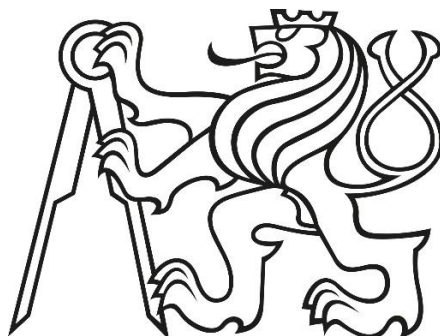


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky



Aplikace kogenerační jednotky v rodinném domě

Application of cogeneration unit in a family house

Bakalářská práce
Bachelor's thesis

Tadeáš Jandus

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tadeáš Jandus**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Aplikace kogenerační jednotky v RD**

Pokyny pro vypracování:

1. Teoretický úvod.
2. Porovnání cen energií.
3. Technický popis objektu včetně připojení na inženýrské sítě.
4. Návrh aplikace kogenerační jednotky.
5. Ekonomické a technické vyhodnocení provozu kogenerační jednotky.

Seznam odborné literatury:

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [2] BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 205 s. ISBN 80-01-02536-5.
- [3] FENCL, František. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Vyd. 3. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 198 s. ISBN 80-01-02771-6.
- [4] ČSN EN 33 2000-4-41, 33 3021, ČSN EN 62 305-1...3

Vedoucí: Ing. Ivan Cimbolínek

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 23. května 2017

.....

Tadeáš Jandus

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lubomíru Musálkovi za poskytnuté rady a připomínky k práci. Dále bych rád poděkoval pracovníkům společnosti TEDOM, a.s. a Kamnářství Pešek Vamberk za poskytnuté praktické informace a údaje o zařízeních.

Abstrakt

Tato práce se zabývá použitím kogenerační jednotky v rodinném domě. Práci lze rozdělit na dvě části: první část čtenáře seznámí s kogenerací, pojmy s tím spojenými a stručně se podívá na problematiku zdrojů energie. Druhá část se věnuje konkrétní aplikaci v rodinném domě. Cílem této práce je zjistit, zda-li je vhodné nasazení kogeneračních jednotek i v objektech s nízkou spotřebou energií a zda-li se tento provoz finančně vyplatí.

Klíčová slova

Kogenerace, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, kogenerační jednotka, tepelné ztráty, návrh, typizovaný diagram dodávky, rodinný dům

Abstract

This thesis deals with the use of a cogeneration unit in a family house. The thesis can be divided into two parts: the first part will acquaint the reader with cogeneration and concepts related to it and will briefly look at the issue of energy sources. The second part deals with the application in a specific family house. The purpose of this work is to find out whether it is convenient and financially worthwhile to install cogeneration units in buildings with low energy consumption.

Keywords

Cogeneration, combined heat and power, cogeneration unit, heat losses, design, typified delivery diagram, family house

OBSAH

Seznam symbolů a zkratek	8
Seznam veličin	9
Úvod	13
1. Teoretický úvod	15
1.1 Princip kogenerace.....	15
1.2 Rozdělení a parametry kogeneračních jednotek.....	16
1.2.1 Rozdělení kogeneračních jednotek.....	16
1.2.2 Parametry kogeneračních jednotek.....	17
1.3 Mikrokogenerace.....	18
1.3.1 Mikro jednotky.....	18
1.3.2 Provoz mikrokogenerace.....	19
1.4 Legislativa.....	22
1.4.1 Legislativa EU.....	22
1.4.2 Legislativa ČR.....	23
1.5 Postup při zřizování mikro jednotky.....	24
2. Porovnání cen energií	26
2.1 Historie.....	26
2.2 Základní pojmy.....	26
2.3 Srovnání spotřeby paliv – ENERGO 2015.....	26
2.4 Srovnání cen energií.....	27
3. Technický popis objektu včetně připojení na inženýrské sítě	28
3.1 Popis objektu.....	28
3.2 Výpočet tepelných ztrát.....	28
3.2.1 Tepelný odpor stavebních materiálů.....	29
3.2.2 Součinitel prostupu tepla.....	29
3.2.3 Tepelné ztráty prostupem.....	30
3.2.3.1 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí.....	30
3.2.3.2 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem.....	30
3.2.3.3 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy.....	31
3.2.3.4 Tepelné ztráty do prostorů vytápěných rozdílně.....	31
3.2.4 Tepelné ztráty větráním.....	32
3.2.4.1 Výměna vzduchu infiltrací.....	32
3.2.4.2 Hygienické množství vzduchu.....	33
3.2.4 Zátopový tepelný výkon.....	33
3.3 Příklad výpočtu tepelných ztrát pro kuchyň s obývacím pokojem.....	34

3.3.1	Ztráty do země.....	34
3.3.2	Tepelné ztráty do prostorů vytápěných na menší teplotu.....	35
3.3.3	Tepelné ztráty do venkovního prostředí.....	35
3.3.4	Celkové tepelné ztráty prostupem	36
3.3.5	Výměna vzduchu infiltrací	36
3.3.6	Hygienické množství vzduchu	36
3.3.7	Tepelné ztráty větráním.....	36
3.3.8	Celkové tepelné ztráty	37
3.4	Roční spotřeba tepla na vytápění.....	37
3.5	Výpočet spotřeby teplé užitkové vody	38
3.6	Porovnání výpočtů s reálnou spotřebou tepla.....	40
3.7	Spotřeba elektrické energie	40
3.8	Roční spotřeba tepla na vytápění.....	41
3.8.1	Elektrická přípojka	41
3.8.2	Plynová přípojka	41
4.	Návrh aplikace kogenerační jednotky	42
4.1	Dimenzování jednotky.....	42
4.2	Připojení jednotky a potřebné úpravy.....	43
4.3	Roční spotřeba plynu	44
5.	Ekonomické a technické vyhodnocení provozu	45
5.1	Ekonomické zhodnocení	45
5.1.1	Náklady na pořízení a instalaci	45
5.1.2	Roční náklady.....	45
5.1.3	Roční výnosy.....	45
5.1.4	Roční bilance.....	46
5.1.5	Doba návratnosti a čistá současná hodnota	46
5.1.6	Výsledky ekonomického zhodnocení.....	48
5.1.7	Úvaha o ekonomické výhodnosti	48
5.2	Technické zhodnocení	50
Závěr		51
Přílohy.....		52
Příloha 1		53
Příloha 2		54
Příloha 3.....		55
Příloha 4.....		65
Příloha 5		67
Zdroje.....		68

Seznam symbolů a zkratek

DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční soustava
ES	Elektrizační soustava, evropská směrnice
KJ	Kogenerační jednotka
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
NP	Nadzemní podlaží
PP	Podzemní podlaží
RD	Rodinný dům
RH	Hlavní rozvaděč
RS	Pojistková skříň
Sb.	Sbírka zákonů ČR
TDD	Typový diagram dodávky
TDDn	Normalizovaný typový diagram dodávky
TUV	Teplá užitková voda

Seznam veličin

Značení	Jednotka	Popis
A_g	m^2	Podlahová plocha
A_i	m^2	Podlahová plocha
A_k	m^2	Plocha stavební konstrukce
B'	m	Pomocný koeficient pro určení U_{equiv}
b_u	-	Teplotní redukční činitel
CF	Kč	Roční peněžní tok
c_{H_2O}	$Jkg^{-1}K^{-1}$	Měrná tepelná kapacita vody
c_{vzduch}	$Jkg^{-1}K^{-1}$	Měrná tepelná kapacita vzduchu
$C_{rocn_naklady}$	Kč	Roční náklady
C_{rocn_vynos}	Kč	Roční výnos
d	den	Délka topného období
D	K·den	Vytápěcí denostupně
DCF	Kč·rok ⁻¹	Diskontovaný peněžní tok
d_i	m	Tloušťka jednotlivých částí konstrukce
e_i	-	Stínící činitel
e_k	-	Korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům
f_{g1}	-	Korekční činitel zohledňující změnu venkovní teploty během roku
f_{g2}	-	Teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou teplotou
f_{ij}	-	Teplotní redukční činitel teplot rozdílů vytápěných místností
f_{RH}	Wm^{-2}	Zátopový součinitel
G_w	-	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody
H_s	$MJkg^{-1}$	Spalné teplo
$H_{s,zp}$	$MJkg^{-1}$	Spalné teplo zemního plynu
$H_{T,ie}$	WK^{-1}	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru ven
$H_{T,ig}$	WK^{-1}	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do země
$H_{T,ij}$	WK^{-1}	Součinitel tepelné ztráty mezi různě vytápěnými místnostmi
$H_{T,iue}$	WK^{-1}	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru ven přes nevytápěný prostor
H_v	$MJkg^{-1}$	Výhřevnost
$H_{V,dr}$	WK^{-1}	Výhřevnost dřeva

Značení	Jednotka	Popis
$H_{v,hu}$	WK^{-1}	Výhřevnost hnědého uhlí
$H_{V,i}$	WK^{-1}	Součinitel návrhové ztráty větráním
$CHP E\eta$	-	Elektrická účinnost kogenerace
$CHP H\eta$	-	Tepelná účinnost kogenerace
IN	Kč	Investiční náklady
n	-	Počet osob
N	-	Počet pracovních dní TUV soustavy
n_{50}	h^{-1}	Intenzita výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa
n_{min}	h^{-1}	Minimální intenzita výměny vzduchu
NPV	Kč	Čistá současná hodnota
P	m	Obvod místnosti
p	-	Poměrný člen
P_{0kog}	kW	Příkon kogenerace
P_{Ekog}	W	Elektrický výkon kogenerace
P_{Tkog}	W	Tepelný výkon kogenerace
$Q_{0,mimokog,r}$	MWh	Roční příkon mimo kogeneraci
Q_{kog}	Wh	Teplo vyrobené kogenerací
$Q_{0kog,h}$	kWh	Hodinový příkon kogenerace
$Q_{0kog,r}$	MWh	Roční příkon kogenerace
Q_c	W	Celkové tepelné ztráty
Q_{ci}	W	Tepelné ztráty místnosti
Q_{HL}	W	Návrhový tepelný výkon
q_{kog}	m^3h^{-1}	Objemový příkon kogenerace
$Q_{kog,r}$	MWh	Teplo vyrobené kogenerací za jeden rok
Q_{kog,r_bazen}	MWh	Teplo vyrobené kogenerací za jeden rok s uvažovaným bazénem
$Q_{mimokog}$	MWh	Spotřeba tepla mimo dobu činnosti kogenerace
$Q_{mimokog,r_bazen}$	MWh	Spotřeba tepla mimo dobu činnosti kogenerace s uvažovaným bazénem
$Q_{navrh,TDD}$	MWh	Návrhová spotřeba tepla
Q_r	MWh	Celková roční spotřeba tepla
Q_{top_obdobi}	kWh	Celková spotřeba tepla v topném období
$Q_{TUV,d}$	kWh	Denní spotřeba tepla
$Q_{TUV,netop}$	kWh	Spotřeba tepla na ohřev TUV mimo topné období
$Q_{TUV,r}$	MWh	Roční spotřeba tepla na ohřev TUV

Značení	Jednotka	Popis
$Q_{TUV,top}$	kWh	Spotřeba tepla na ohřev TUV v topném období
$Q_{VYT,r}$	MWh	Roční spotřeba tepla na vytápění
R	m^2KW^{-1}	Celkový tepelný odpor stavební konstrukce
r	-	Diskont
$REF E\eta$	-	Referenční hodnota elektrické účinnosti oddělené výroby
R_i	m^2KW^{-1}	Tepelný odpor jednotlivých konstrukčních prvků
R_{se}	m^2KW^{-1}	Tepelný odpor přestupu tepla na vnější straně
R_{si}	m^2KW^{-1}	Tepelný odpor přestupu tepla na vnitřní straně
t	rok	Rok, na který se vztahuje diskontovaný peněžní tok
t_1	$^{\circ}C$	Teplota studené vody
t_2	$^{\circ}C$	Teplota TUV
t_e	$^{\circ}C$	Venkovní výpočtová teplota
t_{es}	$^{\circ}C$	Průměrná venkovní teplota během topného období
t_{is}	$^{\circ}C$	Průměrná vnitřní výpočtová teplota
T_{kog}	h	Doba činnosti kogenerace
TND	rok	Diskontovaná doba návratnosti
TNP	rok	Prostá doba návratnosti
t_{svl}	$^{\circ}C$	Teplota studené vody v létě
t_{svz}	$^{\circ}C$	Teplota studené vody v zimě
U	$Wm^{-2}K^{-1}$	Celkový součinitel prostupu tepla
$U_{equiv0.5,obvodova}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla obvodové zdi
$U_{equiv0.5,podlaha}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahy
U_{id}	$Wm^{-2}K^{-1}$	Ideální součinitel prostupu tepla
U_k	$Wm^{-2}K^{-1}$	Celkový součinitel prostupu tepla
U_{nosna}	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla nosné zdi
$U_{obvodova}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla obvodové zdi
U_{okna}	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla oken
$\dot{U}PE$	-	Úspora primární energie
$U_{quiv,k}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla
$U_{vn,dvere}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel prostupu tepla vnitřních dveří
V_{2p}	m^3	Denní spotřeba TUV pro jednu osobu

Značení	Jednotka	Popis
V_i	m^3	Objem místnosti
\dot{V}_i	m^3s^{-1}	Výměna vzduchu
\dot{V}_{ih}	m^3h^{-1}	Výměna vzduchu
$V_{plyn,mimokog,r}$	m^3	Spotřeba plynu mimo kogeneraci za rok
$V_{plyn,kog,r}$	m^3	Spotřeba plynu pro kogeneraci za rok
α_e	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce
α_i	$Wm^{-2}K^{-1}$	Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
α_P	-	Výkonový teplotěnský součinitel
α_r	-	Roční teplotěnský součinitel
ε	-	Opravný součinitel závislý na způsobu vytápění
ε_i	-	Výškový korekční činitel
η_{Ekog}	-	Elektrická účinnost kogenerace
η_{kog}	-	Celková účinnost kogenerace
η_o	-	Účinnost obsluhy vytápění
η_r	-	Účinnost rozvodu vytápění
η_{Tkog}	-	Tepelná účinnost kogenerace
$\eta_{TUV,kotel}$	-	Účinnost ohříváče TUV a plynového kotle
θ_e	$^{\circ}C$	Výpočtová venkovní teplota
$\theta_{int,i}$	$^{\circ}C$	Výpočtová vnitřní teplota vytápěné místnosti
$\theta_{int,soused_prost}$	$^{\circ}C$	Výpočtová teplota sousední vytápěné místnosti
$\theta_{m,e}$	$^{\circ}C$	Průměrná roční venkovní teplota
θ_u	$^{\circ}C$	Výpočtová teplota nevytápěné místnosti
λ_i	$Wm^{-1}K^{-1}$	Součinitel tepelné vodivosti
ρ_{H2O}	kgm^{-3}	Hustota vody
ρ_{vzduch}	kgm^{-3}	Hustota vzduchu
σ	-	Teplotěnský modul
$\Sigma U_{tbk,j}$	$Wm^{-2}K^{-1}$	Souhrnný vliv tepelných mostů

Úvod

Rozvoj lidstva a pokrok je silně spjat s energetickými zdroji. Pro růst ekonomik a průmyslu jsou tyto zdroje životně důležité. Zároveň s rozvojem společnosti rostou její energetické požadavky. Je potřeba nahrazovat dosluhující zdroje energie a zároveň zvyšovat jejich celkový výkon a účinnost. Tyto skutečnosti nutí státy vydávat energetické koncepce, ve kterých stanovují cíle energetiky pro následující desetiletí. Vláda ČR aktualizovala 18.5. 2015 Státní energetickou koncepci z roku 2004, a to na následujících 25 let. V této aktualizaci stanovila pět základních pilířů pro dosažení požadovaných cílů: *„Vyvážený mix primárních energetických zdrojů i zdrojů výroby elektřiny založený na jejich širokém portfoliu, efektivním využití všech dostupných tuzemských energetických zdrojů, udržení přebytkové výkonové bilance ES s dostatkem rezerv a udržování dostupných strategických rezerv tuzemských forem energie; zvyšování energetické účinnosti národního hospodářství; rozvoj síťové infrastruktury ČR v kontextu zemí střední Evropy, posílení mezinárodní spolupráce a integrace trhů s elektřinou a plynem v regionu včetně podpory vytváření účinné a akceschopné společné energetické politiky EU; podpora výzkumu, vývoje a inovací zajišťující konkurenceschopnost české energetiky a podpora školství, s cílem nutnosti generační obměny a zlepšení kvality technické inteligence v oblasti energetiky; a v neposlední řadě zvýšení energetické bezpečnosti a odolnosti ČR a posílení schopnosti zajistit nezbytné dodávky energií v případech kumulace poruch, vícenásobných útoků proti kritické infrastruktuře a v případech déle trvajících krizí v zásobování palivy“*. [1] Dnešní snaha je především využívat obnovitelné zdroje díky jejich menším vlivům na životní prostředí, snadnější dostupnosti a také v důsledku snižujících se zásob fosilních paliv. Palivem pro kogeneraci mohou být biomasa nebo různé druhy plynů. Obecně má tedy menší emise škodlivin oproti stávajícímu převažujícímu palivu – uhlí a také dosahuje vysoké účinnosti, což přináší úsporu na palivu. Proto je kogenerace jednou z možností získávání energie i v budoucnosti.

Zdroje energie, respektive výroby lze rozdělit do mnoha kategorií podle různých kritérií. Jedním z kritérií je i vzdálenost mezi výrobnou a spotřebitelem. Z tohoto hlediska dělíme zdroje na: *centralizované* a *decentralizované*. Centralizované zdroje se umísťují blízko primárních zdrojů, tedy například uhelných dolů. Úspora na dopravě primárních surovin spolu s klesajícími celkovými náklady v závislosti na rostoucí produkci energie jsou největšími výhodami centralizovaných zdrojů energie. Získáváme zde energii, která je snáze a levněji transportovatelná na velké vzdálenosti. Zpravidla se jedná o elektrickou energii. Při požadavku na výrobu tepelné energie narážíme na problém velkých ztrát při přenosu. Proto se instalují teplárny do těsné blízkosti měst, které jsou teplem zásobovány. Teplárny jsou tedy zdroje decentralizované. Decentralizované zdroje energie mohou provozovat energetičtí výrobci, dodavatelé energie nebo samotní spotřebitelé, mají tedy široký výkonový rozsah. S výrobou v menším měřítku oproti centralizované výrobě je spjata větší účinnost a také ztráty při přenosu elektrické energie jsou prakticky eliminovány. To jsou výhody decentralizované výroby. Pojmy *teplárna* nebo *teplárenská výroba* již pomalu zanikly a v současnosti se používají výrazy *kogenerační výroba*, *kogenerační výroba* nebo zkráceně *kogenerace*. Existuje také trigenerace. Výstupem trigenerační jednotky jsou: teplo, elektrická energie a „chlad“. Chlad samozřejmě není energetickým výstupem jako takovým, ale se dosahuje se ho využitím části tepelné energie na odnímání tepla pomocí absorpce a přesun jinam. [2]

Slovní spojení „výroba energie“ se nemusí zdát příliš vhodné, neboť všechny typy energie (tepelná, elektrická, mechanická, potenciální gravitační atd.) vznikají v důsledku *přeměn* z jiných forem energie nikoli výrobou z dílčích částí něčeho. Nicméně v technické praxi se pojem *výroba* běžně používá, tak tomu je i v této práci.

Všechny uvedené ceny jsou bez DPH, není-li stanoveno jinak. Sazba DPH činila v době vzniku práce 21 %.

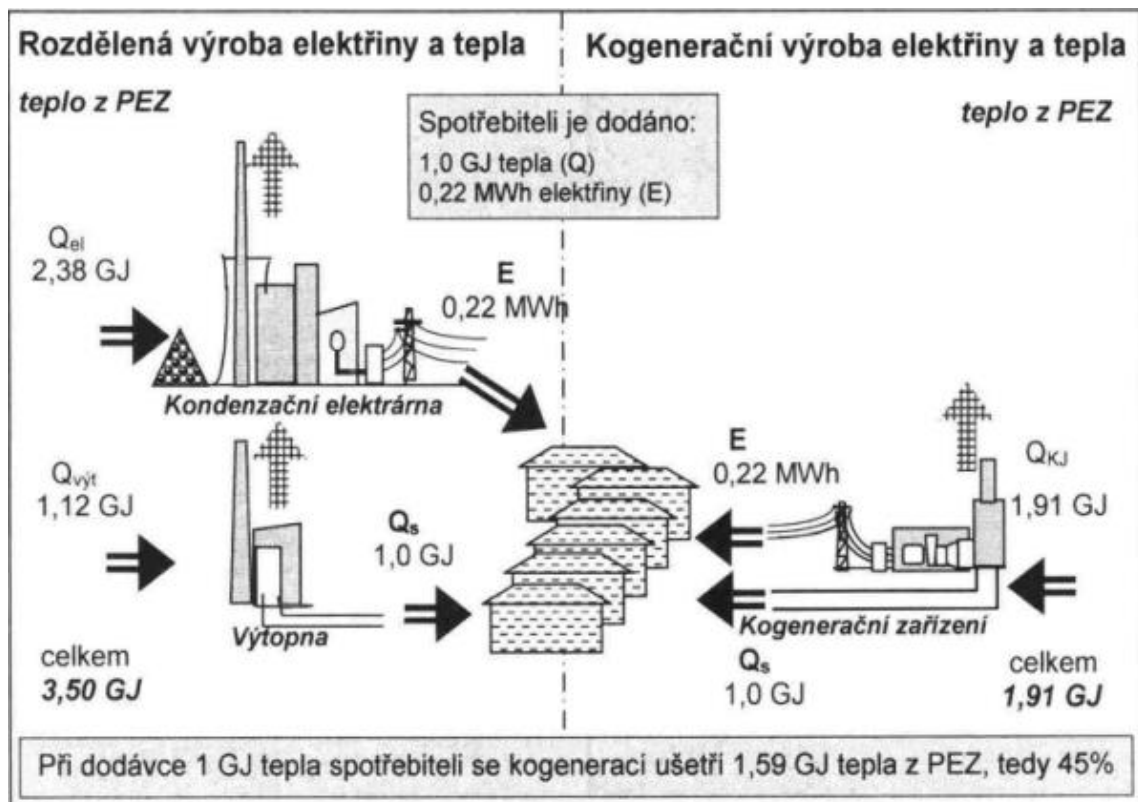
Veškerá uvedená legislativa je platná k období vzniku práce – březen/duben 2017, není-li stanoveno jinak.

1. Teoretický úvod

1.1 Princip kogenerace

Kondenzační uhelné elektrárny dosahují účinnost od 33 % do 42 %, zbytek energie paliva se maří v chladících věžích nebo tvoří ztráty při výrobě. Zároveň existuje nemalé množství kotlen a výtopen zásobujících sídliště nebo města teplem. Dobrým krokem je tedy spojit obě výroby do jedné a odtud zásobovat danou lokalitu elektřinou i teplem. Kogenerace spojuje výrobu tepla a elektřiny. Energie paliva se uvolňuje ve formě tepla, se kterým pracuje tepelný stroj, zde je měněna na mechanickou energii, která pohání generátor. Na mechanickou práci nepřeměněnou energii v podobě tepla získáváme z chladicí soustavy, spalínového výměníku nebo emisní páry turbíny, záleží na uspořádání a velikosti kogenerace. Kogenerace dosahuje celkové účinnosti až 95 %. Z toho plyne i značná úspora na primární surovině, nejčastěji plynu.

Na Obr. 1.1 je porovnání oddělené a společné výroby 0,22 MWh elektřiny a 1 GJ (0,28 MWh) tepla, při celkové účinnosti výroby elektřiny v elektrárně s účinností 33 %, účinnosti kotleny 90 % a celkové účinnosti kogeneračního zařízení 94 %, včetně započítání ztrát.



Obr. 1.1 Porovnání společné a oddělené výroby [3]

1.2 Rozdělení a parametry kogeneračních jednotek

1.2.1 Rozdělení kogeneračních jednotek

Kogenerační zařízení lze rozdělit podle mnoha kritérií. Jako první je typ pohonu (tepelný stroj):

a) Spalovací turbína [2]

Výkonový rozsah 0,1 MW až 100 MW. Účinnost 60 % až 80 %.
Teplárenský modul 0,5 až 0,8.

Spalování probíhá při vysokých teplotách, čímž se dosahuje až 10 krát nižších emisí NO_x oproti spalovacím motorům. Velký rozsah používaných paliv (zemní plyn, nafta, odpadový plyn).

Nevýhodou jsou vysoké otáčky turbíny a tím nutnost použití frekvenčních měničů. Dále je zde silná závislost na kvalitě paliva, nízká účinnost při malých výkonech nebo pokles výkonu s rostoucí teplotou.

b) Kogenerační jednotka se spalovacím motorem [2]

Výkonový rozsah jednotky kW až 50 MW. Účinnost 60 % až 85 %.
Teplárenský modulu 0,8 až 1,4.

Jedná se o nejrozšířenější jednotky. Mají nízké investiční náklady a dobrou účinnost při regulaci výkonu. Jmenovitého výkonu jsou schopny dosáhnout během pár desítek sekund a také z hlediska používaných paliv mají velký rozsah – různé plyny a topné oleje.

c) Kogenerační jednotka se Stirlingovým motorem [2]

Výkon do 1,5 MW. Účinnost 60 % až 80 %. Teplárenský modul 1,2 až 1,7.

Výhodami Stirlingova motoru je malé množství mechanických částí a tím i vyšší spolehlivost a také systém vnějšího spalování. Tyto jednotky mají vysoký potenciál použití v mikrokogeneraci.

d) Kogenerační jednotka s parní turbínou [2]

Výkonový rozsah 0,5 kW až 100 MW. Účinnost 60 % až 85 %
Teplárenský modul 0,1 až 0,5.

Tyto jednotky se používají pro nejvyšší výkony, tedy v oblastech střední a velké kogenerace. Jednotky používají systém vnějšího spalování v kotli, takže palivo možné použít jakékoli.

Nevýhodami jsou nízký teplárenský modul, dlouhá doba náběhu a vysoké pořizovací náklady.

Další možností dělení kogenerační jednotek je podle jejich elektrického jmenovitého výkonu [2]:

- a) Mikrokogenerace: do 50 kW
- b) Minikogenerace: do 500 kW
- c) Malá kogenerace: do 1 MW
- d) Střední kogenerace: do 50 MW
- e) Velká kogenerace: nad 500 MW

Rozdělení dle paliva [2]:

- a) Zemní plyn
- b) Skládkový plyn
- c) Bioplyn
- d) LPG
- e) Důlní plyn
- f) Pyrolýzní plyn
- g) Biomasa
- h) Geotermální energie
- i) Fosilní paliva

Rozdělení dle uspořádání:**a) Stavebnicové**

Kogenerační jednotka je dodána rozebraná na jednotlivé díly. Toto uspořádání je použito u jednotek od úrovně minikogenerace, kdy by byl v dané aplikaci velký modul nevhodný. Tento typ má výhodu snadnější údržby (lepší přístup k dílčím prvkům). Z ekonomického hlediska se může nesmontovaná a neodhlučňená jednotka zdát výhodnější ale jsou nutné stavební úpravy místnosti pro jednotku a odhlučnění celé místnosti, což nakonec zvýší náklady.

b) Modulové

Jednotka je dodána smontovaná v protihlukovém krytu. Moduly se používají pro výkony kogenerace do 10 MW. Výrobci tento systém nazývají „plug and play“, neboť stačí jednotku připojit k přívodu plynu, topné soustavě nebo výměníku a k elektrickému rozvodu a lze ji ihned provozovat.

c) Kontejnerové

Kontejnerové jednotky jsou modulové pro venkovní umístění.

1.2.2 Parametry kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky všech výkonových tříd popisujeme pomocí základních parametrů: elektrický výkon P_{Ekog} , pro nějž se často používá označení W_e a jeho násobky, a tepelný výkon P_{Tkog} udávaný ve W_t a jeho násobcích. Obdobně se i množství elektrické energie E_{kog} značí v W_e a tepelné energie Q_{kog} v W_t . Jednotky jsou fyzikálně shodné s W případně Wh , ale písmena e a t slouží jen k odlišení toho, o jaký typ výkonu či energie se jedná. Dalšími důležitými parametry jsou účinnosti: elektrická účinnost η_{Ekog} , tepelná η_{Tkog} a celková účinnost η_{kog} , která je dána součtem elektrické a tepelné. Účinnost je závislá jak na podmínkách, ve kterých se jednotka provozuje, tak i na výkonu, při kterém se provozuje. Nejvyšší účinnosti, kterou udává výrobce, se dosáhne při optimálních podmínkách (okolní teplota, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak, kvalita paliva) a jmenovitém výkonu. Příkon (objemový) jednotky q_{kog} se udává v množství spotřebovaného paliva za hodinu při jmenovitém výkonu, tedy v m^3h^{-1} .

U kogeneračních jednotek se také určuje teplotní modul σ , definovaný jako podíl vyrobené elektrické energie a tepla za stejnou dobu, nebo podíl elektrického a tepelného výkonu, případně elektrické a tepelné účinnosti. Tato hodnota je důležitá pro návrhy.

$$\sigma = \frac{E}{Q} = \frac{P_E}{P_T} \quad [-] \quad (1.1)$$

V oblasti zásobování teplem se setkáváme s výkonovým teplotárním součinitelem α_p a ročním teplotárním součinitelem α_r . Výkonový teplotárním součinitel definujeme jako podíl špičkové potřeby soustavy a jmenovitého výkonu kogeneračního zdroje:

$$\alpha_p = \frac{P_{max}}{P_{nkog}} \quad [-] \quad (1.2)$$

Roční teplotárním součinitel odpovídá podílu tepla dodaného kogenerací a celkové spotřeby za jeden rok:

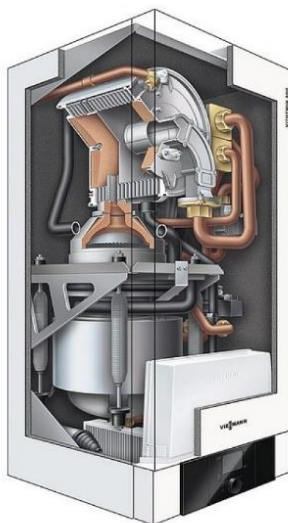
$$\alpha_r = \frac{Q_r}{Q_{rkog}} \quad [-] \quad (1.3)$$

1.3 Mikrokogenerace

Je zřejmé, že pro aplikaci kogenerace v rodinném domě použijeme jednotku z oblasti mikrokogenerace. Proto se na tento typ jednotek podíváme podrobněji.

1.3.1 Mikro jednotky

Jedná se tedy o jednotky s elektrickým výkonem do 50 kW. Nejčastěji se pro pohon používají spalovací motory na zemní plyn a Stirlingovy motory. Jednotky se Stirlingovými motory umožňují používat různá paliva, protože používají vnější spalování. Nejrozšířenější jsou jednotky na zemní plyn, avšak lze objevit i jednotky pracující s automatickým kotlem na dřevěné pelety a štěpku, což jsou levnější paliva, ale jsou zde navíc náklady na kotel. Nejrozšířenější jednotky se Stirlingovým motorem jsou od společnosti Viessmann, spol. s r.o. Jejich jednotky na zemní plyn disponují navíc kondenzačním kotlem pro pokrývání výkonových špiček a výkonově se pohybují v rozmezí 3 kWt až 26 kWt (včetně kondenzačního kotle). Proto se jeví jako nejvhodnější pro domácí použití. Celkově se jedná o velmi nákladná zařízení v cenách od 400 000 Kč a více.



Obr. 1.2 Mikrokogenerační jednotka se Stirlingovým motorem a kondenzačním kotlem [17]

Kogenerační jednotky často používají jako generátor asynchronní čtyřpólový stroj. Motor je ke generátoru připojen přímo gumokovovou spojkou, pracovní otáčky generátoru jsou tedy $1\,500\text{ min}^{-1}$, což snižuje hluk a vibrace generované jednotkou. Dále jsou opatřeny řídicím počítačem, který monitoruje provozní stav. Jednotku lze připojit k internetu a pomocí aplikace do telefonu nebo počítače sledovat stav i na dálku. [4]

Užitné teplo je obecně získáváno pomocí dvou tepelných výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odebírá teplo z bloku motoru a oleje na úrovni 80 °C až 90 °C , druhým výměníkem prochází horké spaliny o teplotě 400 °C až 500 °C . Výměníky jsou zapojeny do série. Kogenerační jednotky obvykle pracují do teplovodních soustav $90/70\text{ °C}$, méně často do soustav $110/85\text{ °C}$ nebo $130/90\text{ °C}$. [3]

Společnost TEDOM, a.s., největší český výrobce kogeneračních zařízení, nabízí jednotky se spalovacím motorem v základní verzi pouze s výměníkem pro blok motoru a spalínový výměník je možno volit dodatečně, čímž se tepelný výkon pro jednotky řady Micro zvedne až o 18 % (v závislosti na výkonu jednotky).



Obr. 1.3 Mikrokogenerační jednotka se spalovacím motorem [5]

1.3.2 Provoz mikrokogenerace

Při regulaci výkonu kogeneračních jednotek dochází k poklesu účinnosti. Proto je nejvýhodnější tyto jednotky provozovat pouze při jmenovitém výkonu. Kogenerační jednotky firmy TEDOM, a.s. umožňují provoz při 50 %, 75 % a 100 % jmenovitého výkonu, porovnání viz. Tab. 1.1 a Tab. 1.2 pro jednotku Micro T8. Kogenerační jednotka pracuje do tepelného zásobníku. V našich úvahách budeme tedy uvažovat provoz jednotky s dvoubodovým regulačním rozsahem 0 % a 100 % jmenovitého výkonu, tedy vypnuto – zapnuto.

Kogenerační jednotka TEDOM MICRO T8			
Výrobce	TEDOM	Tepelná účinnost	64,4 %
Typ	MICRO T8	Tepelný výkon	16 kW
Elektrický výkon	8 kW	Cena	550 000 Kč
Elektická účinnost	27,1 %	Provozní náklady	0,35 Kč·kWh ⁻¹

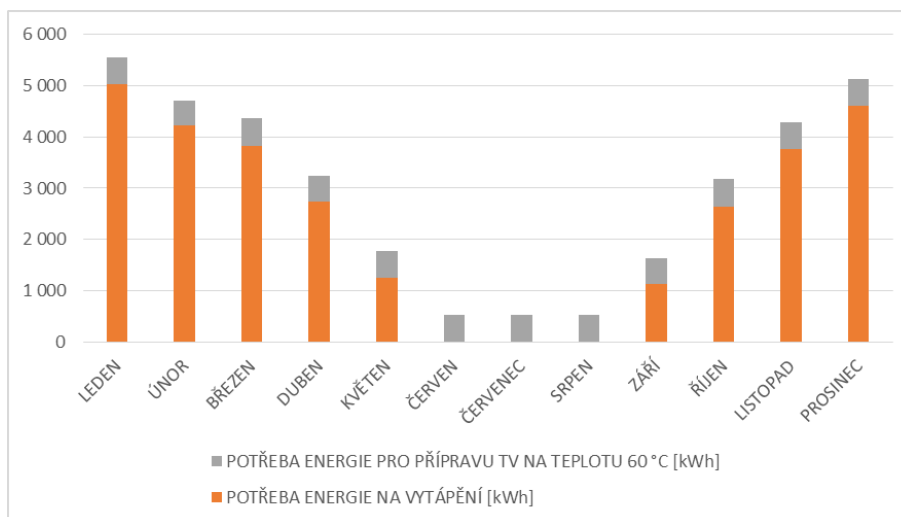
Tab 1.1 Kogenerační jednotka TEDOM Micro T8 [4]

Výkon [% P _n]	Spotřeba [m ³ h ⁻¹]	Spotřeba na 1 kWhe [m ³]
50	1,950	0,488
75	2,600	0,433
100	3,150	0,394

Tab 1.2 Porovnání spotřeb při různých výkonech TEDOM Micro T8

Nejvýhodnější je kogeneraci dimenzovat podle potřeb tepla. Jednotka je provozována tak, aby pokryla maximum spotřeby tepla daného objektu, elektrická energie pak kryje současnou spotřebu budovy a přebytek se prodává do distribuční sítě. Teplo potřebné ve špičkách a období, kdy jednotka není v provozu, se získává z jiného zdroje. Stejně tak elektřina se získává z jiného zdroje nebo z distribuční soustavy. Kdybychom se rozhodli provozovat kogenerační jednotku především k dodávce elektřiny, pak bychom potřebovali dostatečně velkou akumulaci na teplo, jejíž limity bychom nesměli překročit nebo bychom potřebovali dodatečný chladič a teplo bychom mařili do ovzduší. Z finančního hlediska by jedna vyrobená kWhe cenově odpovídala podílu ceny jedné kWh plynu a elektrické účinnosti, což například při průměrné ceně plynu 1,47 Kč / kWh [5] a elektrické účinnosti 27,1 % pro typ Micro T8 odpovídá 5,43 Kč, což je při průměrné ceně elektřiny 3,71 Kč / kWh [6] značný rozdíl.

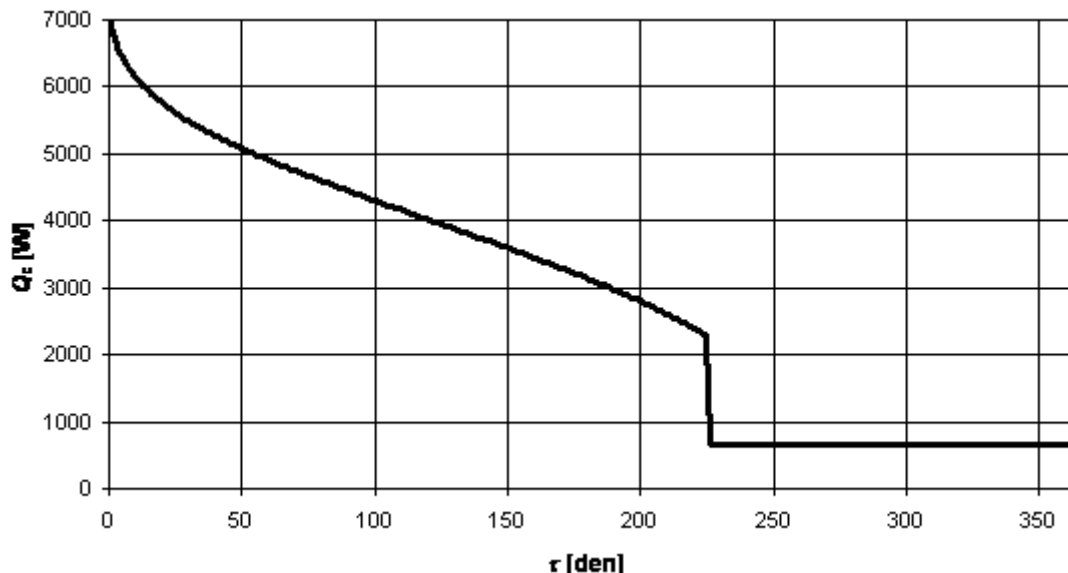
Na Obr. 1.4 je znázorněn průběh spotřeby tepla během roku pro určitý rodinný dům o vytápěné ploše 240 m² a tepelných ztrátách 16 kW. Tento trend s minimem v letních měsících je obecně pro všechny budovy bez zajištěného odběru tepla během letních měsíců stejný a přináší doslova kritický problém z hlediska finančního zhodnocení. Jednotku totiž v tomto období nemusí být výhodné provozovat. Jedinou možností pro zvýšení ekonomické efektivity pro běžné rodinné domy jsou vyhřívání bazén nebo chladič soustava napojená na absorpční modul jednotky. To přináší více provozních hodin jednotky. Nicméně ani tak nemusí být zajištěna efektivita celé instalace a je nutné přistupovat ke každému objektu individuálně a analyzovat jeho energetickou bilanci.



Obr. 1.4 Spotřeba tepla v rodinném domě během roku [5]

Uspořádáním potřeby tepla od největší hodnoty po nejmenší, jak je vidět na Obr. 1.5, získáváme diagram zatížení pro dané období (den, měsíc, rok). Při dimenzování kogeneračního zdroje vycházíme z ročního diagramu potřeby tepla.

Plocha pod výkonovou křivkou odpovídá spotřebě tepla. Jelikož je jednotku nejlepší provozovat pouze při jmenovitém výkonu a všechno teplo musí být využito, pak jednotkou vyrobené teplo odpovídá ploše největšího obdélníku pod křivkou trvání výkonu. Z toho plyne, že *kogenerační jednotka nemůže být jediným zdrojem tepla* v objektu.



Obr. 1.5 Křivka trvání výkonu [5]

V praxi se křivka sestavuje na základě *normalizovaného typového diagramu dodávky* (TDDn). Hodnoty se predikují na základě rozdělení koncových spotřebitelů do různých kategorií a analýzou jejich spotřeby, viz Tab. 1.3.

Podnikatel	Bez tepelného využití	TTD1
Podnikatel	Akumulační spotřebič	TDD2
Podnikatel	Hybridní vytápění	TDD2
Podnikatel	Přímotopý systém	TDD3
Podnikatel	Tepelné čerpadlo	TDD3
Domácnost	Bez tepelného využití	TDD4
Domácnost	Akumulační spotřebič	TDD5
Domácnost	Hybridní vytápění	TDD6
Domácnost	Přímotopý systém	TDD7
Domácnost	Těpené čerpadlo	TDD7
Podnikatel	Veřejné osvětlení	TDD8

Tab. 1.3 Rozdělení odběratelů elektřiny podle tepelného využití [18]

Hodnoty TDDn jsou k dispozici na webových stránkách Operátora trhu s energií OTE, a.s.. Jedná se o relativní hodnoty průměrných hodinových odběrů energie v roce vztažených k ročnímu maximu.

1.4 Legislativa

1.4.1 Legislativa EU

Směrnice 2004/8/ES

Tento právní rámec byl základním evropským předpisem v oblasti kogenerace. Směrnice se týkala podpory vysokoúčinné společné výroby elektřiny a tepla založené na poptávce po užitečném teple na vnitřním trhu s energií. Směrnice definovala pojmy vysokoúčinné kogenerace, zásady, programy podpory atd. Cílem této směrnice bylo dosažení konceptu zmíněného už v úvodu: výroba energií s vysokou účinností, úspory na primárních zdrojích a snížení vlivu na životní prostředí. Tato směrnice byla zrušena směrnicí 2012/27/EU. [6]

Několik pojmů ohledně výroby, které směrnice 2004/8/ES definovala [7]:

Kombinovaná výroba tepla a elektřiny (KVET) je současná výroba tepelné a elektrické nebo mechanické energie v jednom procesu.

Vysoce účinná kombinovaná výroba elektřiny a tepla je taková výroba, pro niž dochází k úspoře na primární energii alespoň 10 % oproti oddělené výrobě s referenčními hodnotami účinnosti. Pro výkony nad 25 MWe musí navíc dosahovat celkové účinnosti alespoň 70 %.

Referenční hodnoty účinnosti se určují analýzou konkrétní oddělené výroby, která má být nahrazena kombinovanou výrobnou. Při výpočtu se zohledňují reálné provozní parametry dosavadní výroby jako: rok výstavby, klimatické podmínky, používaná paliva a technologie apod.

Užitečné teplo je teplo vyrobené v procesu společné výroby elektřiny a tepla a slouží k uspokojení ekonomicky odůvodnitelné poptávky po teple nebo chlazení.

Ekonomicky odůvodnitelná poptávka znamená poptávku, která nepřesahuje potřeby tepla nebo chlazení a která by jinak byla uspokojena za tržních podmínek jinými procesy výroby energie než je společná výroba elektřiny a tepla.

Systém hospodaření s energií je soubor souvisejících opatření vedoucích ke splnění cílů v oblasti energetické účinnosti.

Úspora na primární energii při kombinované výrobě elektřiny a tepla se určí:

$$\text{ÚPE} = \left(1 - \frac{1}{\frac{\text{CHP } H\eta}{\text{REF } H\eta} + \frac{\text{CHP } E\eta}{\text{REF } E\eta}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.4)$$

CHP Hη

účinnost výroby tepla z kombinované výroby [-];

CHP Eη

účinnost výroby elektřiny z kombinované výroby [-];

REF Hη

referenční hodnota účinnosti oddělené výroby tepla [-];

REF Eη

referenční hodnota účinnosti oddělené výroby elektřiny [-];

Směrnice 2012/27/EU

Jelikož se cílů stanovených směrnicí 2004/8/ES nedařilo dosáhnout a celkově to nebylo možné ani v budoucnu vznikla v roce 2012 směrnice 2012/27/EU pojednávající o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES. Tato směrnice přehodnotila stávající energetickou politiku unie a stanovila nové cíle a postupy pro jejich dosažení. [6]

„Preambule směrnice v bodu 35 stanovuje: Vysoce účinná kombinovaná výroba tepla a elektřiny a dálkové vytápění a chlazení mají značný potenciál z hlediska úspory primární energie, který je v Unii z velké části nevyužitý. Členské státy by měly provést komplexní posouzení potenciálu vysoce účinné kombinované výroby tepla a elektřiny a dálkového vytápění a chlazení. Tato posouzení by měla být na žádost Komise aktualizována, aby investorům poskytovala informace týkající se vnitrostátních plánů rozvoje a přispěla ke stabilnímu prostředí podporujícímu investice. Nová zařízení na výrobu elektřiny a stávající zařízení, která procházejí podstatnou rekonstrukcí nebo jim jsou obnovována povolení či licence, by měla být - za předpokladu provedení analýzy nákladů a přínosů, z níž vyplývá čistý přínos - vybavena vysoce účinnými kogeneračními jednotkami umožňujícími zpětné získávání odpadního tepla pocházejícího z výroby elektřiny. Toto odpadní teplo by pak mohlo být dopravováno do místa potřeby sítěmi dálkového vytápění.“ [6]

Směrnice 2012/27/EU přichází například s těmito návrhy [8]:

Spotřebitelé energií by měli být motivováni ke snižování spotřeby a to například výměnou kotlů nebo změnou tepelné izolace budovy za účinnější. Těmito a dalšími postupy by u energetických společností mělo docházet ke snižování množství prodaných energií alespoň o 1,5 % za rok. Pro velké podniky by se měly pravidelně provádět energetické audity.

Členské státy EU by měly podněcovat podporu kogenerace s celkovým jmenovitým tepelným výkonem nižším než 20 MW.

Potenciálním provozovatelům kogenerace by členské státy EU měly zásadně usnadňovat zřizování, připojování do distribuční sítě a provoz kogeneračních jednotek.

1.4.2 Legislativa ČR

Legislativa pro provoz, zřizování a podpory kogenerace je velmi rozsáhlá a také se velmi často mění. Proto si zde uvedeme jen nejzákladnější právní předpisy České Republiky týkající se kogenerace. Vesměš lze konstatovat, že následující právní předpisy prošly mnohými změnami a aplikují doporučení uvedená v evropských směrnících.

Zákon o podporovaných zdrojích energie 165/2012 Sb.

Zákon definuje podmínky pro výrobu elektřiny a tepla z obnovitelných a druhotných zdrojů.

KVET je zde definována takto: *„Kombinovanou výrobou elektřiny a tepla se rozumí přeměna primární energie na energii elektrickou a užitečné teplo ve společném současně probíhajícím procesu v jednom výrobním zařízení.“* Na toto zařízení musí Ministerstvo průmyslu a obchodu vydat osvědčení o původu vyrobené energie a v tomto zařízení musí docházet k úspoře paliva alespoň 10 % oproti oddělené výrobě pro výkony nad 1 MWe, pro výkony menší 1 MWe postačuje jakákoli kladná úspora na palivu. Při splnění těchto podmínek získává daná kogenerační výrobní nárok na podporu dle zákona 165/2012 Sb. Rozsah a výše podpory stanovuje Energetický regulační úřad v cenovém rozhodnutí. Cenové rozhodnutí se vydává každoročně. [9]

Dle tohoto zákona jsou provozovatelé distribučních soustav (PRE a.s., E.ON a.s., ČEZ a.s.) a provozovatel přenosové soustavy (ČEPS a.s.) povinni připojit zdroj KVET a to přednostně. Připojení mohou odmítnout pouze v případě, kdy již není dostatečná lokální kapacita distribuční nebo přenosové soustavy, případně by připojení způsobilo ohrožení bezpečného nebo spolehlivého provozu soustavy.

Podporu je možno čerpat pouze formou tzv. zelených bonusů. Zelené bonusy se stanovují na každou vyrobenou MWh. Výše bonusu je stanovena v cenovém rozhodnutí a je závislá na používaném palivu, provozní době a výkonu zařízení. [9]

Vyhláška č. 37/2016 Sb.

Vyhláška č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů.

Vyhláška ošetřuje následující:

- § 2: Definice základních pojmů
- § 3: Způsob určení množství elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla
- § 4: Způsob určení množství elektřiny z druhotných zdrojů
- § 5: Osvědčení o původu elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla
- § 6: Osvědčení o původu elektřiny z druhotných zdrojů

Cenové rozhodnutí ERÚ č. 11/2016

V tuto chvíli je aktuální cenové rozhodnutí č. 11/2016 z 22. prosince 2016, nabývající účinnosti 1. ledna 2017.

Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Doplňková sazba se vztahuje pouze pro výrobní splňující podmínky uvedené v příloze *Př. 1.3*. V přílohách *Př. 1.1*, *Př. 1.2*, *Př. 1.3* jsou uvedeny sazby pro elektřinu vyrobenou pomocí kogenerace.

1.5 Postup při zřizování mikro jednotky

a) Zřízení plynové přípojky

Tento krok se týká instalace kogeneračních jednotek na zemní plyn do objektů bez stávající plynové přípojky. Podmínkou je přítomnost distribučního potrubí plynu.

Nejdříve podáme *Žádost o připojení k distribuční soustavě*, která bude obsahovat přibližný plán napojení. Od distributora pak obdržíme smlouvu o připojení, která je součástí vnitřního rozvodu plynu a následného stavebního povolení. Projektant, což může být distributor, projekční kancelář nebo firma, která bude zároveň provádět realizaci, po obdržení smlouvy o připojení vyhotoví projektovou dokumentaci. Vypracovaný projekt a smlouvu o připojení předložíme na příslušný stavební úřad a zažádáme o povolení ke stavbě. Stavební úřad je povinen vyjádřit se do 30 dnů od předložení dokumentů. Vyjádří-li se kladně, vybraná kvalifikovaná firma provede realizaci. Následně se provede revize a tlaková zkouška, na jejichž základě obdržíme zprávu o závěrečné kontrole. Cena pořízení přípojky se pohybuje v rozmezí 15 000 Kč až 20 000 Kč, cena může být i vyšší v závislosti na konkrétních podmínkách. [13]

b) Připojení zdroje k distribuční soustavě

Příslušnému distributorovi podáme žádost o připojení výrobní k distribuční soustavě. Spolu s žádostí doručíme i požadované přílohy jako například schéma napojení nebo katastrální mapu.

c) Stavební povolení

Pokud se neprovádí stavební úpravy kotelny jako je přivedení plynu nebo odvod spalin, pak stavební povolení není nutné.

d) Licence na výrobu elektřiny

Do 10 kW

Energetický zákon č. 458/2000 Sb. novelizovaný zákonem č. 131/2015 umožňuje provoz tzv. mikrozdrojů, tedy zdrojů do výkonu 10 kW bez licence na výrobu elektřiny, pokud v odběrném místě není připojena jiná výrobná. [14]

Nad 10 kW

Je nutný souhlas se zkušebním provozem nebo rozhodnutí o kolaudaci. Následně se doloží vztah k majetku, tj. faktura za nakoupenou kogenerační jednotku a určí se osoba odpovědná za licenci. Osoba odpovědná za licenci musí splňovat požadavky na kvalifikaci a praxi dle zákona 458/2000 Sb. Nakonec doložíme revizní zprávy na plynové zařízení a elektroinstalaci. [15]

e) Osvědčení o původu elektřiny a tepla

Osvědčení vydá Ministerstvo průmyslu a obchodu a je nutné pro vyplácení podpory KVET od distributora.

2. Porovnání cen energií

2.1 Historie

Historicky prvním palivem bylo dřevo. Ze současného pohledu se jedná o vcelku dobrý, obnovitelný zdroj energie s nízkým vlivem na životní prostředí. Přibližně před třemi tisíci lety bylo v Číně objeveno uhlí. V 18. století způsobil technický pokrok průmyslovou revoluci, která přerostla v hospodářskou a demografickou revoluci po celém světě. Jakýmsi symbolem průmyslové revoluce se stal parní stroj poháněný právě uhlím. S rozvojem populace rostly i její energetické požadavky a mimo uhlí se začala masově těžit ropa a zemní plyn. Tyto suroviny a jejich deriváty mají dodnes většinový podíl na zajišťování energií.

2.2 Základní pojmy

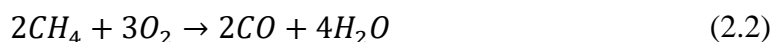
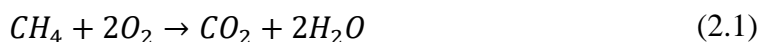
2.2.1 Definice pojmů

Palivo je látka, která dokáže za určitých podmínek udržet chemickou reakci spalování. Chemická energie v palivu se přeměňuje na tepelnou energii. Palivo lze rozložit na hořlavinu, popel a vodu.

Výhřevnost paliva H_v [MJkg^{-1}] rozumíme množství energie uvolněné dokonalým spalováním 1 kg daného paliva při následném ochlazení produktů na teplotu 20 °C. Spalováním uvolněné vodní páry *nekondenzují*. S tímto teplem pracuje většina kotlů, a proto prodejci paliv uvádějí pouze výhřevnost.

Spalným teplem paliva H_s [MJkg^{-1}] rozumíme množství energie uvolněné dokonalým spalováním 1 kg daného paliva při následném ochlazení produktů na teplotu 20 °C. Spalováním uvolněné páry *kondenzují*, a tedy se uvolňuje navíc skupenské teplo kondenzace, o které je spalné teplo vyšší oproti výhřevnosti stejného množství stejného paliva. Toto teplo z paliva získávají kondenzační kotle, které nejčastěji pracují na zemní plyn.

Rovnice (2.1) popisuje dokonalé spalování methanu, který se podílí na složení zemního plynu až z 90 %. V rovnici (2.2) je popsán průběh nedokonalého spalování methanu, přičemž vzniká jedovatý oxid uhelnatý. Špatný technický stav plynových kotlů a ohřivačů vody často způsobuje nedokonalé spalování zemního plynu a to v některých případech vede i k otravám obyvatel. Oxid uhelnatý je totiž bez zápachu a jeho přítomnost je možné zjistit jen použitím čidel.

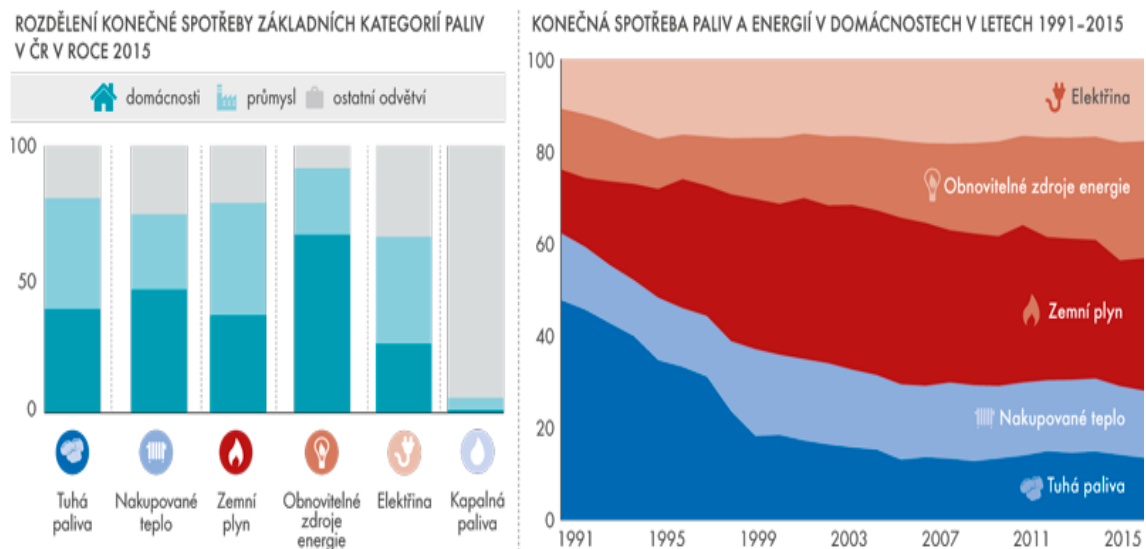


2.3 Srovnání spotřeby paliv – ENERGO 2015

Od července 2015 do ledna 2016 probíhalo v České republice výběrové šetření o spotřebě paliv pořádané Českým statistickým úřadem. Výsledky úřad publikoval v únoru roku 2017. Obdobná šetření provedl úřad v roce 1997 a roce 2004. [12]

Šetření úřad zaměřil na strukturu spotřeby a způsoby využití jednotlivých paliv a energií. Šetření nazývané ENERGO 2015 proběhlo se vzorkem 0,5 % trvale obydlených bytů a domů, jednalo se tedy přibližně o 20 000 domácností. [12]

Na Obr. 2.1 je zobrazeno rozdělení spotřeby základních typů paliv a lze zde vidět změnu rozdělení spotřeby paliv mezi lety 1991 až 2015. Oproti 90. letem 20. století velkému rozšíření spotřeb obnovitelných zdrojů a zemního plynu na úkor tuhých paliv. Vzhledem k současné energetické politice lze očekávat, že tento trend bude pokračovat v budoucnu.



Obr. 2.1 Statistika získaná šetřením ENERGO 2015 [12]

2.4 Srovnání cen energií

Porovnání cen energií (paliv) má velký ekonomický význam a pomáhá vybrat zdroje tepla a dodavatele energií. U elektrické energie nás zajímají pouze dodavatelé a jejich tarify. Tepelnou energii, resp. paliva ale porovnáváme ze dvou hledisek. Prvním je obecný rozsah ceny energie a druhým je cena, za kterou ji poskytuje konkrétní dodavatel s přihlédnutím k odebíranému množství. Ceny paliv se ale stále mění a pro správný návrh je nutné provádět i predikci vývoje ceny. Nutné je také zmínit, že na ceny paliv a jejich dostupnost má vliv i geopolitický vývoj. Důležité jsou také pořizovací ceny a účinnosti zařízení zpracovávajících paliva na teplo. V příloze Př 2.1 je porovnání nákladů na vytápění pro rodinný dům s cenami aktuálními k 1.5. 2017, uvedené ceny jsou s DPH. Toto porovnání je vztažené na potřebu 25 MWh, což odpovídá teplu potřebnému pro rodinný dům s tepelnými ztrátami přibližně 8 kW a vytápěním s akumulací, obývaný čtyřmi osobami.

3. Technický popis objektu včetně připojení na inženýrské sítě

3.1 Popis objektu

Jedná se o dvoupodlažní rodinný dům nacházející se ve Středočeském kraji ve městě Český Brod přibližně 40 km východně od Prahy a 24 km západně od Kolína. Lokální nadmořská výška je 219 m.n.m.

Celková zastavěná plocha je 175 m² a obytná plocha činí 125 m². Celkový vytápěný prostor je 273 m³. Budova pochází z 19. století a kolem roku 2000 byla zrekonstruována. Dům se nachází v zastavěné oblasti a je zasazen ve svahu. Budova má tvar písmene L a pro snadnější popis ji rozdělíme na *Část 1* a *Část 2*. Půdorys 1. PP je v příloze *Př. 3.1*, půdorys 1. NP na *Př. 3.2*. V *Př. 3.3* a *Př. 3.4* jsou uvedeny stavební materiály a konstrukční prvky s jejich tepelnými parametry.

Při výpočtech může docházet ke kolizím hodnot užívaných k výpočtům a pojmů uváděných normou se skutečnými. Například: majitelé rozhodli dílnu vzhledem k její velikosti a ne příliš častému používání nevytápět přímo a k jejímu vytápění slouží ztrátové teplo z kotle a zbytku domu. Proto pro dílnu neuvažujeme výpočtové vnitřní teploty uváděné v normě pro dílnu, ale uvažujeme ji vzhledem ke skutečnostem jako „Sklepy a jiné suterénní nevytápěné místnosti – větrané“. Obdobná situace nastává pro chodbu se schodištěm a šatnou. Projektová dokumentace není k dispozici a nejspíše nikdy ani nevznikla. Díky rozsáhlé rekonstrukci, která zasáhla většinu stavebních částí, máme ale k dispozici informace o použitých materiálech a rozměrech běžně nepřístupných stavebních částí.

Část 1

Část 1 je z jedné strany zasazena dva metry do svahu. V 1. PP tohoto křídla se nachází otevřená garáž a dílna spojená s technickou místností. 1. NP je po celé délce křídla tvořeno neobývanou místností sloužící jako odkládací prostor. Tato místnost vzhledem k dostatku místa v druhé části budovy nebyla zrekonstruována do obyvatelného stavu. Celá tato část je nevytápěná.

Část 2

Druhé křídlo je celé vytápěné a nachází se v něm celkem osm místností a chodba se schodištěm. V 1. PP se nachází obývací pokoj spojený s kuchyní, pokoj, šatna, koupelna a WC. Součástí 1. NP jsou dva pokoje a chodba.

3.2 Výpočet tepelných ztrát

Při výpočtu tepelných ztrát budeme vycházet z normy ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Norma uvádí dvě metody výpočtu, první úplnou a druhou zjednodušenou. Zjednodušená metoda je vhodná pro výpočty v předběžných projektových dokumentacích staveb. Pro návrh výpočtového topného výkonu, dle kterého se dimenzuje zdroj, se používá metoda úplná.

Při výpočtu budeme postupovat následovně:

- Určíme stavební materiály a jejich tepelný odpor závislý na tloušťce materiálu a jeho tepelné vodivosti. Tyto hodnoty poslouží k výpočtu součinitele prostupu tepla. Hodnoty tepelných vodivostí stavebních materiálů získáme z [16] a tepelné parametry oken a dveří z katalogu výrobců.
- Určíme součinitel prostupu tepla pro všechny stavební části.
- Z normy ČSN EN 12 831 získáme potřebné údaje pro výpočet tepelných ztrát, jedná se o výpočtovou venkovní teplotu, průměrnou venkovní teplotu v otopném období, výpočtové teploty místností a různé korekční a redukční činitele blíže popsané dále.
- Druhá část návrhového tepelného výkonu jsou tepelné ztráty větráním. Provedeme výpočet hygienického minima a množství vzduchu infilrací porovnáním získáme množství větracího vzduchu potřebné k výpočtu návrhových tepelných ztrát.

3.2.1 Tepelný odpor stavebních materiálů

Tepelný odpor R slouží k popisu materiálů a konstrukcí z hlediska jejich tepelných a izolačních vlastností. Tepelný odpor určíme vztahem:

$$R = \sum R_j = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} \quad [m^2KW^{-1}] \quad (3.1)$$

$$R = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \quad [m^2KW^{-1}] \quad (3.2)$$

R	celkový tepelný odpor stavební konstrukce $[m^2KW^{-1}]$;
R_{si}	tepelný odpor přestupu tepla na vnitřní straně $[m^2KW^{-1}]$;
R_{se}	tepelný odpor přestupu tepla na vnější straně $[m^2KW^{-1}]$;
R_i	tepelný odpor jednotlivých konstrukčních prvků $[m^2KW^{-1}]$;
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně $[Wm^{-2}K^{-1}]$;
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně $[Wm^{-2}K^{-1}]$;
d_i	tloušťka jednotlivých částí konstrukce $[m]$;
λ_i	součinitel tepelné vodivosti $[Wm^{-1}K^{-1}]$;

3.2.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla popisuje tepelnou výměnu mezi prostory oddělenými stavební konstrukcí. Definujeme ideální součinitel prostupu tepla U_{id} , což je součinitel pouze pro stavební konstrukci a nezahrnuje vliv tepelných mostů. V našem případě je výpočet tepelných mostů nereálný a proto zvolíme v souladu s normou ČSN EN 12 831 zahrnutí tepelných mostů pomocí souhrnného vlivu tepelných mostů $\Sigma U_{tbk,j}$. Tuto hodnotu zvolíme $\Sigma U_{tbk,j} = 0,2 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, což je hodnota pro budovy s výraznými tepelnými mosty. Celkový součinitel prostupu tepla je pak:

$$U = U_{id} + \sum U_{tbk,j} \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (3.3)$$

$$\sum U_{tbk,j} = 0,2 \quad [Wm^{-2}K^{-1}] \quad (3.4)$$

3.2.3 Tepelné ztráty prostupem

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ pro vytápěný prostor se určí:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (3.5)$$

$H_{T,ie}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru i do venkovního prostředí e pláštěm budovy $[WK^{-1}]$;
$H_{T,iue}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru i do venkovního prostředí e přes nevytápěný prostor u $[WK^{-1}]$;
$H_{T,ig}$	součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru i do zeminy g v ustáleném stavu $[WK^{-1}]$;
$H_{T,ij}$	součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru i do sousedního prostoru j vytápěného na nižší teplotu $[WK^{-1}]$;
$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru i $[^{\circ}C]$;
θ_e	výpočtová venkovní teplota $[^{\circ}C]$;

3.2.3.1 Tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.6)$$

A_k	plocha k -té stavební konstrukce $[m^2]$;
U_k	celkový součinitel prostupu tepla k -té stavební konstrukce $[Wm^{-2}K^{-1}]$;
e_k	korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům $[-]$;

3.2.3.2 Tepelné ztráty nevytápěným prostorem

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.7)$$

A_k	plocha k -té stavební konstrukce $[m^2]$;
U_k	celkový součinitel prostupu tepla k -té stavební konstrukce $[Wm^{-2}K^{-1}]$;
b_u	teplotní redukční činitel $[-]$ zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou mezilehlého nevytápěného prostoru a venkovní teplotou;

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (3.8)$$

$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru i $[^{\circ}C]$;
θ_e	výpočtová venkovní teplota $[^{\circ}C]$;
θ_u	výpočtová teplota nevytápěného prostoru $[^{\circ}C]$;

3.2.3.3 Tepelné ztráty do přilehlé zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.9)$$

f_{g1}	korekční činitel [-] zohledňující vliv změn venkovní teploty během roku;
f_{g2}	teplotní redukční činitel [-] zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou $\theta_{m,e}$;
A_k	plocha k -té stavební konstrukce ve styku se zeminou [m ²];
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla k -té stavební části daný geometrickými parametry podlahy [Wm ⁻² K ⁻¹];
G_w	korekční činitel [-] zohledňující vliv spodní vody, uvažujeme, pokud je hladina blíže než 1 metr od podzemního kraje základů budovy;

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (3.10)$$

$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného i -tého prostoru [°C];
θ_e	výpočtová venkovní teplota [°C];
$\theta_{m,e}$	průměrná roční venkovní teplota [°C];

Součinitel prostupu tepla volíme z tabulek v příloze normy ČSN EN 12 831 na základě parametru B' :

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad [m] \quad (3.11)$$

A_g	plocha dané podlahové konstrukce [m ²];
P	obvod dané podlahové konstrukce [m];

3.2.3.4 Tepelné ztráty do prostorů vytápěných rozdílně

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.12)$$

f_{ij}	redukční teplotní činitel [-], který koriguje teplotní rozdíl mezi teplotou sousedního prostoru a venkovní výpočtovou teplotou;
A_k	plocha k -té stavební konstrukce [m ²];
U_k	celkový součinitel prostupu tepla k -té stavební konstrukce [Wm ⁻² K ⁻¹];

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{int,soused_prost}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (3.13)$$

$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota vytápěného i -tého prostoru [°C];
θ_e	výpočtová venkovní teplota [°C];
$\theta_{int,soused_prost}$	výpočtová teplota sousedního vytápěného prostoru [°C];

3.2.4 Tepelné ztráty větráním

Výpočet tepelných ztrát větráním je závislý na parametrech větrací soustavy a na přirozeném větrání. V tomto domě není instalována větrací soustava, proto uvažujeme pouze přirozené větrání, tedy větrání otevíratelnými otvory a infiltrací, což je proudění vzduchu mezi vnitřkem a vnějškem budovy na základě větru a rozdílů tlaku.

Návrhovou tepelnou ztrátu větráním určíme obdobně jako prostupem:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (3.14)$$

$H_{V,i}$	součinitel návrhové tepelné ztráty větráním [WK^{-1}];
$\theta_{int,i}$	výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}C$];
θ_e	výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}C$];

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním i -tého prostoru $H_{V,i}$ se obecně určí:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho_{vzduch} \cdot c_{vzduch} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.15)$$

\dot{V}_i	výměna vzduchu v i -tém vytápěném prostoru [m^3s^{-1}]
ρ_{vzduch}	hustota vzduchu při dané $\theta_{int,i}$ [kgm^{-3}]
c_{vzduch}	měrná tepelná kapacita vzduchu při dané $\theta_{int,i}$ [$Jkg^{-1}K^{-1}$]

Tento vztah se často zjednodušuje při uvažování konstantní hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_{ih} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.16)$$

\dot{V}_{ih}	výměna vzduchu v i -tém vytápěném prostoru [m^3h^{-1}]. V normě se uvádí stejné značení \dot{V}_i pro výměnu vzduchu v m^3s^{-1} i m^3h^{-1} , avšak v praktických výpočtech se používá výměna vzduchu za hodinu (zjednodušený vztah). Aby nedocházelo ke sporům, je zde výměna vzduchu za hodinu doplněna indexem h .
----------------	--

3.2.4.1 Výměna vzduchu infiltrací

Výměnu vzduchu infiltrací určíme:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [m^3h^{-1}] \quad (3.17)$$

V_i	objem i -té větrané místnosti [m^3];
n_{50}	intenzita výměny vzduchu za hodinu při rozdílu tlaku 50 Pa mezi vnitřkem a vnějškem budovy [h^{-1}];
e_i	stínící činitel [-];
ε_i	výškový korekční činitel [-] respektuje změny rychlosti proudění vzduchu s rostoucí výškou nad terénem;

3.2.4.2 Hygienické množství vzduchu

Hygienické množství vzduchu říká, jaké je minimální možná výměna vzduchu z hygienického hlediska. Minimální hygienické množství vzduchu určíme:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3 h^{-1}] \quad (3.18)$$

n_{min} minimální intenzita výměny vzduchu [h^{-1}] udaná v normě;
 V_i objem dané místnosti [m^3];

Jako výpočtovou hodnotu výměny vzduchu \dot{V}_{ih} vezmeme větší z hodnot $\dot{V}_{inf,i}$ a $\dot{V}_{min,i}$, tedy:

$$\dot{V}_{ih} = \max(\dot{V}_{inf,i}; \dot{V}_{min,i}) \quad [m^3 h^{-1}] \quad (3.19)$$

3.2.5 Zátopový tepelný výkon

Pro budovy se systémem přerušovaného vytápění se při návrhu tepelného zdroje započítává ještě tzv. zátopový tepelný výkon, který kompenzuje snížení teploty budovy během útlumu, a tedy pomáhá dosáhnout požadované teploty a tedy tepelný zdroj musí disponovat navíc tímto výkonem. *Zátopový tepelný výkon se ale pro systém topení s akumulací tepla neuvažuje.* Vytápěcí soustava s akumulací tepla je právě náš případ. Pro úplnost ale zmíníme výpočet výpočtového zátopového výkonu:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W] \quad (3.20)$$

A_i podlahová plocha i -té vytápěné místnosti [m^2];
 f_{RH} korekční součinitel [$W m^{-2}$] závislý na době útlumu a předpokládaném poklesu vnitřní teploty během útlumu. Parametry jsou závislé na tepelných akumulačních vlastnostech konstrukčních materiálů budovy;

Celkový výpočtový tepelný výkon vytápěné i -té místnosti je pak dán součtem všech dílčích tepelných výkonů. Jedná se tedy o tepelný výkon, který je do místnosti potřeba dodávat, aby zde byla zajištěna daná vnitřní výpočtová teplota při daných podmínkách:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [W] \quad (3.21)$$

Pro celou budovu je to následně součet návrhových tepelných výkonů všech n vytápěných místností:

$$Q_{HL} = \sum_{i=1}^n \Phi_{HL,i} \quad [W] \quad (3.22)$$

Tepelná ztráta budovy Q_c je rovna součtu pouze návrhové tepelné ztráty větráním a prostupem, tedy:

$$Q_c = \sum_{i=1}^n (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \quad [W] \quad (3.23)$$

Celkovou tepelnou ztrátu Q_c budovy jsme v souladu s úplnou výpočtovou metodou tepelných ztrát dle ČSN EN 12 831 určili na $Q_c = 11 \text{ kW}$.

Tepelné ztráty				
Značení	Místnost	Prostupem [W]	Větráním [W]	Celkem místnost [W]
0.2	Koupelna	489	115	604
0.3	WC	776	142	918
0.4	Chodba se schodištěm a šatnou	2362	431	2793
0.5	Obývací pokoj s kuchyní	2138	231	2369
0.6	Pokoj 1	836	127	962
1.1	Pokoj 2	814	243	1057
1.2	Pokoj 3	1873	347	2220
	Celkem dům	9287	1636	10923

Tab 3.1 Tepelné ztráty domu

3.3 Příklad výpočtu tepelných ztrát pro kuchyň s obývacím pokojem

Zde si uvedeme příklad výpočtu například pro kuchyň s obývacím pokojem. Místnost je značena v nákresech i výpočtech jako 0.5. Tabulky s výpočty pro celý dům jsou v přílohách Př 3.7, Př 3.8 a Př 3.9.

3.3.1 Ztráty do země

Celková podlahová plocha činí $31,19 \text{ m}^2$, kuchyňská část je přes obvodovou zeď zasazena ve svahu v ploše $2,80 \text{ m}^2$. Korekční činitel f_{g1} zvolíme $f_{g1} = 1,45$. Spodní vody jsou dále než 1 m od spodní části podlahové konstrukce, proto $G_w = 1$.

Činitel zahrnující průměrnou venkovní roční teplotu určíme dosazením do rovnice (3.10):

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,0.5} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,0.5} - \theta_e} = \frac{20 - 4}{20 - (-12)} = 0,5 \quad (3.10)$$

Návrhová teplota kuchyně s obývacím pokojem je $\theta_{int,0.5} = 20 \text{ °C}$, průměrná venkovní roční teplota je pro danou oblast $\theta_{m,e} = 4 \text{ °C}$, výpočtová venkovní teplota pro danou oblast je $\theta_e = -12 \text{ °C}$.

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla určíme z přílohy normy ČSN EN 12 831 na základě parametru B' . Parametr B vychází pro podlahu všech místností stejný, přibližně $B' = 2 \text{ m}$. Zde pro kuchyň s obývacím pokojem:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} = \frac{31,19}{0,5 \cdot 27,1} = 2,3 \sim 2 \text{ m} \quad (3.11)$$

Tomu pro tepelně neizolovanou podlahu zasazenou 1,5 m pod terémem odpovídá $U_{equiv0.5,podlaha} = 0,860 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Pro obvodovou zeď s $U_{obvodova} = 1,19 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ zasazenou 1 m v zemi je dle tabulek $U_{equiv0.5,obvodova} = 0,810 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Dosazením do rovnice (3.9) získáváme pro tepelné ztráty kuchyně s obývacím pokojem do země:

$$H_{T,0.5g} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.9)$$

$$H_{T,0.5g} = 1,45 \cdot 0,5 \cdot (31,19 \cdot 0,860 + 2,80 \cdot 0,810) \cdot 1 = 21,1 \text{ W} \cdot K^{-1} \quad (3.9)$$

3.3.2 Tepelné ztráty do prostoru vytápěného na rozdílnou teplotu

V tomto případě se jedná o tepelný tok do chodby s návrhovou teplotou $\theta_{int,0.5} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Činitel f_{ij} korigující rozdíl mezi teplotami prostorů je:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{int,soused_prost}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (3.13)$$

$$f_{ij} = \frac{20 - 15}{20 - (-12)} = 0,156 \quad (3.13)$$

Součinitel prostupu tepla nosnou zeď, která odděluje oba prostory $U_{nosna} = 1,60 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, plocha je $12,04 \text{ m}^2$. Součinitel prostupu tepla pro vnitřní dveře je $U_{vn,dvere} = 2,77 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ a plocha dveří je $1,40 \text{ m}^2$. Dosazením do rovnice (3.12) dostáváme:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.12)$$

$$H_{T,0.5_0.4} = 0,156 \cdot (12,04 \cdot 1,60 + 1,40 \cdot 2,77) = 3,6 \text{ W} \cdot K^{-1} \quad (3.12)$$

3.3.3 Tepelné ztráty do venkovního prostředí

Teplo v tomto případě uniká přes obvodovou zeď s $U_{obvodova} = 1,20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ a okna s $U_{okna} = 2,17 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Plocha obvodové zdi činí $23,36 \text{ m}^2$, plocha oken je $6,48 \text{ m}^2$. Činitel vystavení povětrnostním vlivům volíme $e_k = 1$, což odpovídá budově v zastavěné oblasti. Dosazením do (3.6) získáváme:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (3.6)$$

$$H_{T,0.5e} = (23,36 \cdot 1,20 + 6,48 \cdot 2,17) \cdot 1 = 42,1 \text{ W} \cdot K^{-1} \quad (3.6)$$

3.3.4 Celkové tepelné ztráty prostupem

Celkové tepelné ztráty prostupem určíme pomocí rovnice (3.5):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (3.5)$$

$$\Phi_{T,0.5} = (42,1 + 0 + 21,1 + 3,6) \cdot (20 - (-12)) = 2138 \text{ W} \quad (3.5)$$

3.3.5 Výměna vzduchu infiltrací

Pro stanovení tepelných ztrát větráním použijeme zjednodušený výpočet popsaný rovnicí (3.16). Musíme nejdříve stanovit výměnu vzduchu infiltrací a hygienické minimum vzduchu. Větší hodnota poslouží k výpočtu tepelných ztrát větráním.

Výměna vzduchu infiltrací je popsána rovnicí (3.17):

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [m^3 h^{-1}] \quad (3.17)$$

Objem místnosti činí 42,41 m³. Intenzitu výměny vzduchu při rozdílu tlaků 50 Pa uvažujeme $n_{50} = 5 \text{ h}^{-1}$. Činitel zaclonění uvažujeme v závislosti na počtu oken $e_i = 0,03$. Výškový korekční činitel je $\varepsilon = 1$. Dosazením do (3.17) získáváme:

$$\dot{V}_{inf,0.5} = 2 \cdot 42,41 \cdot 5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 12,72 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \quad (3.17)$$

3.3.6 Hygienické množství vzduchu

Minimální výměnu vzduchu pro splnění hygienických požadavků učíme:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3 h^{-1}] \quad (3.18)$$

Koeficient minimální výměny vzduchu pro obývací pokoj je $n_{min0.5} = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Dosazením do (3.18) získáváme:

$$\dot{V}_{min,0.5} = 0,5 \cdot 42,41 = 21,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \quad (3.18)$$

3.3.7 Tepelné ztráty větráním

Výpočtová výměna vzduchu je tedy $\dot{V}_{0.5h} = 21,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Součinitel návrhové tepelné ztráty je tedy:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_{ih} = 7,20 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \quad (3.16)$$

A tedy tepelné ztráty větráním jsou:

$$\Phi_{V,0.5} = H_{V,0.5} \cdot (\theta_{int,0.5} - \theta_e) = 7,20 \cdot (20 - (-12)) = 231 \text{ W} \quad (3.14)$$

3.3.8 Celkové tepelné ztráty

Celkové tepelné ztráty kuchyně s obývacím pokojem tedy jsou:

$$Q_{c0.5} = \Phi_{T,0.5} + \Phi_{V,0.5} = 2138 + 231 = 2369 \text{ W} \quad (3.23)$$

3.4 Roční spotřeba tepla na vytápění

Pro výpočet roční potřeby tepla k vytápění lze použít denostupňovou metodu popsanou rovnicí (3.24). Nutné je zmínit, že denostupňová metoda je velmi rozšířená a oblíbená. Nicméně je zřejmé, že poskytuje stále stejný výsledek bez ohledu na to, jak teplý bude daný rok. Přesnější je použití TDD, které sledují a předpovídají odběry energií. Zde si denostupňovou metodu uvedeme a její výsledky porovnáme se stávající spotřebou, tedy spotřebou za topnou sezónu 2016/2017. Pro návrh kogenerační jednotky použijeme TDD dodávek plynu pro rok 2017.

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot \frac{1}{10^{-3}} \quad [MWh] \quad (3.24)$$

ε	opravný součinitel [-]. Volí se v závislosti na typu staveb a systému vytápění. Pro střední rodinné domy s krátkými otopnými přestávkami nebo těžké domy bez otopných přestávek volíme $\varepsilon = 0,765$;
η_o	účinnost obsluhy [-]. Volí se v rozmezí 0,9 až 1. V našem případě budeme uvažovat $\eta_r = 0,95$;
η_r	účinnost rozvodu vytápění [-]. Volí se v rozmezí 0,95 až 0,98. V našem případě budeme uvažovat $\eta_r = 0,95$;
Q_c	tepelné ztráty objektu [kW];
D	počet vytápěcích denostupňů [K·den]
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C], pro obytné budovy uvažujeme $t_{is} = 19 \text{ °C}$;
t_e	venkovní výpočtová teplota [°C], v naší lokalitě $t_e = -12 \text{ °C}$;

Vytápěcí denostupně charakterizují dobu vytápění, určí se dle rovnice (3.25):

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad [K \cdot den] \quad (3.25)$$

d	délka topného období [den], pro naši lokalitu $d = 226$ dnů;
t_{is}	průměrná vnitřní výpočtová teplota [°C], pro obytné budovy uvažujeme $t_{is} = 19 \text{ °C}$;
t_{es}	průměrná teplota během topného období [°C], pro naši lokalitu je $t_{es} = 4,4 \text{ °C}$;

Dosazením hodnot do rovnice (3.25) získáváme počet denostupňů:

$$D = 226 \cdot (19 - 4,3) = 3300 \text{ K} \cdot den \quad (3.25)$$

Dosazením do (3.24) získáváme množství tepla potřebné na vytápění během jednoho roku:

$$Q_{VYT,r} = \frac{0,765}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 11 \cdot 3300}{(19 - (-12))} \cdot 10^{-3} = 23,8 \text{ MWh} \quad (3.24)$$

3.5 Výpočet spotřeby teplé užitkové vody

Norma ČSN 06 0320 Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody uvádí: „Zařízení pro ohřívání užitkové vody má být navrženo a vybaveno tak, aby teplota teplé vody v místě odběru (na výtoku u uživatele v objektech) dosahovala teplotu 50 °C až 55 °C, výjimečně 45 až 60 °C.“ Obdobně hovoří také vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004. Vyhláška doporučuje teplotu vody 55 °C po odtočení, minimálně však 50 °C a to z důvodů minimalizace množení bakterií rodu Legionella. [9]

Výpočet tepla potřebného pro ohřev teplé vody je uvedeno v normě ČSN 06 0320.

Teplu potřebné k ohřevu teplé užitkové vody pro jednodenní potřeby budovy $Q_{TUV,d}$ je:

$$Q_{TUV,d} = \frac{n \cdot (1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho_{H_2O} \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6} \quad [kWh] \quad (3.26)$$

n	počet osob [-];
z	ztrátový činitel při ohřevu a distribuci teplé vody [-]. Účinnost ohříváče proto dále neuvažujeme, protože je zde zahrnuta. Výraz $(1 + z)$ je vlastně převrácená hodnota účinnosti celé soustavy pro ohřev teplé vody;
V_{2p}	spotřeba teplé vody na osobu za den [$m^3 \text{den}^{-1}$];
ρ	hustota vody o střední teplotě vody v zásobníku [kgm^{-3}];
c_{H_2O}	měrná tepelná kapacita vody [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$];
t_2	výstupní teplota vody [$^{\circ}\text{C}$];
t_1	vstupní teplota vody [$^{\circ}\text{C}$];

Teplu dodané ohřevu teplé vody během roku je navíc závislé na teplotách studené vody během letních dnů a topného období a určí se následovně:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad [kWh] \quad (3.27)$$

$Q_{TUV,d}$	denní spotřeba teplé vody [kWh];
d	délka topného období [den];
t_2	teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$];
t_1	teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$];
t_{svl}	teplota studené vody v létě [$^{\circ}\text{C}$];
t_{svz}	teplota studené vody v zimě [$^{\circ}\text{C}$];
N	počet pracovních dní soustavy v roce – roční perioda [den];

Parametry pro výpočet energie potřebné k ohřevu teplé vody jsou uvedeny v Tab. 4.1:

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
n [-]	4	z [-]	0,5	V[m ³]	0,05
t ₁ [°C]	10	ρ [kgm ⁻³]	1000	d [den]	216
t ₂ [°C]	55	c [Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	4186	τ [h]	24
t _{svl} [°C]	15	t _{svz} [°C]	5	N [den]	365

Tab. 4.1 Hodnoty pro výpočet TUV

Denní spotřebu na ohřev teplé užitkové vody získáváme dosazením do (3.26):

$$Q_{TUV,d} = \frac{4 \cdot (1 + 0,5) \cdot 0,082 \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot (55 - 10)}{3,6 \cdot 10^6} = 25,7 \text{ kWh} \quad (3.26)$$

Roční spotřeba energie na ohřev teplé vody činí podle (3.27):

$$Q_{TUV,r} = 25,7 \cdot 226 + 0,8 \cdot 25,7 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 226) = 8094 \text{ kWh} \quad (3.27)$$

Určíme si navíc energii potřebnou k ohřevu teplé vody během netopných dnů. Je zřejmé, že se jedná o druhou část rovnice (3.27):

$$Q_{TUV,netop} = 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \text{ [kWh]} \quad (3.28)$$

Po dosazení:

$$Q_{TUV,netop} = 0,8 \cdot 25,7 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (365 - 226) = 2286 \text{ kWh} \quad (3.28)$$

Během topných dnů je k ohřevu teplé vody spotřebováno:

$$Q_{TUV,top} = Q_{TUV,r} - Q_{TUV,netop} \text{ [kWh]} \quad (3.29)$$

Po dosazení:

$$Q_{TUV,top} = 8094 - 2286 = 5808 \text{ kWh} \quad (3.29)$$

Tyto hodnoty budou důležité při dalších úvahách. Celková potřeba tepla domu během roku činí:

$$Q_r = 23,8 + 8,1 = 31,9 \text{ MWh} \quad (3.30)$$

Celková potřeba během topné sezóny je:

$$Q_{top_obdobi} = 23,8 + 5,8 = 29,6 \text{ MWh} \quad (3.31)$$

3.6 Porovnání výpočtů s reálnou spotřebou tepla

Za topnou sezónu 2016/2017 bylo dodáno podle dostupných faktur 12 000 kg hnědého uhlí o výhřevnost udávané dodavatelem $H_{v,hu} = 15 \text{ MJkg}^{-1}$ a přibližně 1 pm dřeva o výhřevnosti přibližně $H_{v,dr} = 8 000 \text{ MJkg}^{-1}$. Veškeré palivo bylo spotřebováno. Celková energie v palivu činila 52,2 MWh. Při účinnosti kotle 77 % mělo být dodáno do domu 40,2 MWh. Jelikož dosavadní systém vytápění spočíval v práci kotle přímo do topné soustavy s nočními útlumy, musíme při výpočtech uvažovat i zátopový tepelný výkon. Při úvaze zátopového činitele $f_{RH} = 22 \text{ Wm}^{-2}$ (odpovídá dle tabulek v ČSN EN 12 831 poklesu teploty 3 K a zátopové době 2 hodiny) se návrhový tepelný výkon zvýší na 13,8 kW, čemuž odpovídá (včetně TUV) potřeba 35,8 MWh tepla během topné sezóny. Rozdíl 4,4 MWh (11 %, 1 100 kg uhlí) mezi výpočtem a reálnou spotřebou je odůvodnitelný nepřesnostmi výpočtů, odlišností klimatických podmínek, sníženou účinností kotle vlivem jeho zanesení nebo jiných atmosférických podmínek, nižší výhřevností paliva nebo větším obsahem vody.

3.7 Spotřeba elektrické energie

Spotřebu elektrické energie lze určit více způsoby. Pro nové budovy se dá přibližná spotřeba stanovit pomocí pozorování spotřeb podobných budov s podobnými zařízeními a režimy využívání. Při hledání podkladů k této práci jsme velmi často naráželi na odhad spotřeby elektrické energie v rodinných domech a bytech pomocí součtu součinů příkonu daných zařízení s jejich odhadovanou dobou činnosti. Tento výpočet je však zcela mylný a nedá se použít ani jako orientační. Vychází totiž z činnosti zařízení při jmenovitém výkonu po celou dobu užívání. Většina zařízení nepracuje po celou uvažovanou dobu při jmenovitém výkonu, např.: automatická pračka s výkonem 2,3 kW disponuje topným tělesem 2 kW a elektromotorem o výkonu 0,3 kW, a zatímco můžeme s malou chybou uvažovat činnost motoru po celou dobu jednoho praní, topné těleso určitě není v provozu celou dobu. Obdobné je to pro myčky nádobí, sporáky, trouby, sušičky. Také stolní počítače, domácí kina apod. nepracují po celou dobu na jmenovitý výkon. Touto metodou dokážeme přesně odhadnout spotřebu pouze u varné konvice. Proto je nejlepší vycházet z údajů o roční spotřebě uváděných výrobcem v příručkách přístrojů nebo použít TDD.

V našem případě disponujeme fakturami za sdružené služby dodávky elektřiny. Průměrná spotřeba elektřiny za poslední dva roky činí 6 122 kWh. Jak bylo dříve zmíněno, během netopných dnů je voda ohřívána elektrickým ohříváčem. Jelikož bude teplou vodu během netopných dnů ohřívát kogenerační jednotka, musíme odečíst spotřebu elektřiny na ohřev teplé vody.

Výsledná spotřeba elektrické energie domu E_r je:

$$E_r = E_{faktur} - Q_{TV,netop} = 6122 - 2286 = 3836 \text{ kWh} \quad (3.32)$$

Celkovou roční spotřebu elektřiny budeme uvažovat na 4 MWh.

3.8 Připojení na inženýrské sítě

3.8.1 Elektrická přípojka

Dům je napojen na distribuční soustavu kabelem AYKY 4x10 z pojistkové skříně RS s pojistkami 50 A umístěné před zahrádkou před domem. Napěťová soustava je 3+NPE ~ 50 Hz, 400 V, TN-C. Ochrana před úrazem elektrickým proudem je provedena samočinným odpojením od zdroje dle požadavku ČSN 33 200-4-41 ed. 2 a ČSN EN 61 140 ed. 2.

Dům disponuje jedním, hlavním, rozvaděčem, který je zapuštěný ve fasádě budovy. Rozvaděč RH je osazen fakturačním elektroměrem, hlavním jističem B25/3 a jističi pro jednotlivé obvody domovní elektroinstalace.

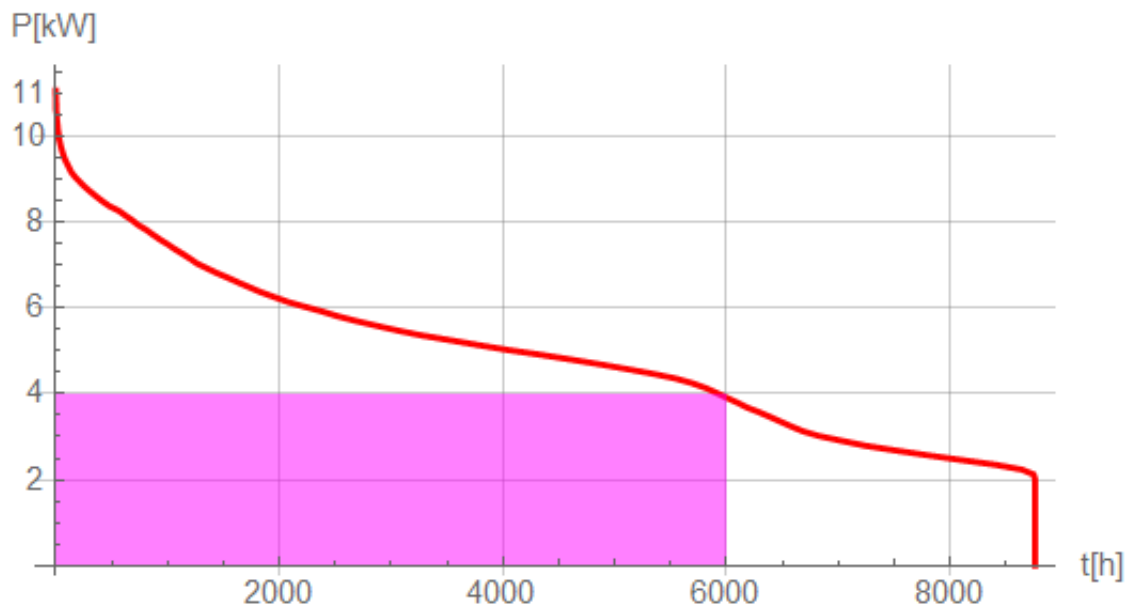
3.8.2 Plynová přípojka

Dům není připojen na distribuční plynovou soustavu. Musíme zařídit plynovou přípojku a přivedení plynu do kotelny. V *Př. 3.10* je znázorněno plánované připojení. Dále se plynovou přípojkou zabývat nebudeme, jen přihlédneme k ceně realizace přípojky a přivedení plynu do kotelny při vyhodnocování projektu.

4. Návrh aplikace kogenerační jednotky

4.1 Dimenzování jednotky

Při výběru kogenerační jednotky musíme vycházet ze skutečností, že je neefektivnější jednotku provozovat při jejím jmenovitém výkonu i když disponuje možností regulace. Zároveň je také důležité, aby pokryla co největší část diagramu potřeby tepla během roku. K dimenzování použijeme TDD5 pro dodávky plynu pro Středočeský kraj. Maximální výkon odpovídá tepelným ztrátám budovy.



Obr. 4.1 Křivka trvání výkonu tepla

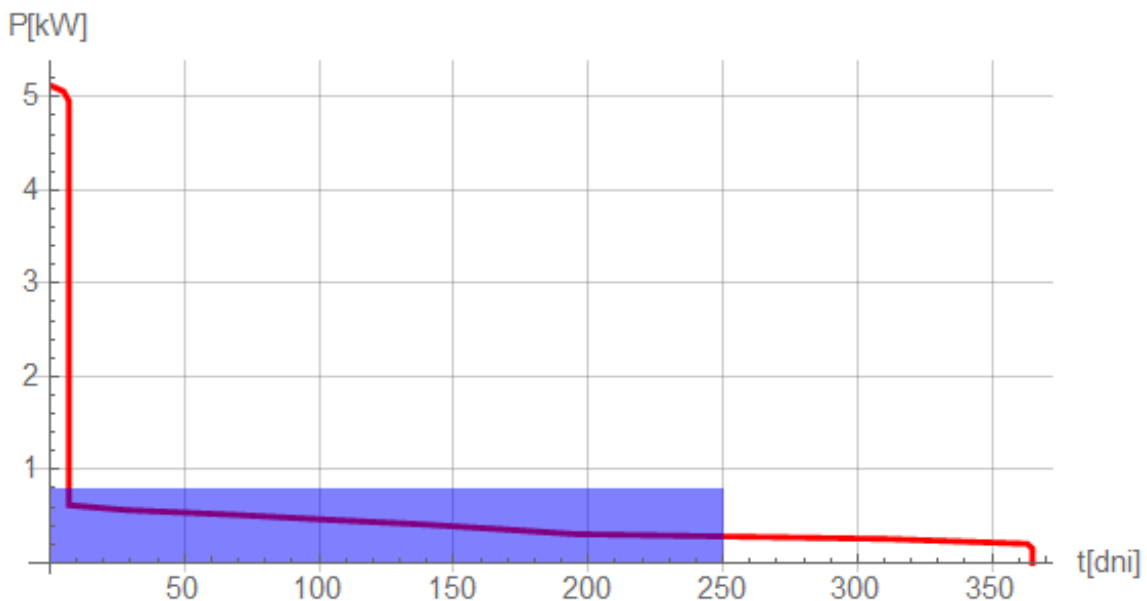
Celková plocha pod křivkou odpovídá potřebnému teplu $Q_{navrh,TDD} = 43,2$ MWh. Plocha růžového obdélníka odpovídá teplu dodanému jednotkou, $Q_{kog,r} = 24$ MWh, zbylé teplo $Q_{mimokog,r} = 19,2$ MWh se pokryje z jiného zdroje.

Jako vhodná jednotka se jeví kogenerační jednotka Viessmann Vitotwin 300 W. Jedná se o kogenerační jednotku se Stirlingovým motorem a plynovým kondenzačním kotlem pro pokrývání výkonových špiček. Zbytek spotřeby, což je ohřev teplé vody bude pokrývat plynový ohřívač. Vitotwin 300 W disponuje integrovaným MID elektroměrem, který poslouží k měření výroby za účelem proplácení zelených bonusů. Jednotka se nedodává samostatně, ale je součástí instalačního balíčku, který obsahuje kogenerační jednotku s kondenzačním kotlem, akumulární nádobu, čerpadla a další příslušenství.

Výrobce	Viessmann
Typ	Vitotwin 300-W
Elektrický výkon	0,8 kWe
Elektrická účinnost	19,2 %
Tepelný výkon Stirling	4 kWt
Tepelná účinnost Stirling	76,8 %
Celková účinnost Stirling	96 %
Tepelný výkon kotel	20 kWt
Účinnost kotel	98 %
Kompletní cena (materiál + instalace)	500 000 Kč
Náklady na údržbu	5000 Kč ročně

Tab 4.1 Zvolená kogenerační jednotka

Na Obr. 4.2 je znázorněna spotřeba elektřiny pomocí TDD4. Modrý obdélník vyjadřuje jednotkou vyrobenou energii, což je 4,8 MWh. Plocha přesahující křivku odpovídá energii, která se prodá do distribuční sítě, 2,3 MWh. Nevyplněná plocha pod křivkou odpovídá energii, kterou bude nutné dokoupit, tedy 1,5 MWh.



Obr. 4.2 Křivka trvání výkonu elektřiny

4.2 Připojení jednotky a potřebné úpravy

Jednopólové elektrické schéma zapojení je v *Př. 4.1*. Kogenerační jednotka bude umístěna na místě stávajícího kotle, vedle bude umístěna akumulární nádoba. Tepelné schéma je v *Př. 4.2*. Úpravy proběhnou jen drobné a celý systém se napojí na stávající soustavu.

Současný fakturační dvoukvadrantní elektroměr bude vyměněn za čtyřkvadrantní a výstup generátoru jednotky bude přiveden na přípojnice hlavního rozvaděče.

Stavební úpravy proběhnou jen drobné: ukotvení kogenerační jednotky s kondenzačním kotlem a ohřívacem TUV na zeď, upevnění akumulární nádoby k zemi a vysekání drážek pro kabeláž.

4.3 Roční spotřeba plynu

Příkon kogenerační jednotky určíme:

$$P_{0kog} = \frac{P_{Ekog} + P_{Tkog}}{\eta_{Ekog} + \eta_{Tkog}} = \frac{0,8 + 4}{0,192 + 0,768} = 5 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Což odpovídá hodinové spotřebě $Q_{0,kog,h} = 5 \text{ kWh}$, za provozní dobu $T_{kog} = 6\,000 \text{ h}$ spotřeba činí:

$$Q_{0,kog,r} = Q_{0,kog,h} \cdot T_{kog} = 5 \cdot 6000 = 30 \text{ MWh} \quad (4.2)$$

Při spalném teple zemního plynu $H_{s,zp} = 37,98 \text{ MJm}^{-3}$ je dodaný roční objem plynu:

$$V_{plyn,kog,r} = \frac{Q_{0,kog,r} \cdot 3,6 \cdot 10^3}{H_{s,zp}} = \frac{30 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{37,98} = 2844 \text{ m}^3 \quad (4.3)$$

Zbývá spotřeba tepla bude pokryta kondenzačním plynovým kotlem a kondenzačním plynovým ohřívacem vody s možností vnějšího ohřevu, který nahradí dosavadní elektrický ohříváč. Účinnosti kondenzačního kotle a vybraného kondenzačního ohříváče jsou shodné $\eta_{TUV,kotel} = 98 \%$. Spotřeba energie ve zbytku diagramu činí:

$$Q_{0,mimokog,r} = \frac{Q_{mimokog,r}}{\eta_{TUV,kotel}} = \frac{19,2}{0,98} = 19,6 \text{ MWh} \quad (4.4)$$

To odpovídá objemu:

$$V_{plyn,mimokog,r} = \frac{Q_{0,mimokog,r} \cdot 3,6 \cdot 10^3}{H_{s,zp}} = \frac{19,6 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{37,98} = 1856 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

Celkový dodaný objem plynu během jednoho roku činí $4\,700 \text{ m}^3$, což odpovídá $49,6 \text{ MWh}$ (spalné teplo).

5. Ekonomické a technické vyhodnocení provozu kogenerační jednotky

5.1 Ekonomické zhodnocení

5.1.1 Náklady na pořízení a instalaci

Cena realizace projektu byla po telefonické konzultaci se společností, která realizace provádí, Kamnářství Pešek Vamberk, stanovena na 500 000 Kč. Cena zahrnuje kogenerační jednotku s kondenzačním kotlem, akumulární nádrž o objemu 400 litrů, kondenzační ohřívač teplé vody s akumulací, instalační materiál, práci a další příslušenství. Náklady na pořízení plynové přípojky a zavedení plynu do kotelny odhadujeme na 30 000 Kč.

Pořizovací náklady	530 000 Kč
--------------------	------------

Tab 5.1 Pořizovací náklady

5.1.2 Roční náklady

Pomocí kalkulátoru cen energií dostupného na [5] nalezneme nejvýhodnějšího dodavatele zemního plynu a elektřiny.

Elektřina	7 094 Kč
Zemní plyn	37 406 Kč
Údržba jednotky	5 000 Kč
Celkem	49 500 Kč

Tab. 5.2 Roční náklady kogenerace

5.1.3 Roční výnosy

Roční příjmy jsou ze zelených bonusů a z prodeje přebytků do sítě. ČEZ, a.s. nabízí 500 Kč za 1 MWh elektřiny prodané do sítě.

Zelené bonusy	1 050 Kč za MWh	5 040 Kč
Prodej do sítě	500 Kč za MWh	1 150 Kč
Celkem	-	6 190 Kč

Tab. 5.3 Roční výnos z elektřiny kogenerace

Roční náklady na teplo a elektřinu bez použití kogenerační jednotky budeme považovat za výnos.

Elektřina	16 552 Kč
Zemní plyn	34 098 Kč
Celkem	50 650 Kč

Tab. 5.4 Roční náklady za energie bez kogenerace

Celkový roční výnos činí 56 840 Kč.

5.1.4 Roční bilance

Celkovou roční bilanci, tedy roční peněžní tok, určíme rozdílem výnosu od nákladů:

$$CF = C_{ročni_výnos} - C_{ročni_náklady} = 56840 - 49500 = 7340 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

Kladná bilance značí roční úsporu oproti alternativnímu zajišťování energií elektřinou z distribuční sítě a tepla z kondenzační kotle. Avšak 7 340 Kč ročně, což je 612 Kč měsíčně, není příliš uspokojivý výsledek při přihlédnutí k pořizovací ceně. Jako index výhodnosti můžeme považovat dobu návratnosti, viz dále.

5.1.5 Doba návratnosti a čistá současná hodnota

Doba návratnosti je klíčový faktor, který určuje, za jakou dobu se vrátí investice na úsporách dané instalace namísto jiné. Prostá doba návratnosti se používá k hrubému odhadu.

Prostá doba návratnosti

Jedná se o podíl celkových nákladů a roční úspory:

$$T_{NP} = \frac{IN}{CF} = \frac{530\,000}{7340} = 72 \text{ let} \quad (5.2)$$

IN investiční náklady;
CF roční peněžní tok;

Diskontovaná doba návratnosti

$$T_{ND} = \frac{IN}{DCF} \quad (5.3)$$

, kde:

$$DCF = \frac{CF}{(1+r)^t} \quad (5.4)$$

IN investiční náklady;
DFC diskontovaný peněžní tok;
CF roční peněžní tok;
r diskont – procentuální výnos z investice částky odpovídající nákladům do jiné, stejně rizikové příležitosti;
t rok, na který vztahujeme *DCF*;

Garantovaná životnost kogenerační jednotky je 15 let. Jako alternativní investici budeme uvažovat vklad na termínovaný účet na 15 let s úrokem 3 % ročně. Pak diskontovaný peněžní tok činí:

$$DCF = \frac{7340}{(1 + 0,03)^{15}} = 4711 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

a tedy diskontovaná doba návratnosti:

$$T_{ND} = \frac{530000}{4711} = 113 \text{ let} \quad (5.3)$$

Čistá současná hodnota

Jedná se o nejpoužívanější systém určení výhodnosti projektu. Zahrnuje dobu životnosti projektu i možnost investice do jiného, stejně rizikového projektu. [5] Čistou současnou hodnotu určíme:

$$NPV = \sum_0^t DCF = \sum_0^t \frac{CF}{(1 + r)^t} \quad (5.5)$$

K výpočtu použijeme kalkulátor ze zdroje. [5] Do výpočtu zahrneme i pořízení úvěru, viz. *Obr. 5.1*.

Základní parametry investice		
Doba životnosti projektu	15	[počet let] ???
Celková investice do zařízení	530000	[Kč] ???
Úvěr nutný pro pořízení zařízení ???		
Úvěr (vypůjčená částka)	500000	[Kč]
Úroková sazba	6,5	[%]
Doba splácení úvěru	6	[počet let]
Roční výnos z provozovaného zařízení ???		
Roční výnos z pořizovaného zařízení	56840	[Kč]
Roční změna výnosu z pořizovaného zařízení	3	[%]
Roční náklady na provoz pořizovaného zařízení ???		
	Roční náklady [Kč]	Roční změna nákladů [%]
č. 1	49500	0
č. 2	0	0
Doplňkové parametry investice		
Diskont - výnos alternativní investice	3	% ???
Bude se danit zisk z projektu? ???	<input checked="" type="radio"/> Ne <input type="radio"/> Ano	
VÝSLEDKY		
NPV - čistá současná hodnota projektu:	-852671 Kč ???	
Roční ekvivalentní finanční toky investice:	-71425 Kč ???	

Obr. 5.1 Finanční zhodnocení projektu [5]

5.1.6 Výsledky ekonomického zhodnocení

Ekonomické zhodnocení ukázalo, že se z finančního hlediska nasazení kogenerační jednotky nevyplatí. Vybraná kogenerační jednotka má poměrně krátkou garantovanou životnost, přičemž jsou stejně doby návratnosti několikanásobně větší a nelze očekávat ekonomickou efektivitu ani při dvojnásobné době životnosti.

Bohužel nelze uplatnit podporu pro kogeneraci, neboť podle dostupných informací rodinné domy v současné době nejsou podporovány. [4]

5.1.7 Úvaha o ekonomické výhodnosti

Zde se pokusíme nastínit podmínky, při kterých by bylo nasazení kogenerační jednotky v rodinném domě efektivní. Za všechny ekonomické parametry můžeme považovat: účinnost zařízení, poměr cena/výkon, cena zemního plynu, cena realizace, náklady na údržbu, výkupní cenu elektřiny, zelený bonus a dotaci na pořízení kogenerační jednotky. Uvážíme pokles pořizovacích nákladů o 15 % a existenci dotace pro kogeneraci v rodinném domě a t

o ve výši 50 % pořizovacích nákladů. Podpora až 50 % je v současné době poskytována podnikům s maximálně padesáti zaměstnanci a jedná se o největší podporu, která je poskytována. [4] Zbylé parametry necháme konstantní. Z toho vyplývá prostá doba návratnosti:

$$T_{NP} = \frac{IN}{CF} = \frac{0,85 \cdot 0,5 \cdot 530\,000}{7340} = 32 \text{ let} \quad (5.2)$$

I v tomto případě odpovídá prostá doba návratnosti více jak dvojnásobku garantované době životnosti instalace. Roční peněžní tok při současných podmínkách není možné upravit. Zvolili jsme nejvýhodnější dodavatele plynu a elektřiny, výkupní ceny elektřiny a zelené bonusy budou víceméně konstantní. Obdobně změna alternativního zajišťování tepla zřejmě nepomůže.

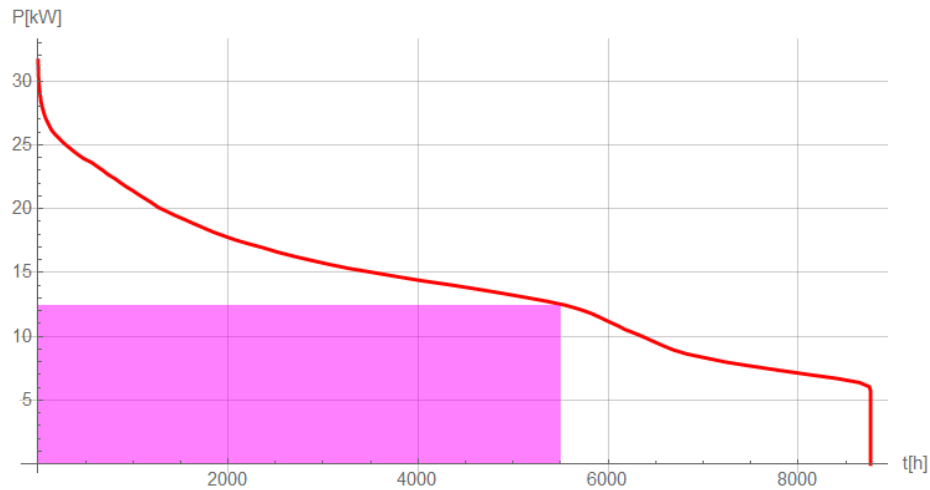
Jedinou možností, jak se ještě pokusit zefektivnit instalaci je zvýšit roční spotřebu. V rodinných domech se toho dá dosáhnout především vyhříváním bazénu. Tepelné ztráty bazénu dle informací z [19] budeme uvažovat 20 kW. Celková špička v TDD použitým pro návrh jednotky bude 31 kW. Největší obdélník pod křivkou má parametry: 5 500 hodin, 12,5 kW, tedy 68,75 MWh, viz Obr. 5.2. Díky linearitě můžeme uvažovat, že poměr spotřeby tepla mimo činnost kogenerace v případě s uvažovaným bazénem a bez bazénu odpovídá poměru množství tepla vyrobeného kogenerací s uvažovaným bazénem a bez bazénu.

$$p = \frac{Q_{kog,r_bazen}}{Q_{kog,r}} = \frac{68,75}{24} = 2,864 \quad (5.6)$$

Teplo, které je potřeba dodat z jiného zdroje je tedy:

$$Q_{mimokog,r_bazen} = p \cdot Q_{mimokog,r} = 2,864 \cdot 19,2 = 55 \text{ MWh} \quad (5.7)$$

Celková spotřeba tepla během roku je tedy 123,75 MWh.



Obr. 5.2 Roční spotřeba tepla domu a bazénu

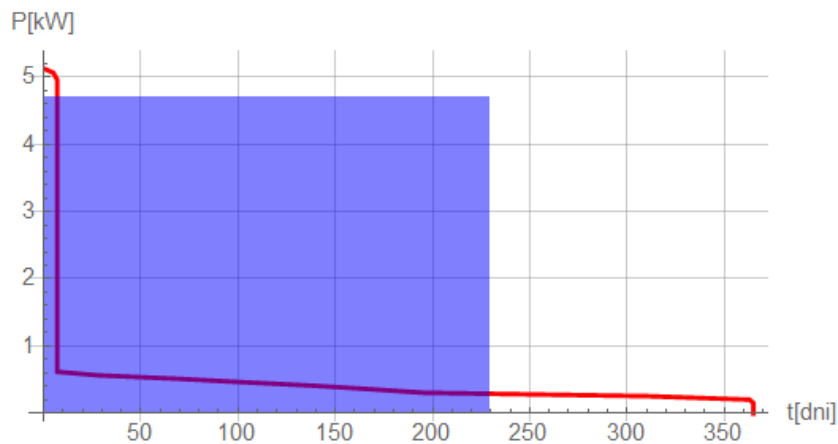
Parametry jednotky splňující výkonové kritérium jsou uvedeny v Tab. 5.5.

Kogenerační jednotka Vaillant ecoPOWER 4.7			
Výrobce	Vaillant	Tepelná účinnost	65,8 %
Typ	ecoPOWER 4.7	Tepelný výkon	12,5 kW
Elektrický výkon	4,7 kW	Odhadovaná cena realizace	700 000 Kč
Elektrická účinnost	24,7 %	Odhadované provozní náklady	0,35 Kč·kWh ⁻¹

Tab. 5.5 Parametry kogenerační jednotky Vaillant ecoPOWER 4.7

Na Obr. 5.3 je znázorněna roční spotřeba elektřiny, která zůstává konstantní. Máme zde ale velké množství vyrobené elektřiny k prodeji. Při spotřebě 4 MWh je nutno 0,9 MWh dokoupit a 25 MWh je k prodeji.

Provedeme prakticky stejné výpočty, které jsou uvedené v předchozích kapitolách, proto je již nebudeme rozepisovat a výsledky jsou uvedeny v Př. 5.1. Za zmínku stojí, že tato kogenerační jednotka je poháněna spalovacím motorem a neobsahuje kondenzační kotel, pracujeme tedy s výhřevností paliva. Zbylou spotřebu tepla pokryjeme kondenzačním kotlem a kondenzačním ohříváčem s akumulací.



Obr. 5.3 Roční potřeba a výroba elektřiny

Ačkoli jsme se snažili zvýšit ekonomickou efektivitu zvýšením spotřeby tepla, bylo nutné uvažovat jinou, dražší, jednotku, navíc vybraný typ má nižší účinnost. Prostá doba návratnosti vychází v tomto případě 297 let a při započítání zlevnění jednotky a podpory na pořízení 126 let.

5.2 Technické zhodnocení

Instalace mikro jednotky obnáší zřízení plynové přípojky a přivedení plynu do kotelny (pokud již tak není). Dále zajištění vyvedení výkonu do rozvaděče a instalace malé rozvodnice pro odpínač jednotky. Dále je důležité zajistit odvod kondenzátu, který při jmenovitém výkonu kotle i jednotky může činit až 15 litrů za den. Instalace jednotky do novostavby je samozřejmě zcela bezproblémová, nicméně ani při rekonstrukci nevzniknou větší obtíže.

Provoz jednotky je zcela bezproblémový – jednotka má integrovanou řídicí elektroniku i s možností dálkového připojení a sledování provozních parametrů například pomocí chytrého telefonu. Čidla úniku plynu nebo vzniku oxidu uhelnatého jsou samozřejmostí. Díky nižším a především konstantním otáčkám lze jednotku snadno a efektivně odhlučnit.

Celkově lze obecně kogenerační jednotky z technického hlediska zhodnotit jako snadně instalovatelná zařízení, která přináší vysokou energetickou efektivitu. Za určitých podmínek (musí s tím být uvažováno při návrhu) můžou posloužit i jako záložní zdroj elektřiny.

Závěr

Kogenerační jednotky budou díky své vysoké účinnosti a malému vlivu na životní prostředí bezesporu velmi podporovanými a rozšiřovanými zdroji elektřiny a tepla v budoucnosti. Nicméně obrovské pořizovací náklady mikro jednotek brání použití v objektech s nízkou spotřebou a nelze očekávat znatelné snížení cen zařízení ani efektivní podporu, protože je zřejmé, že použití plynového kotle je dostatečně účinné, pořizovací náklady jsou menší než desetinné a elektřinu lze získávat z distribuční soustavy, kam ji dodávají jiné, dostatečně efektivní zdroje. Ani při provozní době 6 000 hodin ročně, prodeji přebytků elektřiny a zeleném bonusu se jednotka v našem případě nevyplatí. Kogenerace se tedy spíše bude nadále týkat podniků, měst a sídlišť nebo větších objektů jako jsou některé školy, hotely a bazény.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1

Př. 1.1 Základ zeleného bonusu pro výrobní do 5 MWe (včetně)

Př. 1.2 Základ zeleného bonusu pro výrobní nad 5 MWe

Př. 1.3 Doplnková sazba zeleného bonusu

Příloha 2

Př. 2.1 Náklady na vytápění RD, spotřeba 25 MWh ročně

Příloha 3

Př. 3.1 Půdorys 1. PP

Př. 3.2 Půdorys 1. NP

Př. 3.3 Tepelné vodivosti použitých materiálů

Př. 3.4 Parametry stavebních prvků

Př. 3.5 Parametry vytápěných místností

Př. 3.7 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností 1. PP – výpočet

Př. 3.8 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností 1. NP – výpočet

Př. 3.9 Tepelné ztráty větráním jednotlivých místností – výpočet

Př. 3.10 Připojení na inženýrské sítě

Příloha 4

Př. 4.1 Jednopolové elektrické schéma zapojení

Př. 4.2 Schéma zajišťování tepla

Příloha 5

Př. 5.1 Vyhodnocení ekonomické úvahy

Příloha 1

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
a		b	c	d	e	j	m
700	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2012	0	200	3 000	1 515
701		-	31.12.2012	0	200	4 400	1 050
702		-	31.12.2012	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2012	200	1 000	3 000	1 105
704		-	31.12.2012	200	1 000	4 400	705
705		-	31.12.2012	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2012	1 000	5 000	3 000	770
707		-	31.12.2012	1 000	5 000	4 400	440
708		-	31.12.2012	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2012	0	5 000	8 400	45

Př. 1.1 Základ zeleného bonusu pro výroby do 5 MWe (včetně) [11]

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		ÚPE kogenerační jednotky [%]		Celková účinnost kogenerační jednotky [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
a		b	c	d	e	f	g	h	i	m
750	Elektřina z KVET	-	31.12.2012	5 000	-	10	15	-	-	45
751		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	-	45	60
752		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	45	75	140
753		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	75	-	200

Př. 1.2 Základ zeleného bonusu pro výroby nad 5 MWe [11]

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	
a		b	c	d	e	m
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5000	155
779	Výroba elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2012	0	5000	455

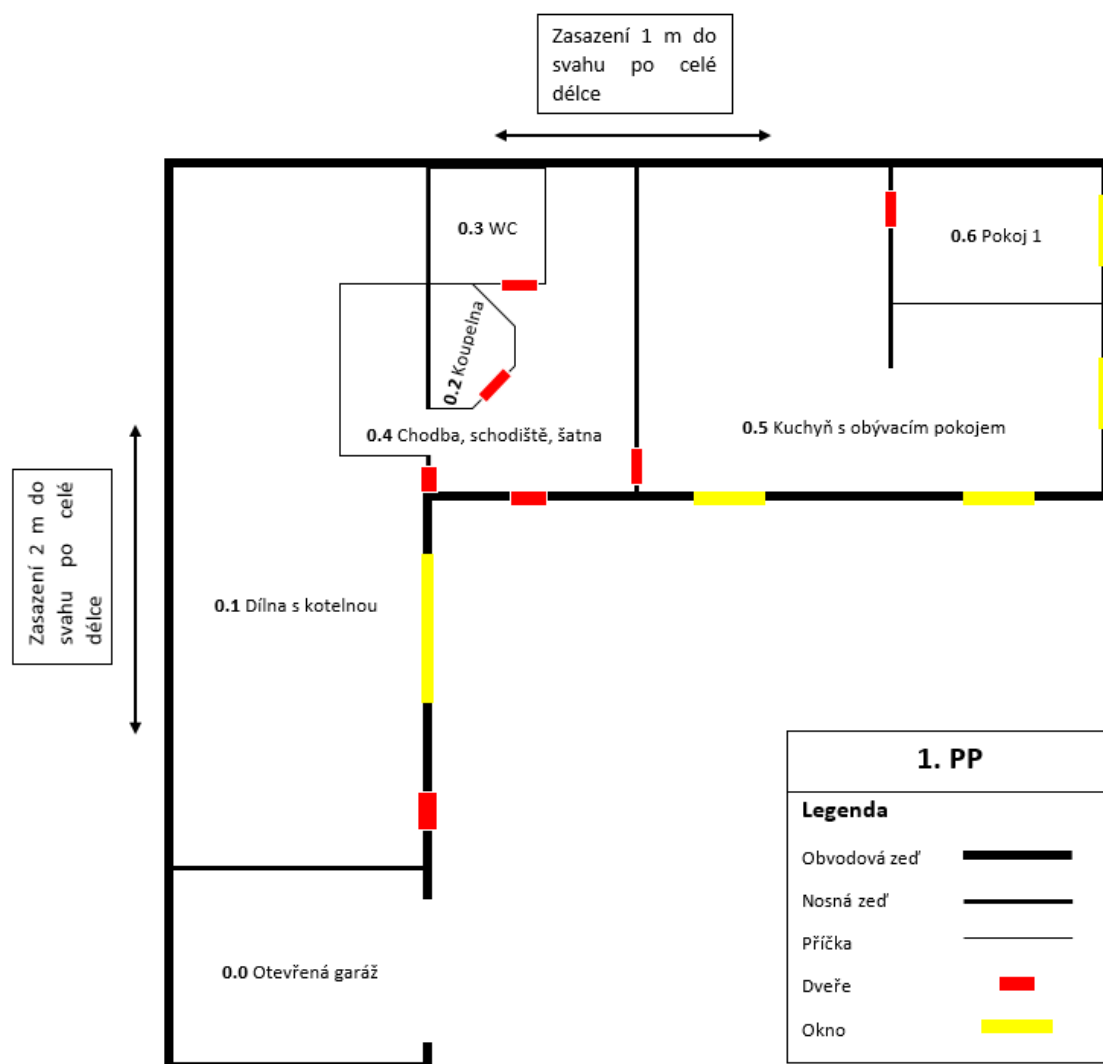
Př. 1.3 Doplnková sazba zeleného bonusu [11]

Příloha 2

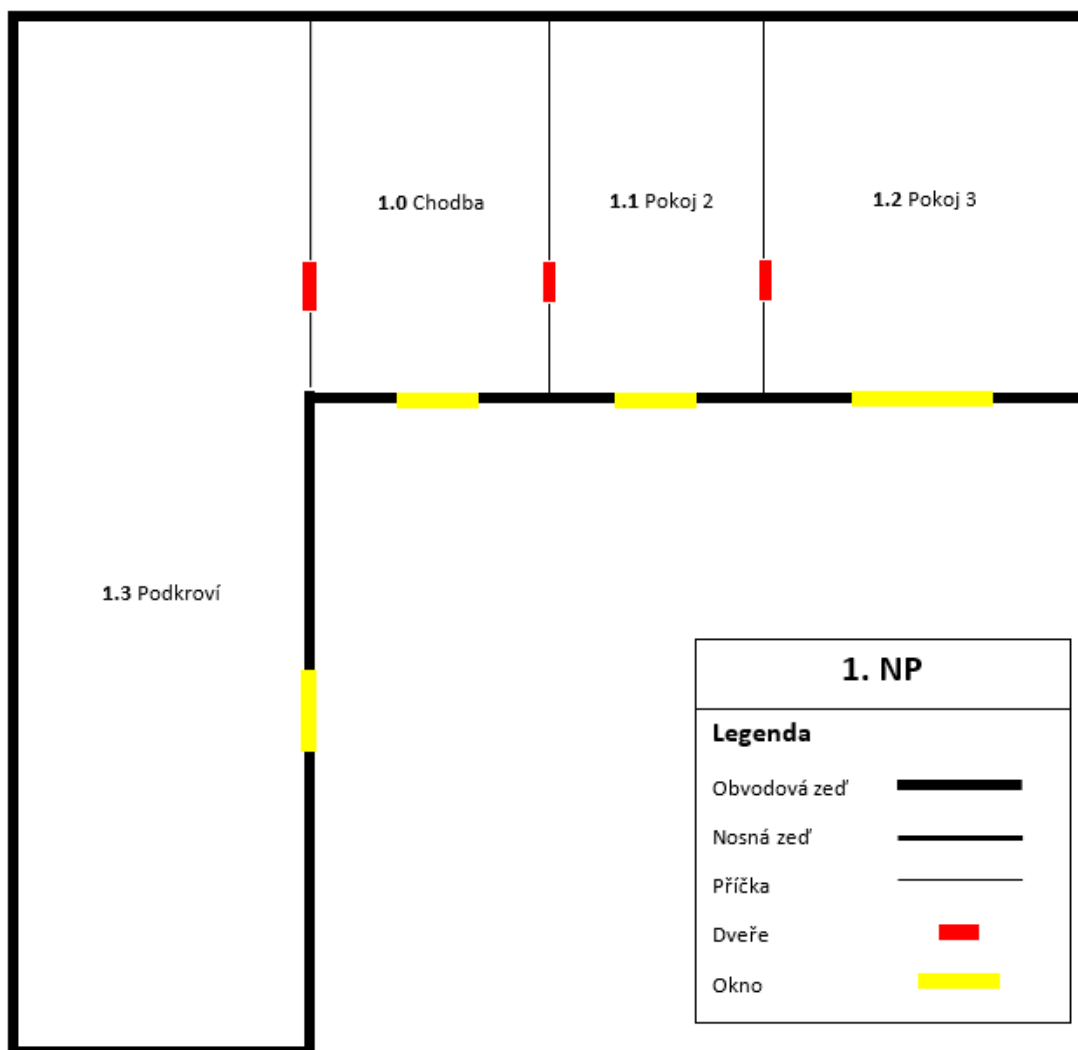
Náklady na vytápění		Výpočtová spotřeba tepla = 90 GJ			
Druh paliva (Výhřevnost) (Volba tarifu)	Cena paliva v Kč	Spalovací zařízení (Průměrná účinnost v %) <input type="checkbox"/> zadat vlastní účinnost	Cena tepla <input type="radio"/> Kč/GJ <input checked="" type="radio"/> Kč/kWh	Spotřeba paliva / rok	Náklady na vytápění Kč / rok
<input checked="" type="checkbox"/> Hnědé uhlí (18 MJ/kg) ceny a dodavatelé	3,55 /kg	Automatický kotel na uhlí (80%) ▼	0,89	6250 kg	22188,-
<input checked="" type="checkbox"/> Černé uhlí (23,1 MJ/kg) ceny a dodavatelé	5,10 /kg	Automatický kotel na uhlí (80%) ▼	0,99	4870 kg	24838,-
<input checked="" type="checkbox"/> Koks (27,5 MJ/kg)	8,50 /kg	Automatický kotel na uhlí (80%) ▼	1,39	4091 kg	34773,-
<input checked="" type="checkbox"/> Dřevo (14,6 MJ/kg)	3,00 /kg	Kotel na zplynování dřeva (75%) ▼	0,99	8219 kg	24658,-
<input checked="" type="checkbox"/> Dřevěné brikety (17,0 MJ/kg)	4,80 /kg	Kotel na zplynování dřeva (75%) ▼	1,36	7059 kg	33882,-
<input checked="" type="checkbox"/> Dřevěné pelety (17,0 MJ/kg) ceny	5,20 /kg	Kotel na dřevěné pelety (85%) ▼	1,3	6228 kg	32388,-
<input checked="" type="checkbox"/> Štěpka (12,5 MJ/kg)	2,50 /kg	Kotel na štěpku (80%) ▼	0,9	9000 kg	22500,-
<input checked="" type="checkbox"/> Rostlinné pelety (16 MJ/kg)	3,65 /kg	Kotel na rostlinné pelety (90%) ▼	0,91	6250 kg	22813,-
<input checked="" type="checkbox"/> Obilí (18 MJ/kg)	3,20 /kg	Automatický kotel (85%) ▼	0,75	5882 kg	18824,-
<input checked="" type="checkbox"/> Zemní plyn (spalné teplo 37,82 MJ/m ³) ceny Dodavatel: RWE Energie, a.s. ▼ Spotřeba plynu: 20000 - 25000 kWh ▼ /rok	1,16344 /kWh vztahena ke spalnému teple ??? 12,22 Kč/m ³ + 291 Kč/měsíc	Kotel kondenzační (102%) ▼ účinnost je vztahena k výhřevnosti ZP ???	1,41	27212 kWh 2591 m ³	35165,-
<input checked="" type="checkbox"/> Propan (46,4 MJ/kg) ceny a dodavatelé	28 /kg	Kotel kondenzační (102%) ▼	2,13	1902 kg	53245,-
<input checked="" type="checkbox"/> Lehký topný olej ELTO (42 MJ/kg) ceny	28 /kg	Kotel na lehký topný olej (89%) ▼	2,7	2408 kg	67416,-
<input checked="" type="checkbox"/> Elektřina akumulace ceny a tarify ??? D02d jistič do 3x10 A a do 1x25 A včetně ▼	163 Kč/měsíc + NT: 1,83648 /kWh	S akumulační nádrží (93%) ▼	2,05	26882 kWh	51324,-
<input checked="" type="checkbox"/> Elektřina přímotop ceny a tarify ??? D35d jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně ▼	443 Kč/měsíc + NT: 2,13656 /kWh	Přímotopné panely (98%) ▼	2,39	25510 kWh	59820,-
<input checked="" type="checkbox"/> Tepelné čerpadlo ceny a tarify ??? D45d jistič nad 3x100 A do 3x125 A včetně ▼	null Kč/měsíc + NT: 2,14122 /kWh	Průměrný roční topný faktor: 3	NaN	8333 kWh	NaN,-
<input checked="" type="checkbox"/> Centrální zásobování teplem ceny	400 /GJ ???	účinnost (98%) ▼	1,47	92 GJ	36735,-

Př. 2.1 Náklady na vytápění RD, spotřeba 25 MWh ročně [5]

Příloha 3



Př. 3.1 Půdorys 1. PP



Př. 3.2 Půdorys 1. NP

Značení	Materiál	λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]
ci	Cihla	0,80
ma	Omítka vápenná	1,00
zd	Zdivo - cihly + spáry 1 cm malty	0,90
be	Prostý beton	1,40
žb	Železobeton	2,00
pi	Pískovec	1,70
kd	Keramická dlažba	1,01
ce	Cembrit	0,30
mv	Minerální vata	0,04
as	Asfaltová hydroizolace	0,21
ko	Koberec	0,07

Př. 3.3 Tepelné vodivosti použitých materiálů [16]

Stavební prvek	Materiály	Tloušťky [cm]	R [m^2KW^{-1}]	R_{si} [m^2KW^{-1}]	R_{se} [m^2KW^{-1}]	U [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
Obvodová zeď	om/zd/om	2/72/1	0,83	0,13	0,04	1,20
Obvodová zeď v zemi	om/as/zd/om	2/0,5/70/2,5	0,88	0,13	-	1,19
Nosná zeď	om/zd/om	1/29/1	0,36	0,13	0,13	1,61
Příčka	om/zd/om	1/14/1	0,18	0,13	0,13	2,30
Podlaha 1. NP	om/žb/ko	1/29/0,01	0,31	0,17	0,17	1,54
Podlaha 1. PP	kd/be/pi	1/10/60	0,43	0,17	-	1,65
Strop 1. NP	om/žb/mv	1/29/8	4,35	0,10	0,10	0,42
Střecha	ce	0,8	0,03	0,10	0,10	4,41
Dveře venkovní	-	-	-	0,13	0,04	1,67
Dveře vnitřní	-	-	-	0,13	0,04	2,77
Okna	-	-	-	0,13	0,04	2,17

Př. 3.4 Parametry stavebních prvků

Vytápěné místnosti				
Označení	Místnost	$\theta_{int,i}$ [°C]	A_k [m ²]	V_i [m ³]
0.2	Koupelna 1. PP	24	2,61	6,27
0.3	WC 1. PP	20	3,96	8,71
0.4	Kuchyň + obývací pokoj 1. PP	20	30,03	79,27
0.5	Pokoj 1 1. PP	20	11,50	27,60
0.6	Chodba se schodištěm	15	27,31	42,41
1.1	Pokoj 2 1. NP	20	20,30	44,66
1.2	Pokoj 3 1. NP	20	29,00	63,80
Celkem			124,71	272,72

Př. 3.5 Parametry vytápěných místností

Nevytápěné místnosti		
Označení	Místnost	θ_u [°C]
0.1	Garáž	-
0.7	Dílna s kotelnou 1. PP	-3
1.3	Podkroví 1. NP	-6
1.4	Půdní prostor 1. NP	-6

Př. 3.6 Parametry nevytápěných místností

Místnost 0.2 - koupelna							
Ztráty do země							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	$U_{equiv,k}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [WK ⁻¹]	G_w [-]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	
Podlaha 1. PP	6,27	0,86	4,34	1,00	1,45	0,56	Zem
Celkem do země			4,34				
Ztráty do prostoru vytápěného na menší teplotu							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ij}$ [WK ⁻¹]	f_{ij} [-]			
Nosná zeď	4,32	1,61	1,74	0,25			Chodba 1. PP
Vnitřní dveře	1,40	2,77	0,97	0,25			Chodba 1. PP
Podlaha 1. NP	6,27	1,54	2,42	0,25			Chodba 1. NP
Příčka	5,04	2,30	2,89	0,25			Chodba 1. PP
Příčka	4,80	2,30	1,22	0,11			WC
Celkem do jiné tep.			9,24				
Celkem 0.2			13,58				

Místnost 0.3 - WC							
Ztráty do země							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	$U_{\text{equiv},k}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [WK ⁻¹]	G_w [-]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	
Podlaha 1. PP	6,96	0,86	4,34	1,00	1,45	0,50	Zem
Obvodová zeď	6,60	0,81	3,88	1,00	1,45	0,50	Zem
Celkem do země			8,22				
Ztráty nevytápěným prostorem							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,iue}$ [WK ⁻¹]	b_u [-]			
Nosná zeď	3,60	1,81	4,68	0,72			Dílna
Celkem do nevytop.			4,68				
Ztráty do venkovního prostředí							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]			
Obvodová zeď	3,15	1,20	3,78	1,00			Ven
Okno	0,25	2,17	0,54	1,00			Ven
Celkem ven			4,32				
Ztráty do prostoru vytápěného na menší teplotu							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ij}$ [WK ⁻¹]	f_{ij} [-]			
Nosná zeď	4,00	1,61	4,62	0,72			Dílna
Vnitřní dveře	1,40	2,77	0,61	0,16			Chodba 1. PP
Podlaha 1. NP	6,96	1,65	1,80	0,16			Chodba 1. NP
Celkem do jiné tep.			7,03				
Celkem 0.3			24,24				

Místnost 0.4 - Chodba se schodištěm a šatnou							
Ztráty do venkovního prostředí							
				Součinitelé		Směr tep. toku	
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]			
Obvodová zeď	25,52	1,20	30,62	1,00			Ven
Venkovní dveře	2,40	1,67	4,01	1,00			Ven
Okno	1,28	2,17	2,78	1,00			Ven
Celkem ven			37,41				
Ztráty nevytápěným prostorem							
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,iue}$ [WK ⁻¹]	b_u [-]			Směr tep. toku
Strop 1. NP	22,44	0,42	7,41	0,78			Půdní prostor
Příčka	12,76	2,50	24,77	0,78			Podkroví
Vnitřní dveře	1,40	2,77	3,02	0,78			Podkroví
Příčka	7,20	2,50	9,98	0,56			Dílna
Celkem do nevytop.			45,18				
Ztráty do země							
Stavební prvek	A_k [m ²]	$U_{equiv,k}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [WK ⁻¹]	G_w [-]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	Směr tep. toku
Podlaha 1. PP	9,61	0,86	4,88	1,00	1,45	0,41	Zem
Celkem do země			4,88				
Celkem 0.4			87,47				

Místnost 0.5 - Kuchyň s obývacím pokojem							
Ztráty do země							
				Součinitelé		Směr tep. toku	
Stavební prvek	A_k [m ²]	$U_{equiv,k}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [WK ⁻¹]	G_w [-]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	
Podlaha 1. PP	31,19	0,86	19,45	1,00	1,45	0,50	Zem
Obvodová zeď	2,80	0,81	1,64	1,00	1,45	0,50	Zem
Celkem do země			21,09				
Ztráty do prostoru vytápěného na menší teplotu							
				Součinitelé		Směr tep. toku	
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ij}$ [WK ⁻¹]	f_{ij} [-]			
Nosná zeď	12,04	1,61	3,02	0,16			Chodba
Vnitřní dveře	1,40	2,77	0,61	0,16			Chodba
Celkem do jiné tep.			3,63				

Ztráty do venkovního prostředí							
				Součinitelé		Směr tep. toku	
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]			
Obvodová zeď	23,36	1,20	28,03	1,00			Ven
Okno	6,48	2,17	14,06	1,00			Ven
Celkem ven			42,09				
Celkem 0.5			66,81				

Místnost 0.6 - Pokoj 1							
Ztráty do země							
				Součinitelé			Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	$U_{equiv,k}$ [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ig}$ [WK ⁻¹]	G_w [-]	f_{g1} [-]	f_{g2} [-]	
Podlaha 1. PP	10,81	0,86	6,74	1,00	1,45	0,50	Zem
Obvodová zeď	4,70	0,81	2,76	1,00	1,45	0,50	Zem
Celkem do země			9,50				
Ztráty do venkovního prostředí							
				Součinitelé		Směr tep. toku	
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]			
Obvodová zeď	9,94	1,20	11,93	1,00			Ven
Okno	2,16	2,17	4,69	1,00			Ven
Celkem ven			16,62				
Celkem 0.6			26,12				

Př. 3.7 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností 1. PP – výpočet

Místnost 1.1 - Pokoj 2					
Ztráty do venkovního prostředí					
			Součinitelé		Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	U_k [Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]	
Obvodová zeď	5,54	1,20	6,65	1,00	Ven
Okno	2,16	2,17	4,69	1,00	Ven
Celkem ven			11,34		
Ztráty do prostoru vytápěného na nižší teplotu					
			Součinitelé		Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ij}$ [WK ⁻¹]	f_{ij} [-]	
Nosná zeď	12,76	1,61	3,20	0,16	Chodba
Vnitřní dveře	1,40	2,77	0,61	0,16	Chodba
Celkem do jiné tep.			3,81		
Ztráty nevytápěným prostorem					
			Součinitelé		Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,iue}$ [WK ⁻¹]	b_u [-]	
Strop 1. NP	20,30	0,62	10,30	0,81	Půdní prostor
Celkem nevyt.			10,30		
Celkem 1.1			25,45		

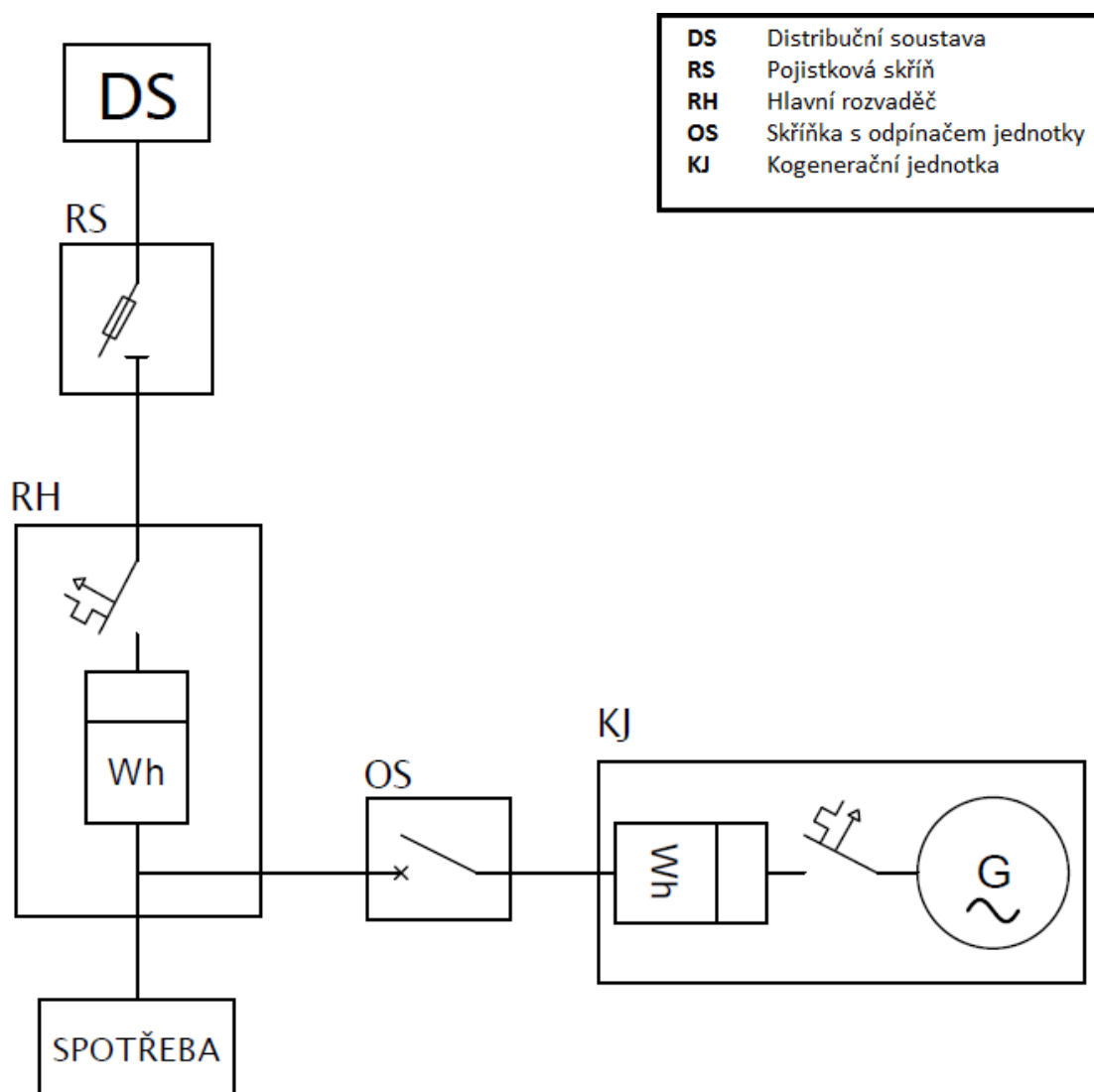
Místnost 1.2 - Pokoj 3					
Ztráty do venkovního prostředí					
			Součinitelé		Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,ie}$ [WK ⁻¹]	e_k [-]	
Obvodová zeď	32,60	1,20	39,12	1,00	Ven
Okno	2,16	2,17	4,69	1,00	Ven
Celkem ven			43,81		
Ztráty nevytápěným prostorem					
			Součinitelé		Směr tep. toku
Stavební prvek	A_k [m ²]	[Wm ⁻² K ⁻¹]	$H_{T,iue}$ [WK ⁻¹]	b_u [-]	
Strop 1. NP	29,00	0,62	14,72	0,81	Půdní prostor
Celkem nevyt. prost.			14,72		
Celkem 1.3			58,53		

Př. 3.8 Tepelné ztráty prostupem jednotlivých místností 1. NP – výpočet

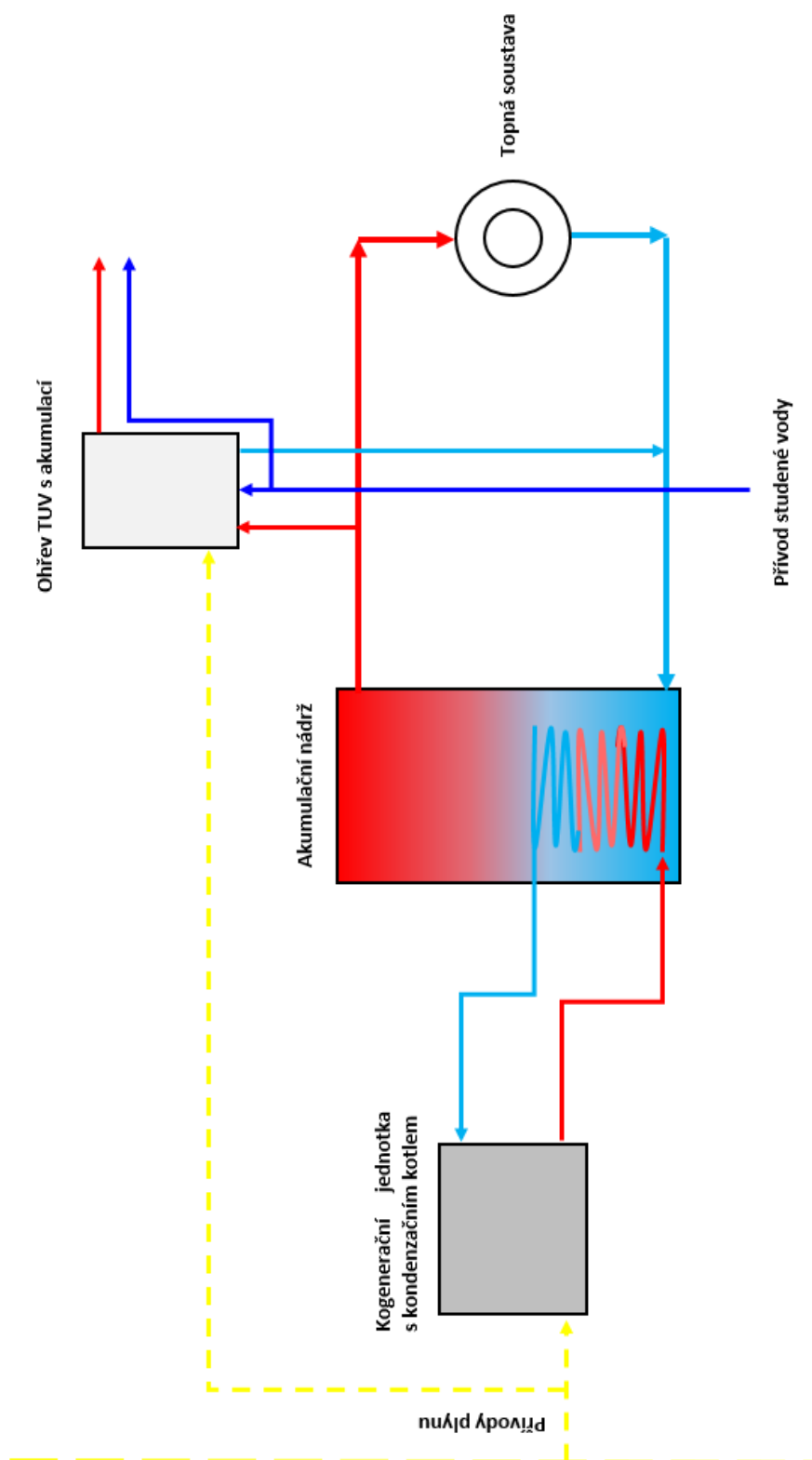
Označení místnosti	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	1.2
Objem místnosti V_i [m ³]	6,27	8,71	79,27	42,41	27,60	44,66	63,80
Výpočtová venkovní teplota θ_e [°C]	-12						
Výpočtová vnitřní teplota $\theta_{int,i}$ [°C]	24	20	20	20	15	20	20
Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu $n_{min,i}$ [h ⁻¹]	1,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Nejmenší hygienické množství vzduchu $V'_{min,i}$ [m ³ h ⁻¹]	9,41	13,07	39,64	21,21	13,80	22,33	31,90
Nechráněné otvory [-]	0	1	1	3	1	1	1
Intenzita výměny vzduchu při 50 Pa n_{50} [h ⁻¹]	5						
Činitel zaclonění e [-]	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Výškový korekční činitel ε [-]	1,00						
Množství vzduchu infiltrací $V'_{inf,i}$ [m ³ h ⁻¹]	0,00	1,74	15,85	12,72	5,52	8,93	12,76
Zvolená výpočtová hodnota V'_{ih} [m ³ h ⁻¹]	9,41	13,07	39,64	21,21	13,80	22,33	31,90
Návrhový součinitel tepelné ztráty $H_{v,i}$ [WK ⁻¹]	3,20	4,44	13,48	7,21	4,69	7,59	10,85
Teplotní rozdíl $\theta_{int,i}-\theta_e$ [°C]	36,00	32,00	32,00	32,00	27,00	32,00	32,00
Návrhová tepelná ztráta větráním $\Phi_{v,i}$ [W]	115	142	431	231	127	243	347

Př. 3.9 Tepelné ztráty větráním jednotlivých místností – výpočet

Příloha 4



Př. 4.1 Jednopolové elektrické schéma zapojení



Př. 4.2 Schéma zajišťování tepla

Příloha 5

	MWh	m³	Kč
Hodinový příkon kog.	0,019	2	-
Roční příkon kog.	104,5	11 237	- 145 240
Roční příkon mimo kog.	56,1	5 320	
Roční příkon alternativní	126,3	11 969	+ 105 215
Vyrobena elektřina	25,9	-	+ 27 195
Prodej do DS	25,0	-	+ 12 500
Roční nákup	0,9	-	- 4 796
Roční nákup alternativní	4,0	-	+ 16 552
Údržba	-	-	- 9 065
Investiční náklady	-	-	700 000
Roční peněžní tok	-	-	+ 2 361

Př. 5.1 Vyhodnocení ekonomické úvahy

Zdroje

- [1] Státní energetická koncepce. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2015 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/dokument158059.html>
- [2] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [3] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz* [online]. Praha: GAS, 2007 [cit. 2017-04-30]. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [4] *TEDOM: Kogenerace TEDOM* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [5] *TZB-INFO: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [6] Právní předpisy pro kombinovanou výrobu - Evropská unie. *Kombinovaná výroba* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=152010>
- [7] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2004/8/ES. *Úřední věstník Evropské unie* [online]. 2004 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0008&from=CS>
- [8] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/27/EU [online]. 2012 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:CS:PDF>
- [9] *Zákon č. 165/2012 Sb.: Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně dalších zákonů* [online]. 2012 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [10] *Vyhláška č. 37/2016 Sb.: Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů* [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-37/zneni-20160129#p8-1>
- [11] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 11/2016* [online]. 2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/2824549/161222_CR_11_2016.pdf/e54c452d-3a5d-45c2-b756-ee6aa81bcaa6
- [12] Co ukázalo Energo 2015. *STATISTIKA&MY: Měsíčník Českého statistického úřadu* [online]. 2017, 2017(2) [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.statistikaamy.cz/2017/02/co-ukazalo-energo-2015/>

- [13] Plynová přípojka. *Koumák.cz: Vše o kutilství, hobby a stavbě* [online]. 2017 [cit. 2017-4-30]. Dostupné z: <http://www.koumak.cz/stavba-krok-za-krokem/plynova-pripojka/>
- [14] Mikrozdroj (zdroj do 10 kW provozovaný bez licence). *ČEZ DISTRIBUCE* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-zakazniky/potrebuji-vyresit/mikrozdroj.html>
- [15] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla: MALÝ PRŮVODCE PRO ZÁJEMCE O KOGENERAČNÍ JEDNOTKU. *Moje kogenerace* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.mojekogenerace.cz/kombinovana-vyroba-elekriny-a-tepla/>
- [16] KAŇKA, Jan a Zbyněk SVOBODA. *Stavební fyzika 31*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 9788001028612.
- [17] Mikrokogenerace na Stirlingově principu. *Viessmann* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/kogenerace/mikrokogenerace-na-stirlingove-principu/vitotwin-300w.html>
- [18] *Stanovení určení množství zboží obchodovatelného mezi zákazníkem a dodavatelem elektřiny: Studijní materiál Západočeské univerzity* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~benesj/MMEE/CV5_obchod2.pdf
- [19] Bazény: Zdroj tepla. *Bazény: Vše kolem stavby bazénů* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://bazeny.wikina.cz/podminky-pro-vystavbu-bazenu/zdroj-tep>