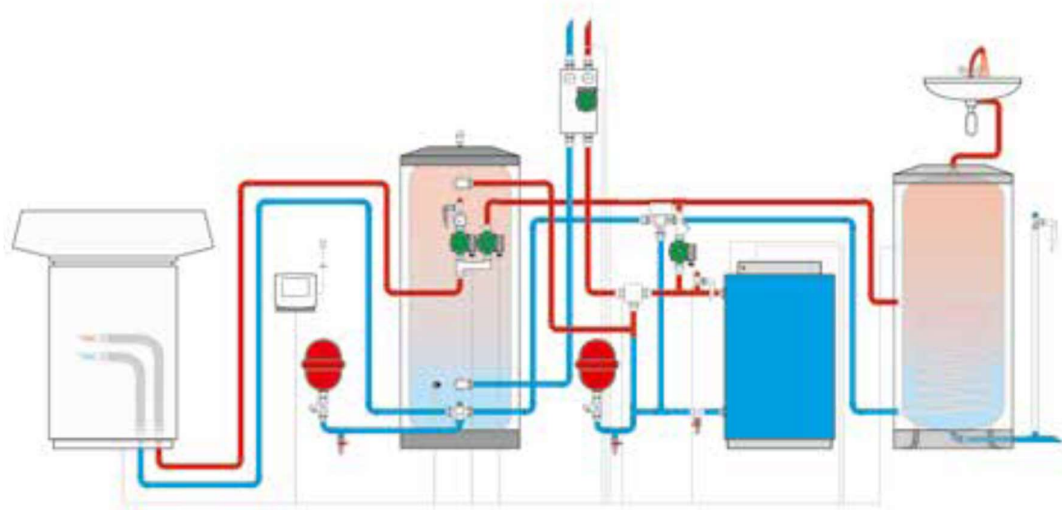
Tabulka 23 – Využití TČ pro pokrytí potřeb vytápění a přípravu TV



Graf 1 – Využití TČ pro pokrytí potřeb Vytápění a přípravu TV



Graf 2 – Spotřeba elektrické energie k pokrytí potřeby tepla



Obrázek 8 – Ukázka zapojení tepelného čerpadla s bivalentním zdrojem (Zdroj: Projekční podklady firmy SIEBEL ELTRON)

2.4.4. Vyhodnocení variant s tepelným čerpadlem

4. podlažní objekt				
Varianta	EE pro TČ [MWh]	SFP [-]	Počet a typ TČ	EE pro Elektrokotel [MWh]
Stávající stav	74,9	2,45	2x WPL 57	1,9
Požadované $U_{N,20}$	36,4	2,43	1x WPL 57	0,4
Doporučené $U_{rec,20}$	30,3	2,50	1x WPL 47	0,2
Pasivní $U_{pas,20}$	24,4	2,47	1x WPL 34	0,1

Tabulka 24 - Roční spotřeba elektrické energie pro 4. podlažní objekt

6. podlažní objekt				
Varianta	EE pro TČ [MWh]	SFP [-]	Počet a typ TČ	EE pro Elektrokotel [MWh]
Stávající stav	101,3	2,53	3x WPL 47	3,9
Požadované $U_{N,20}$	50,9	2,48	2x WPL 34	1,3
Doporučené $U_{rec,20}$	44,4	2,48	2x WPL 34	0,2
Pasivní $U_{pas,20}$	34,1	2,47	1x WPL 34	1,6

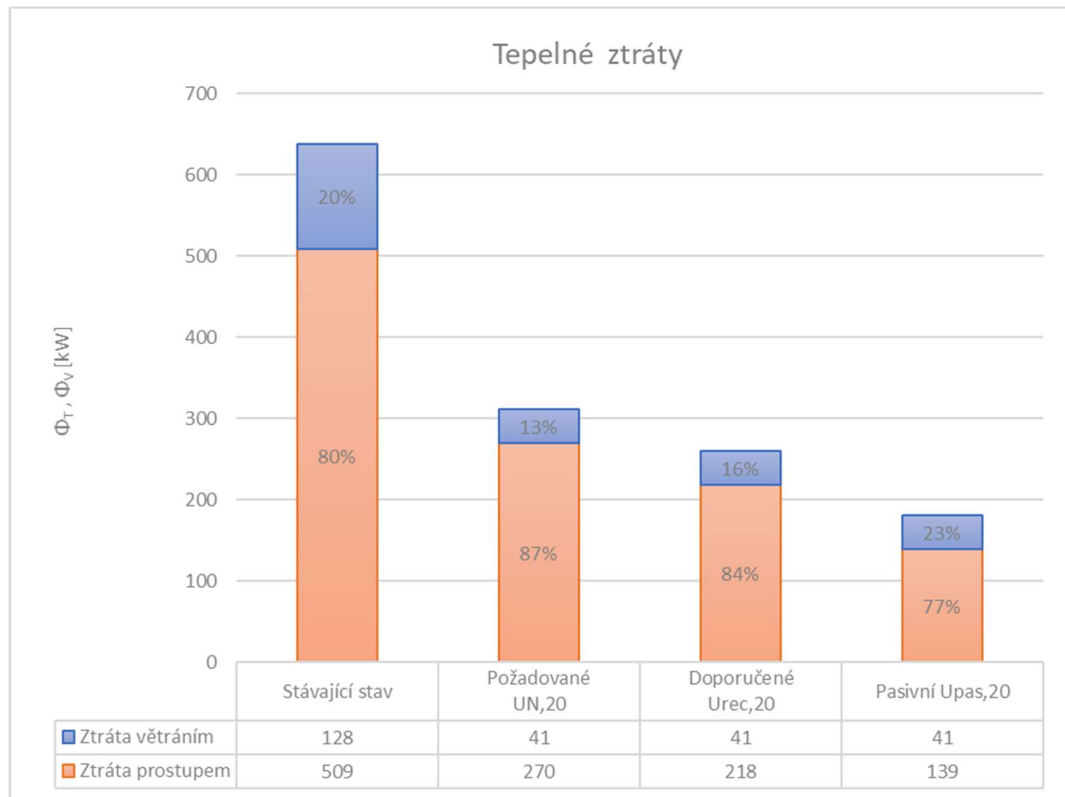
Tabulka 25 - Roční spotřeba elektrické energie pro 6. podlažní objekt

8. podlažní objekt				
Varianta	EE pro TČ [MWh]	SFP [-]	Počet a typ TČ	EE pro Elektrokotel [MWh]
Stávající stav	130,5	2,53	4x WPL 47	3,9
Požadované $U_{N,20}$	63,3	2,51	2x WPL 34	0,8
Doporučené $U_{rec,20}$	56,4	2,48	2x WPL 34	2,0
Pasivní $U_{pas,20}$	44,9	2,41	1x WPL 34	0,4

Tabulka 26 - Roční spotřeba elektrické energie pro 8. podlažní objekt

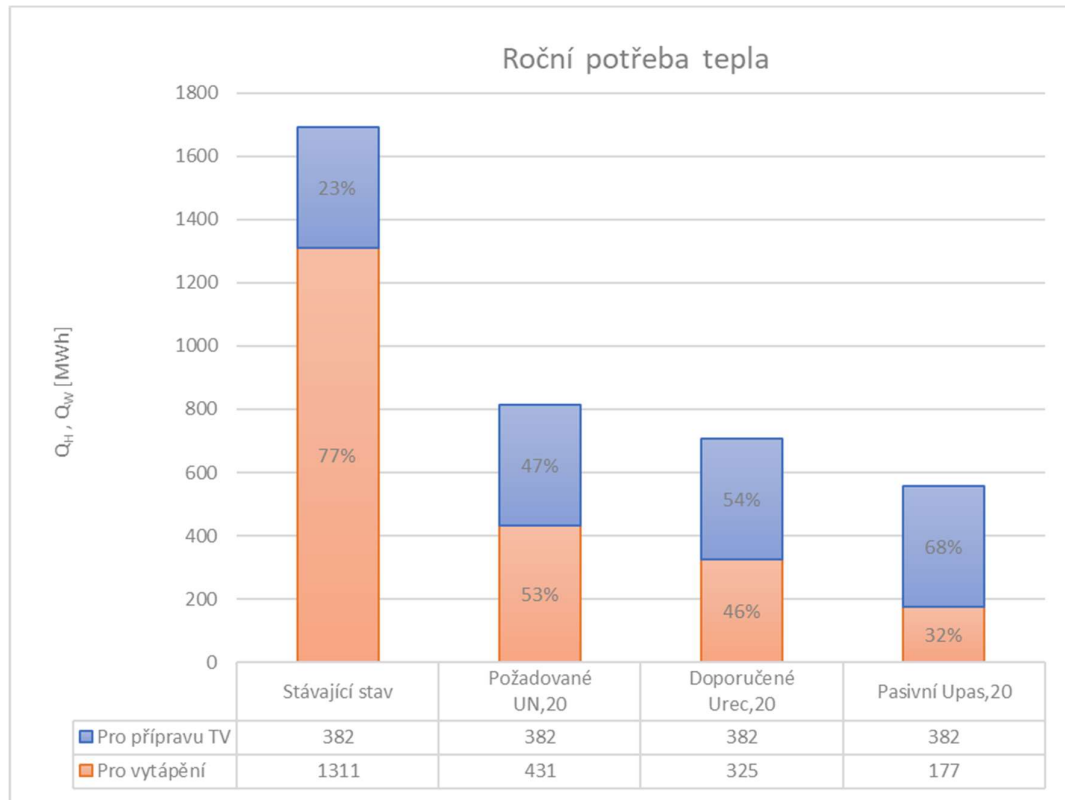
3. ANALYTICKÁ ČÁST

Provedl jsem návrh tepelně technických opatření, ve čtyřech variantách míry součinitelů prostupu tepla, včetně stávajícího stavu, každého z různých podlažních obytných objektů. Pro každý z těchto 12 energetických modelů byl navržen nový zdroj tepla v podobě plynové kotelny a tepelných čerpadel, což je celkem 36 posuzovaných variantních řešení. Uvedené výsledné hodnoty jsou prezentovány pro celý soubor budov zásobovaných teplem daným CZT, jedná se o (1x) 4. patrový, (1x) 6. patrový a (4x) 8. patrové objekty.



Graf 3 – Podíl tepelných ztrát na celkové ztrátě tepla

Na základě vypočtených tepelných ztrát souboru budov, byly stanoveny potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody a potřebu elektrické energie.



Graf 4 – Roční podíly potřeby tepla a na vytápění a přípravu teplé vody

Je zřejmé, že s rostoucí mírou zateplení, výrazně klesá potřeba tepla na vytápění a primární potřebou tepla se stává potřeba na přípravu teplé vody. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je neměnná, jelikož obsazenost objektů je zachována. V navrhovaných variantách se mění způsob její přípravy na centrální domovní ohřev. Příprava teplé vody probíhá nepřerušovaně, v letních měsících je potřeba snížena o 25 [%].

Potřeba tepla / Varianta	Celková potřeba tepla [MWh]	Snížení celkové potřeby tepla	Potřeba tepla na vytápění [MWh]	Snížení potřeby tepla na vytápění
Stávající stav	1692	0 %	1311	0 %
Požadované $U_{N,20}$	813	52 %	431	67 %
Doporučené $U_{rec,20}$	707	58 %	325	75 %
Pasivní $U_{pas,20}$	559	67 %	177	86 %

Tabulka 27 – Snížení potřeby tepla

Ekonomické vyhodnocení

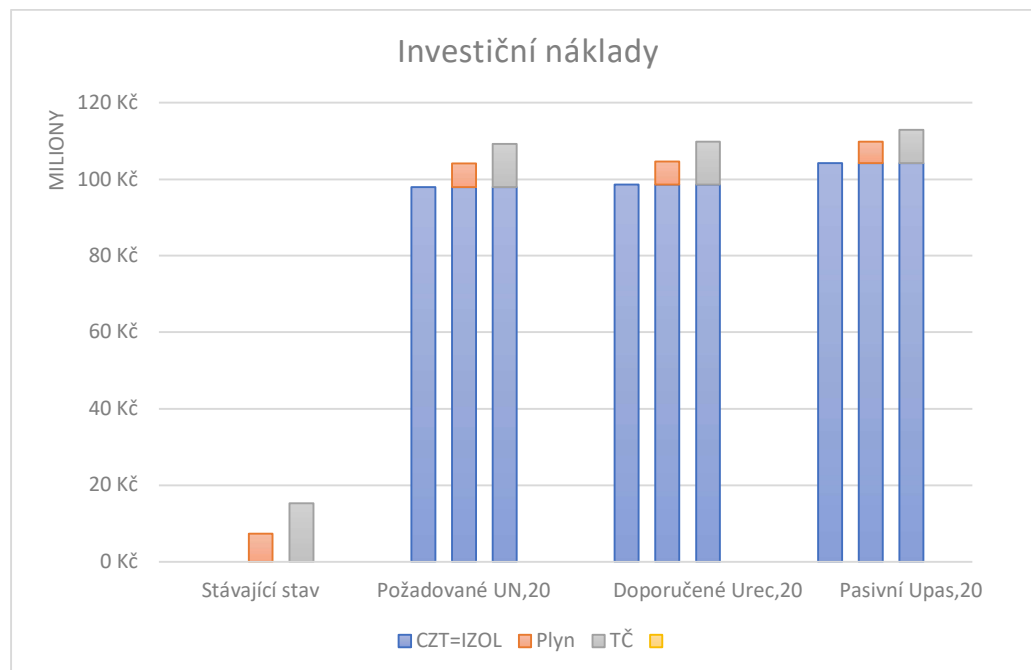
Investičními náklady se rozumí veškeré investice spojené inženýrskou činností, projektováním, realizací až po kolaudaci. Vyčíslení investičních nákladů na zateplení jsem provedl na základě produktového manuálu firmy Isover a ceníku stavebních prací pro bytové domy se stanovením jednotkových cen. Ve stavebních pracích je zahrnuta stavba a demontáž lešení, veškerý pohyb

materiálu, mzdy a vše co se týká rekonstrukce obálky budovy. Ceny technologických zařízení byly poskytnuty výrobcí a ceny instalačních prací byly stanoveny empiricky. Investiční náklady na zateplení objektů se na celkové ceně podílejí největší měrou, kolem 100 mil. Korun, z toho tvoří 80 [%] lidská práce, 15 [%] Výplně otvorů a 5 [%] samotná tepelná izolace.

Ve stávajícím stavu, kdy jsou objekty zásobovány teplem z CZT, jsou veškeré náklady na obnovu tepelné sítě na provozovateli sítě, z tohoto důvodu mohou být investičními náklady pouze náklady na tepelně technická opatření objektů pro snížení tepelného výkonu budovy. Investiční náklady jsou vyčísleny v tabulce (*Tabulka 28*) a přehledně vyobrazena v grafu (*Graf 5*).

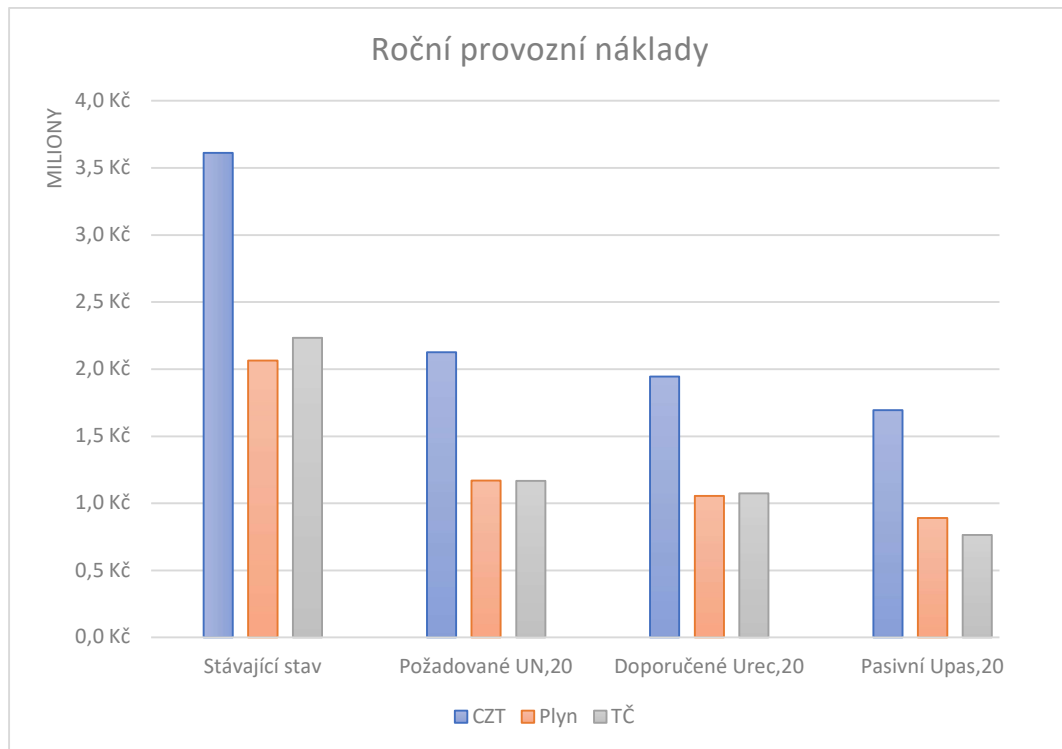
	Tepelně technická opatření	Plynová kotelna	Kotelna pro TČ
Stávající stav	- Kč	7 349 100 Kč	15 301 960 Kč
Požadované $U_{N,20}$	97 954 098 Kč	6 163 860 Kč	11 260 700 Kč
Doporučené $U_{rec,20}$	98 588 758 Kč	6 006 900 Kč	11 258 500 Kč
Pasivní $U_{pas,20}$	104 188 536 Kč	5 614 800 Kč	8 757 700 Kč

Tabulka 28 – Investiční náklady dle variant tepelně technických opatření



Graf 5 – Graf investičních nákladů jednotlivých variant

Ročními provozními náklady se rozumí veškeré náklady spojené s užíváním technologií, jejich pravidelnou kontrolou, revizí, vzdáleným řízením, odpisy na obnovu technologií, meziroční navýšení ceny energií, splátka úroku, servis, a především náklad za spotřebovanou energii v podobě elektřiny či plynu.



Graf 6 – Roční provozní náklady

Z grafu (*Graf 6*) je patrný výrazný pokles provozních nákladů vlivem zlepšení tepelně technických vlastností budov, ale i výměnou zdroje tepla ve stávajícím stavu. Významný podíl na snížení provozních nákladů má příprava teplé vody. Původní elektrické akumulární ohříváče v každé bytové jednotce zvyšovaly provozní náklady téměř o 50 [%] nákladu na vytápění.

	CZT	Plyn	TČ
Stávající stav	3 612 897 Kč	2 063 415 Kč	2 232 762 Kč
Požadované $U_{N,20}$	2 125 164 Kč	1 168 219 Kč	1 166 263 Kč
Doporučené $U_{rec,20}$	1 945 156 Kč	1 055 161 Kč	1 073 256 Kč
Pasivní $U_{pas,20}$	1 695 281 Kč	890 302 Kč	763 798 Kč

Tabulka 29 – Roční náklady na provoz

Dalším důležitým porovnávacím kritériem je doba návratnosti investičních nákladů. Je to doba, za kterou se uhradí vložená investice včetně odpisů. Běžná doba do obnovy technologií se uvažuje 15 let. Při uvažované ceně za 1GJ dodaného tepla z CZT **469,88** [Kč], činí roční náklady, včetně nákladů na přípravu teplé vody **3 612 897** [Kč].

Varianta	Zateplení [roku]	Plyn [roku]	Zateplení + Plyn [roku]	TČ [roku]	Zateplení + TČ [roku]
Stávající stav	-	4,7	-	11,1	-
Požadované $U_{N,20}$	66	2,5	42,6	4,6	44,6
Doporučené $U_{rec,20}$	59	2,3	40,9	4,4	43,3
Pasivní $U_{pas,20}$	54	2,1	40,3	3,1	39,6

Tabulka 30 – Doba návratnosti jednotlivých variant

Z vypočtených hodnot vyplývá, že s větší mírou investice do tepelně technických opatření, stačí navrhovat menší výkony zdrojů tepla, a ušetříme tak větší množství energie. Ne vždy je ovšem to nejdražší technologické řešení to nejvýhodnější. Plynová kotelna s menší pořizovací cenou než tepelné čerpadlo, má obdobné náklady na roční provoz a doba návratnosti je proti tepelnému čerpadlu menší.

4. ZÁVĚR

Byla provedena energetická bilance souboru budov na Barrandovském sídlišti v Praze 5. Byly vypočteny předpokládané ztráty distribucí tepelní sítě a odhadnut návrhový tepelný výkon zdroje centrálního zásobování. Stanovena tepelná ztráta byla 12 [%], jelikož předpokládaný stav tepelné vláknité izolace již neodpovídá dnešním standardům. Navržené varianty tepelně technických opatření byly vyhodnoceny pro zdroje tepla CZT, plynových kotlů a tepelných čerpadel. V průběhu výpočtu vyvstaly další požadavky, a to na výměnu zdrojů tepla pro přípravu teplé vody, která je nyní připravována centrálně novým zdrojem tepla s nepřímo ohříváním akumulacím zásobníkem. Dále byly navržené nové rozvody teplé vody a byla navržena centrální vzduchotechnická jednotka se zpětným získáváním tepla z důvodu dodržení hygienických požadavků. Pro konkrétní technologii vytápění byl vhodně upraven teplotní spád a pro variantu s tepelnými čerpadly byla nahrazena otopná tělesa.

Provedl jsem energetickou a ekonomickou bilanci všech variantních řešení a výsledné hodnoty vynesl v grafech a tabulkách. Je patrné, že nově navržený zdroj pro přípravu teplé vody má významný podíl na provozních nákladech. Při vyčíslení doby návratnosti se jako vhodnou variantou jeví plynová kotelna se zateplením na doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla s dobou návratnosti 2,3 a 41 let. Z hlediska investičních nákladů je plynová kotelna nejlevnější variantou, zřízení plynové kotelny pro stávající stav bez zateplení s návratností 4,7 let, odpovídá běžným instalacím v bytových domech.

Centrální zásobování teplem má mnoho nesporných výhod, především je díky své vysoké účinnosti šetrnější k životnímu prostředí, bezstarostnost pro odběratele tepla však může být vnímána jako závislost na dodavateli tepla. Nevýhodami jsou vysoká pořizovací cena, zastaralé rozvody tepelných sítí

a neefektivní provoz při nerovnoměrném vytížení soustavy z důvodu zateplování budov.

Navržená tepelná čerpadla vzduch-voda mají vyšší pořizovací náklady, a to zejména ve variantě bez zateplení. Nicméně jde o ekologický zdroj tepla, při jehož pořízení je možné využít zlevněného tarifu D56d pro celou spotřebu objektu. V zastavěných oblastech je nutné již při návrhu dbát na vznikající hluk, který je možné částečně odstínit zástěnou.

Je důležité, aby se při rozhodování o odpojení od CZT přistupovalo ke každému projektu individuálně a ekonomické posouzení zahrnovalo veškeré nutné výdaje jak provozní, tak pořizovací. Ekonomika ovšem nemůže být jediným kritériem pro rozhodování o volbě zdroje tepla. V dnešním světě je zapotřebí dostatečně vnímat a zohlednit ekologické dopady, přestože to zpravidla stojí jenom peníze.

Zdroje

- [1] ČSN EN ISO 6946 *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtové metody*
- [2] 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*
- [3] ČSN EN 12831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*
- [4] ČSN EN 12831-3 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*
- [5] 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*
- [6] ČSN 07 0703 *Kotelny se zařízeními na plynná paliva*
- [7] ČSN 73 0331-1 *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*
- [8] TNI 73 0351 *Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup*
- [9] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*
- [10] KAMIL STANĚK; *Fotovoltaika pro budovy*; GRADA Publishing, a.s., 2012
- [11] JOSEF BERÁNEK A KOL. *Inženýrské sítě*, VUT v Brně 2005
- [12] prof. Ing. FRANTIŠEK DRKAL, CSc., doc. Ing. VLADIMÍR ZMRHAL, Ph.D., *Větrání*, ČVUT v Praze 2018
- [13] doc. Ing. VLADIMÍR ZMRHAL, Ph.D., *Větrání v rodinných a bytových domech*, GRADA Publishing, a.s., 2014
- [14] ČSN EN 15665/Z1 *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*

Citace

- I. Energetický regulační úřad [online]. © 2014-2020 Energetický regulační úřad [cit. 31.7.2020]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/teplo>

Přílohy

Příloha 1

Územní teploty v roce 2019

Vysvětlivky:

T = teplota vzduchu [°C]

N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 [°C]

O = odchylka od normálu [°C]

Kraj		Měsíc												Rok
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
Česká republika	T	-1,7	1,7	5,6	9,4	10,7	20,7	18,8	18,9	13,3	9,5	5,6	1,9	9,5
	N	-2,0	-0,9	2,9	7,9	13,0	15,8	17,8	17,3	12,8	8,1	2,9	-0,9	7,9
	O	0,3	2,6	2,7	1,5	-2,3	4,9	1,0	1,6	0,5	1,4	2,7	2,8	1,6
Praha a Středočeský	T	-0,5	2,3	6,5	10,0	11,4	21,5	19,8	19,5	14,1	9,8	5,8	2,7	10,2
	N	-1,2	-0,2	3,7	8,6	13,7	16,5	18,5	18,0	13,5	8,7	3,4	-0,1	8,6
	O	0,7	2,5	2,8	1,4	-2,3	5,0	1,3	1,5	0,6	1,1	2,4	2,8	1,6
Jihočeský	T	-1,9	1,0	5,1	8,6	9,9	20,0	18,6	18,3	12,8	8,9	4,3	1,5	8,9
	N	-2,2	-1,3	2,5	7,2	12,5	15,3	17,3	16,7	12,3	7,6	2,4	-1,2	7,4
	O	0,3	2,3	2,6	1,4	-2,6	4,7	1,3	1,6	0,5	1,3	1,9	2,7	1,5
Plzeňský	T	-1,4	1,6	5,3	8,9	10,2	20,3	18,9	18,0	12,9	9,1	4,2	1,8	9,2
	N	-1,8	-1,0	2,8	7,4	12,5	15,4	17,4	16,8	12,4	7,6	2,5	-0,8	7,6
	O	0,4	2,6	2,5	1,5	-2,3	4,9	1,5	1,2	0,5	1,5	1,7	2,6	1,6
Karlovarský	T	-2,2	0,9	4,2	8,0	9,2	19,4	17,8	17,2	12,0	8,4	3,7	1,3	8,3
	N	-2,4	-1,7	1,9	6,5	11,6	14,5	16,4	15,8	11,7	7,0	1,9	-1,5	6,8
	O	0,2	2,6	2,3	1,5	-2,4	4,9	1,4	1,4	0,3	1,4	1,8	2,8	1,5
Ústecký	T	-0,9	2,1	5,9	9,4	10,8	20,9	19,1	18,8	13,3	9,5	5,0	2,2	9,7
	N	-1,4	-0,4	3,4	8,2	13,2	15,9	18,0	17,5	13,0	8,2	3,0	-0,4	8,2
	O	0,5	2,5	2,5	1,2	-2,4	5,0	1,1	1,3	0,3	1,3	2,0	2,6	1,5
Liberecký	T	-2,2	1,2	4,8	8,8	10,1	20,2	17,9	18,1	12,4	9,1	5,6	1,8	9,0
	N	-2,2	-1,3	2,2	7,1	12,4	15,1	17,1	16,4	12,2	7,7	2,7	-1,1	7,4
	O	0,0	2,5	2,6	1,7	-2,3	5,1	0,8	1,7	0,2	1,4	2,9	2,9	1,6
Královéhradecký	T	-2,1	1,3	5,3	9,6	10,8	20,9	18,7	18,7	13,1	9,4	6,1	1,8	9,5
	N	-2,2	-1,2	2,6	7,8	13,0	15,7	17,7	17,1	12,7	8,0	2,8	-1,1	7,8
	O	0,1	2,5	2,7	1,8	-2,2	5,2	1,0	1,6	0,4	1,4	3,3	2,9	1,7
Pardubický	T	-2,2	1,5	5,7	9,5	10,9	20,7	18,6	19,1	13,4	9,6	6,2	1,9	9,6
	N	-2,1	-1,0	2,8	8,0	13,2	15,9	17,9	17,4	12,9	8,2	2,9	-1,0	7,9
	O	-0,1	2,5	2,9	1,5	-2,3	4,8	0,7	1,7	0,5	1,4	3,3	2,9	1,7
Vysočina	T	-2,4	1,3	5,1	9,0	10,2	20,3	18,3	18,9	13,0	9,1	5,2	1,2	9,1
	N	-2,6	-1,5	2,2	7,4	12,6	15,4	17,3	16,9	12,4	7,6	2,3	-1,6	7,4
	O	0,2	2,8	2,9	1,6	-2,4	4,9	1,0	2,0	0,6	1,5	2,9	2,8	1,7
Jihomoravský	T	-1,2	2,4	6,6	10,9	11,9	22,0	20,1	20,7	14,7	10,4	7,0	2,0	10,6
	N	-1,7	-0,2	3,9	9,3	14,4	17,2	19,3	18,8	14,1	9,0	3,6	-0,6	8,9
	O	0,5	2,6	2,7	1,6	-2,5	4,8	0,8	1,9	0,6	1,4	3,4	2,6	1,7
Olomoucký	T	-2,6	1,6	5,5	9,5	10,9	20,5	18,4	19,2	13,3	9,6	6,6	1,7	9,5
	N	-2,5	-1,3	2,5	7,9	13,1	15,8	17,9	17,4	12,9	8,1	2,8	-1,3	7,8
	O	-0,1	2,9	3,0	1,6	-2,2	4,7	0,5	1,8	0,4	1,5	3,8	3,0	1,7
Zlínský	T	-2,5	1,6	5,7	10,2	11,0	21,0	18,7	19,6	13,5	10,3	7,4	2,2	9,9
	N	-2,2	-0,9	2,9	8,5	13,6	16,3	18,3	17,8	13,2	8,5	3,4	-1,0	8,2
	O	-0,3	2,5	2,8	1,7	-2,6	4,7	0,4	1,8	0,3	1,8	4,0	3,2	1,7
Moravskoslezský	T	-2,6	2,1	5,3	9,1	10,6	20,6	18,1	19,0	13,1	10,0	6,8	2,3	9,5
	N	-2,3	-1,3	2,4	7,6	12,8	15,6	17,7	17,1	12,7	8,2	3,0	-1,2	7,7
	O	-0,3	3,4	2,9	1,5	-2,2	5,0	0,4	1,9	0,4	1,8	3,8	3,5	1,8

Soupis obrázků

Obrázek 1 – Schéma soustavy CZT	8
Obrázek 2 – Sazebník cen pro Prahu (ZDROJ: naseteplo.cz).....	13
Obrázek 3 - Typický půdorys KS OP 1.11.....	14
Obrázek 4 – Fotografie skutečného stavu objektů	16
Obrázek 5 – Distribuční síť CZT.....	35
Obrázek 6 – Graf křivek dodávek a odběru TV	41
Obrázek 7 – Výkonové charakteristiky pro dvě TČ	48
Obrázek 8 – Ukázka zapojení tepelného čerpadla s bivalentním zdrojem (Zdroj: Projektční podklady firmy SIEBEL ELTRON).....	53

Soupis tabulek

Tabulka 1 – Hodnoty součinitelů tepelných odporů.....	17
Tabulka 2 – Smluvní odpory při přestupu tepla dle ČSN EN ISO 6946.....	19
Tabulka 3 – Vypočtené součinitele prostupu tepla.....	19
Tabulka 4 – Měrné tepelné toky vstupem	21
Tabulka 5 – Návrhové tepelné výkony objektů.....	23
Tabulka 6 – Solární zisky leden	26
Tabulka 7 – Tepelné zisky v otopném období	26
Tabulka 8 – Ztráta tepla za otopné období.....	27
Tabulka 9 – Potřeba tepla na vytápění za otopné období	29
Tabulka 10 – Potřeby tepla pro přípravu TV	31
Tabulka 11 – Celková spotřeba EE.....	32
Tabulka 12 – Tepelná ztráta distribuční sítě	35
Tabulka 13 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{N,20}$	36
Tabulka 14 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{rec,20}$	37
Tabulka 15 – Hodnoty součinitelů prostupu tepla $U_{pas,20}$	37
Tabulka 16 – Návrh VZT jednotek ATREA.....	38
Tabulka 17 – Vyhodnocení tepelně technických opatření	39
Tabulka 18 – Hodnoty aproximativní křivky odběru TV v bytovém domě.....	40
Tabulka 19 – Instalovaný výkon kotlů a objem zásobníků	42
Tabulka 20 – Instalovaný výkon pro vytápění	42
Tabulka 21 – Instalované výkony v kotelnách.....	43
Tabulka 22 – Roční potřeby zemního plynu pro vytápění a přípravu TV.....	44
Tabulka 23 – Využití TČ pro pokrytí potřeb vytápění a přípravu TV.....	51
Tabulka 24 - Roční spotřeba elektrické energie pro 4. podlažní objekt.....	53
Tabulka 25 - Roční spotřeba elektrické energie pro 6. podlažní objekt.....	53
Tabulka 26 - Roční spotřeba elektrické energie pro 8. podlažní objekt.....	53
Tabulka 27 – Snížení potřeby tepla.....	55
Tabulka 28 – Investiční náklady dle variant tepelně technických opatření	56
Tabulka 29 – Roční náklady na provoz	57
Tabulka 30 – Doba návratnosti jednotlivých variant.....	58

Soupis grafů

Graf 1 – Využití TČ pro pokrytí potřeb Vytápění a přípravu TV	52
Graf 2 – Spotřeba elektrické energie k pokrytí potřeby tepla	52
Graf 3 – Podíl tepelných ztrát na celkové ztrátě tepla	54
Graf 4 – Roční podíly potřeby tepla a na vytápění a přípravu teplé vody	55
Graf 5 – Graf investičních nákladů jednotlivých variant.....	56
Graf 6 – Roční provozní náklady.....	57