

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Energetické zásobení rodinného domu kogenerační  
jednotkou**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Hana TÓTHOVÁ**  
Osobní číslo: **E12B0204P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Energetické zásobení rodinného domu kogenerační jednotkou**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

*Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :*

1. Proveďte energetickou bilanci rodinného domu.
2. Sestavte diagramy zatížení teplem a elektřinou.
3. Navrhněte systém zásobení kogenerační jednotkou.
4. Ekonomicky vyhodnoňte jednotlivé možnosti zásobení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015  
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

  
Doc. Ing. Jiří Hameršil, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Nohát, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Písní dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá řešením energetické bilance rodinného domu a návrhem vhodné kogenerační jednotky. Vhodnost nasazení kogenerační jednotky do rodinného domu je posouzena dle ekonomické bilance za 15 let provozu.

## **Klíčová slova**

Kogenerace, kogenerační jednotka, mikrokogenerace, rodinný dům, tepelné ztráty, tepelná energie, elektrická energie, vytápění, zásobení, bilance

## **Abstract**

Submitted bachelor thesis deals with solution of energetic evaluation of a family house and with a propose of convenient cogeneration unit. The convenience of placement of cogeneration unit to a family house is evaluated according to economical evaluation after 15 years of operation.

## **Key words**

Cogeneration, cogeneration unit, microcogeneration, family house, thermal losses, thermal energy, electric energy, heating, supply, evaluation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

.....  
podpis

V Plzni dne 31.5.2016

Hana Tóthová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Emilu Dvorskému, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych ráda poděkovala společnosti Viessmann, spol. s r.o. v zastoupení Ing. Markem Procházkou za velice užitečné rady a poskytnuté podklady.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA</b> .....	<b>13</b>
1.1 VÝHODY KOMBINOVANÉ VÝROBY ENERGIÍ .....	14
1.2 ROZDĚLENÍ PRIMÁRNÍCH JEDNOTEK .....	14
1.2.1 Palivové články .....	14
1.2.2 Parní turbíny .....	15
1.2.3 Organický Rankinův cyklus .....	16
1.2.4 Plynové turbíny .....	17
1.2.5 Mikroturbíny .....	17
1.2.6 Stirlingův motor .....	17
1.2.7 Spalovací motor .....	18
<b>2 ENERGETICKÁ BILANCE RODINNÉHO DOMU</b> .....	<b>19</b>
2.1 POPIS OBJEKTU .....	19
2.2 MOŽNÉ ZTRÁTY A ZISKY .....	19
2.3 TEPELNÉ ZTRÁTY .....	20
2.3.1 Obálková metoda .....	21
2.3.2 Výpočet tepelných ztrát .....	22
2.4 POŽADOVANÉ TEPLLO .....	24
2.4.1 Denostupňová metoda .....	24
2.4.2 Výpočet požadovaného tepla .....	27
2.5 POŽADOVANÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE .....	28
2.5.1 Typový denní diagram .....	29
<b>3 NÁVRH KOGENERAČNÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>30</b>
3.1 VHODNÝ VÝBĚR .....	31
3.2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA VITOTWIN 300-W .....	31
3.2.1 Technické údaje .....	32
3.2.2 Princip činnosti .....	32
3.2.3 Úspora energie .....	33
3.3 ŘÍZENÍ JEDNOTKY .....	34
3.4 POŘÍZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....	34
<b>4 EKONOMICKÁ BILANCE</b> .....	<b>36</b>
4.1 NÁKLADY NA PALIVO .....	36
4.2 VYROBENÁ ELEKTRICKÁ ENERGIE .....	38
4.2.1 Využití elektrické energie .....	38
4.2.2 Nákup elektrické energie .....	38
4.2.3 Odkup elektrické energie .....	39
4.2.4 Zelený bonus .....	39
<b>5 BILANCE VÝHODNOSTI NAsAZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>40</b>



5.1	ZÁSOBOVÁNÍ PLYNOVÝM KONDENZAČNÍM KOTLEM.....	40
5.2	POROVNÁNÍ BILANCÍ ZÁSOBOVÁNÍ DOMU.....	41
5.3	ZHODNOCENÍ NAsAZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....	41
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>44</b>
	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>

## Seznam symbolů a zkratek

$A_i$	plocha [ $m^2$ ]
$c_p$	měrná tepelná kapacita vzduchu při $t_{in}$ [ $kJ/kg.K$ ]
ČR	Česká republika
D	vytápěcí denostupně [ $K.dny$ ]
DPH	daň z přidané hodnoty
$\varepsilon$	opravný součinitel [-]
$H_i$	měrná ztráta konstrukce prostupem tepla [ $W/K$ ]
$H_p$	měrná tepelná ztráta prostupem [ $W/K$ ]
$H_s$	teplo získané dokonalým spálením $m^3$ zemního plynu
$H_v$	měrná tepelná ztráta domu větráním [ $W$ ]
KJ	kogenerační jednotka
KS	kogenerační systém
KVET	kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie
$M_{te,i}$	počet dnů připadající k rozdílu teplot [ $dny$ ]
$M_{top}$	počet topných dnů [ $dny$ ]
n	počet obyvatel v objektu [-]
$N_{zp}$	náklady na zemní plyn [ $Kč$ ]
ORC	organický Rankinův cyklus
$P_{DP}$	denní průměrný výkon [ $W$ ]
$P_{el}$	roční vyrobená elektrická energie [ $kWh$ ]
$P_{el,max}$	maximální elektrický výkon [ $kW$ ]
$P_{eln}$	roční nadbytek/nedostatek elektrická energie [ $kWh$ ]
$P_{elr}$	roční spotřeba elektrické energie [ $kWh$ ]
PJ	primární jednotka
$P_{max}$	celkový příkon [ $W$ ]
$P_{zp}$	roční spotřeba zemního plynu [ $kWh$ ]
Q	energie dodaná plynem [ $kWh$ ]
$Q_c$	celková tepelná ztráta domu [ $W$ ]
$Q_p$	tepelná ztráta domu prostupem [ $W$ ]
$Q_r$	celková roční tepelná ztráta domu [ $Wh, GJ$ ]
$Q_{Tmax}$	maximální tepelný výkon [ $Wh$ ]

$Q_{TUV}$	celková potřeba tepla pro ohřev vody [kWh]
$Q_{TUV,d}$	potřeba tepla pro ohřev vody na jeden den [kWh]
$Q_{TUV,o}$	potřeba tepla pro ohřev vody pro osobu na jeden den [kWh]
$Q_v$	tepelná ztráta domu větráním [W]
$T$	počet dnů v období [dny]
<b>TDD</b>	typový denní diagram
<b>TDDn</b>	normalizovaný typový denní diagram
$t_e$	venkovní výpočtová hodnota [°C]
$t_{e,max}$	maximální venkovní teplota [°C]
$t_{e,min}$	minimální venkovní teplota [°C]
$t_{es}$	průměrná teplota během topného období [°C]
$t_{in}$	vnitřní výpočtová teplota [°C]
$T_{max}$	roční doba provozu [h]
$U_i$	součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> .K]
$v$	teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou [-]
$V_{2p}$	celková potřeba teplé vody [m <sup>3</sup> /den]
$V_i$	objemový průtok větracího vzduchu při $t_{in}$ [m <sup>3</sup> /s]
$V_{max}$	spotřeba zemního plynu [m <sup>3</sup> /h]
$V_p$	roční spotřeba plynu KJ [m <sup>3</sup> /h]
$v$	trvání teploty vůči topnému období [-]
$Z_{el}$	zisk za prodej elektrické energie [Kč]
$\rho$	hustota vzduchu při $t_{in}$ [kg/m <sup>3</sup> ]

## Úvod

Energetika stále čelí dvěma velkými problémům, díky kterým se stále rozvíjí. Jedním z nich je stále narůstající poptávka po elektrické energii, druhým problémem je omezené množství energetických zdrojů. Tím se střetávají dvě myšlenky, které zahrnují výrobce, dodavatele i spotřebitele elektrické energie. Jednou z nich je efektivní využívání energie, tzv. centralizované řízení výroby. Druhou myšlenkou je naopak decentralizované řízení výroby elektrické energie. Ta se zaměřuje hlavně na zvýšení efektivity využívání primárních zdrojů, na otevření trhu s energiemi a snížení energetické náročnosti. Tato myšlenka se v dnešní době považuje za správnou a je podporována dotacemi a tzv. Zelenými bonusy.

Decentralizovanou výrobou se budu zabývat i v této práci. Kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie je velice účinná a momentálně se hodně rozvíjející. Díky ní by se měli spotřebitelé stát soběstačnými, jelikož nebudou muset odkupovat energii od jiných dodavatelů.

V této práci Vás seznámím s kogeneračními jednotkami a rozdělím je dle typu primárních jednotek. Dále provedu energetickou bilanci rodinného domu, pro který budu následně vybírat vhodný typ kogenerační jednotky. Pro můj návrh jsem si vybrala dům, který ještě není postaven a při jeho výstavbě lze mnoho věcí přizpůsobit právě pro co nejvhodnější aplikaci energetického zdroje. Jeho majitel zvažuje zařazení kogenerační jednotky jako jednu z možných variant zásobování domu. V další kapitole provedu seznámení s vybraným typem kogenerační jednotky a s možnými nástrahami při jejím pořizování. Dále uskutečním ekonomickou bilanci nasazení kogenerační jednotky do domu a následně ji porovnam s bilancí jiného možného zdroje energie. Na závěr shrnu získané poznatky a zhodnotím, zda je do vybraného domu nasazení kombinované výroby tepelné a elektrické energie výhodné.

# 1 Kogenerační jednotka

Pod pojmem kogenerace je označována kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET). Tento způsob výroby energie je uznáván jako ekologicky šetrný. Nejenže snižuje zátěž pro životní prostředí, také hospodárně využívá primárních zdrojů. Zdroje pro KVET v domácnostech jsou představovány kogeneračními jednotkami (KJ) do výkonu  $50\text{kW}_E$  a jsou definovány jako mikro-kogenerace. [1]

Kogenerační jednotka se skládá ze čtyř hlavních částí:

**Zařízení pro úpravu paliva** přeměňuje parametry primárního zdroje energie na požadované pracovní hodnoty. Velice častou úpravou je zušlechťování paliva, které se provádí za účelem zvýšení energie obsažené v jednotce paliva. Další je úprava prvkového složení paliva, čímž chceme nejčastěji docílit odstranění nežádoucích příměsí, jako je například voda,  $\text{CO}_2$ , pevné částice a síra, nebo také zvýšení koncentrace reagujících prvků. Provádí se také úprava podmínek pro použití paliva. Tím je například myšleno vylepšení hodnot pro uvolnění energie z paliva, jako je tlak nebo teplota. [4]

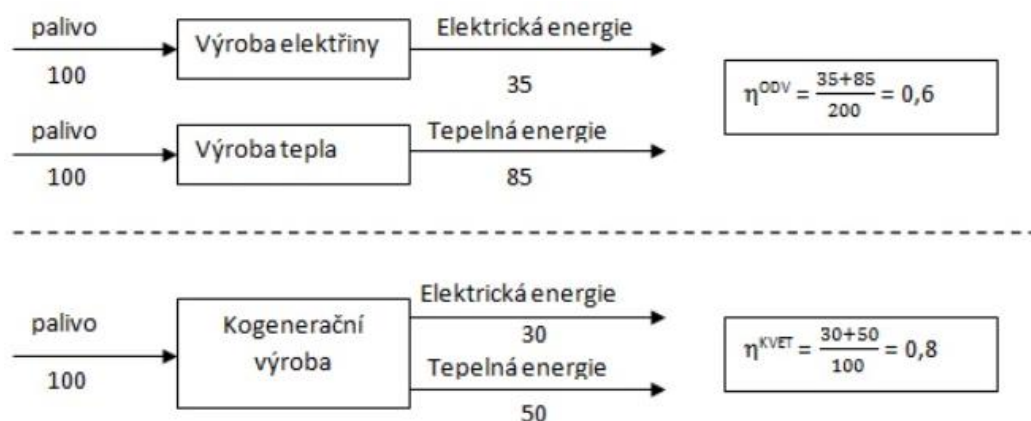
**Primární jednotka (PJ)** je hlavní částí KJ. Dochází v ní k přeměně energie obsažené v palivu na elektrickou, popřípadě mechanickou energii. Právě podle typu primární jednotky rozdělujeme KJ. [4]

**Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie** může představovat elektrický generátor nebo elektrický měnič. *Elektrický generátor* mění mechanickou energii na elektrickou. Může být stejnosměrný nebo střídavý. Střídavé generátory mohou spolupracovat s elektrickou sítí po dodržení podmínek napřímo, stejnosměrné nikoliv. Díky nízké ceně a snadnému připojení k elektrizační síti využíváme u jednotek menšího výkonu asynchronní generátor. *Elektrický měnič* se používá, když je nutné upravit parametry elektrického proudu, jako např.: změna frekvence, transformace stejnosměrného proudu na střídavý, apod. [4]

**Zařízení pro rekuperaci tepelné energie** převádí odváděné teplo na požadovanou formu a parametry. Nejčastějším médiem je nízkoteplotní a vysokoteplotní voda, vodní pára a teplý vzduch. Rekuperace není vždy nutná. [4]

## 1.1 Výhody kombinované výroby energií

Za největší výhodu KVET považují zvýšení účinnosti využívání primárních zdrojů oproti samostatné výrobě elektrické a tepelné energie. Účinnost oddělené výroby tepelné energie je uvažována 85% a elektrické energie 35%, z čehož lze vypočítat souhrnnou účinnost využití primárního zdroje 60%. Zatímco u KVET je uvažována celková účinnost 80%. [5]



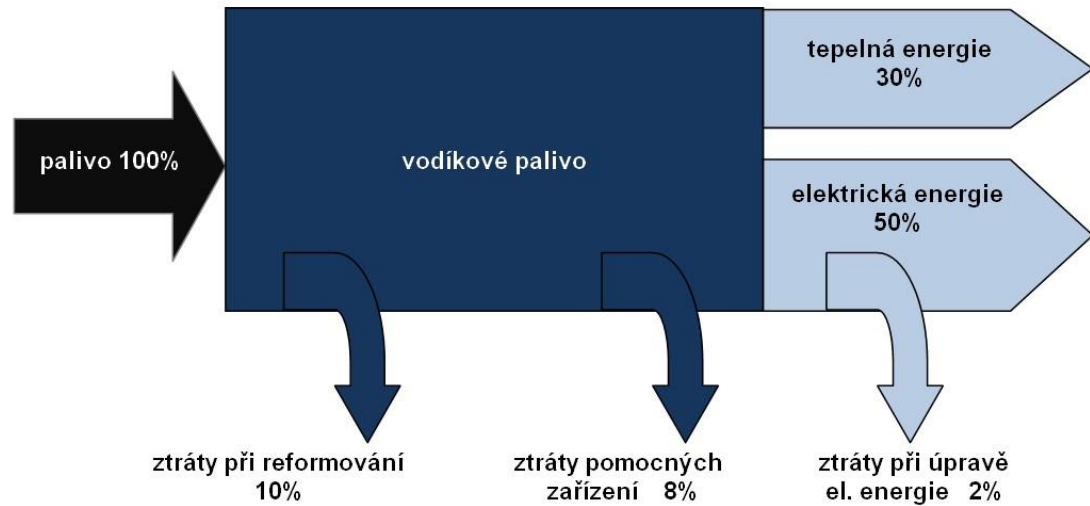
Obrázek 1: Grafické znázornění transformace primárního zdroje [4]

K dalším výhodám KVET řadím možnost umístění blízko místa spotřeby energie, čímž se sníží ztráty vzniklé při distribuci. Využívá se snadno dostupných paliv, zejména zemního plynu, jelikož Česká republika je již dostatečně pokrytá distribučními plynovody. Tímto se dostávám k menší závislosti na zvyšování ceny elektřiny, díky které ekonomická efektivnost provozu KJ stoupá. Kogenerační systém (KS) lze snadno napojit na stávající technologie v domě. KS je snadno regulovatelný, vyžaduje minimální nároky na údržbu a je považován za vysoce spolehlivý při zajišťování dodávky energie. V neposlední řadě stojí za zmínku omezení znečišťování životního prostředí snížením produkce emisí. [4]

## 1.2 Rozdělení primárních jednotek

### 1.2.1 Palivové články

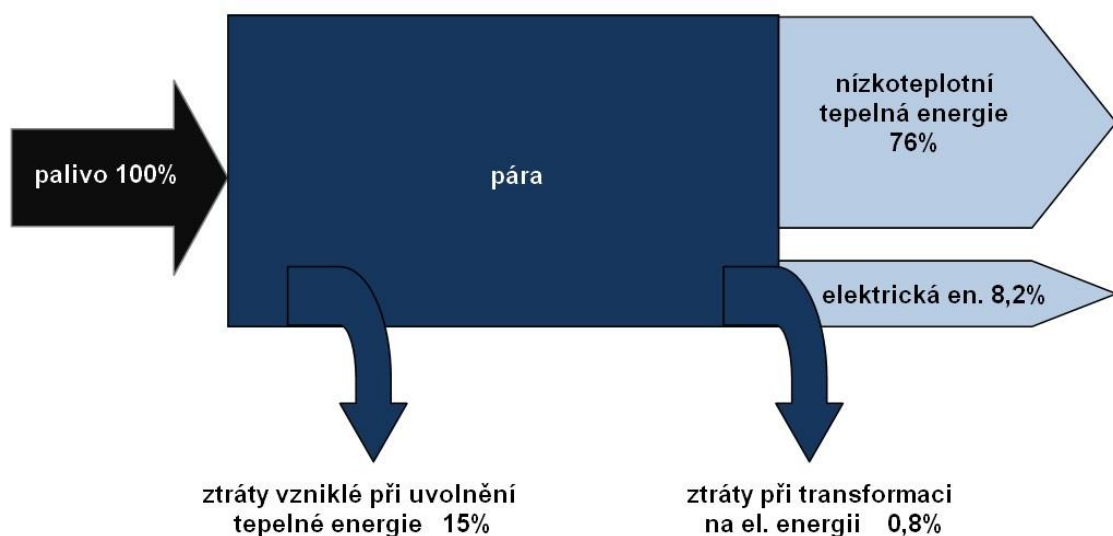
PJ tvořené palivovými články považují za ekologicky čisté, tiché a vysoce účinné. Díky těmto přednostem je předpokládán velký potenciál do budoucnosti. Výkon těchto jednotek se pohybuje mezi 5 kW<sub>E</sub> až 2 MW<sub>E</sub>, dle typu palivových článků. Palivové články využívají kapalná nebo plynná paliva. Nejčastěji se jedná o zkapalněný plyn, zemní plyn, bioplyn nebo třeba ethanol. Jejich pořizovací cena je velmi vysoká. [4]



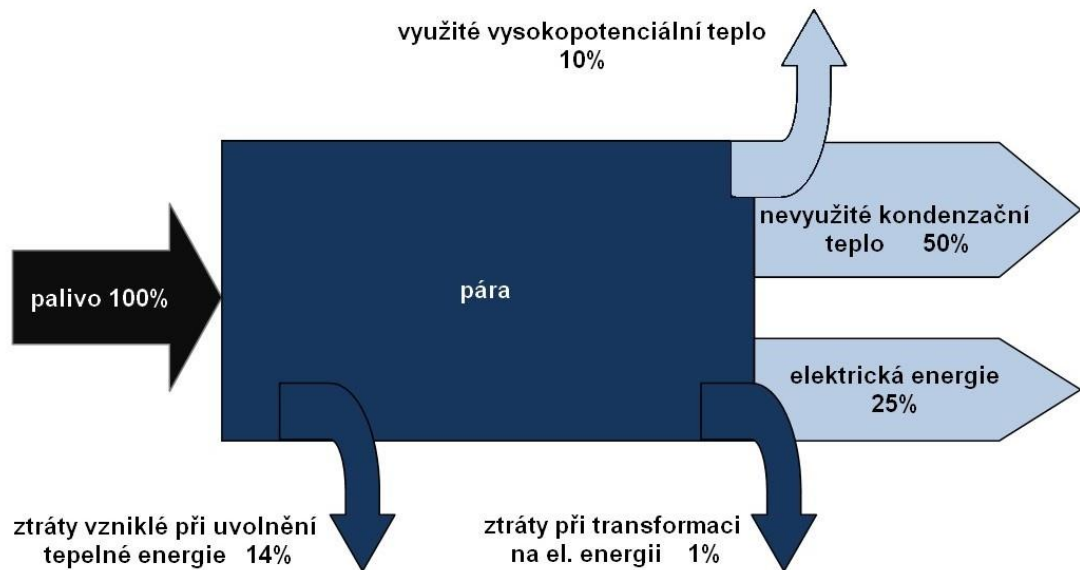
Obrázek 2: Schéma KJ s palivovým článkem [4]

### 1.2.2 Parní turbíny

Parní turbíny jsou konstruovány tak, aby co nejvíce vyhověly požadavkům na dodávku tepla. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívají v teplárnách. Výkon se pohybuje v širokém rozmezí od 1000kW<sub>E</sub> do 250 MW<sub>E</sub>. Poměr mezi elektrickou a tepelnou energií je nízký, avšak je snaha dosáhnout co největší elektrické účinnosti. Jako palivo lze využít kterékoliv, ekonomicky nejvýhodnější je však spalování odpadních paliv. Používáme dva typy turbín. *Protitlaké turbíny* využívají veškeré množství páry pro zisk technické práce, která je soustředěna na dodávku tepla. *Kondenzační turbíny* naopak preferují výrobu elektrické energie. [4]



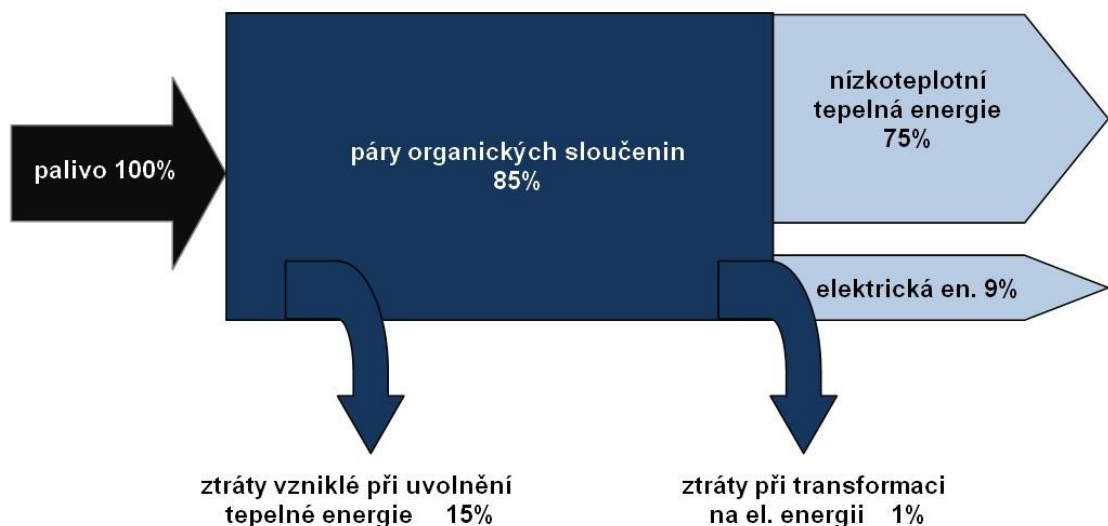
Obrázek 3: Schéma KJ s protitlakou parní turbínou [4]



Obrázek 4: Schéma KJ s kondenzační parní turbínou [4]

### 1.2.3 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus (ORC) má tepelný oběh stejný jako je u parních turbín. Zásadním rozdílem je použití jiné pracovní látky, v tomto případě organické sloučeniny. Jelikož je výhodné ORC využívat při nízkých teplotách, tak mezi nejčastější paliva lze řadit biopaliva, sluneční nebo geotermální energii či odpadní teplo. PJ s ORC se výkonově pohybují v rozmezí 200 až 1500 kW<sub>E</sub>. Tyto PJ jsou vhodné především pro dodávku nízkopotenciálního tepla. [4]

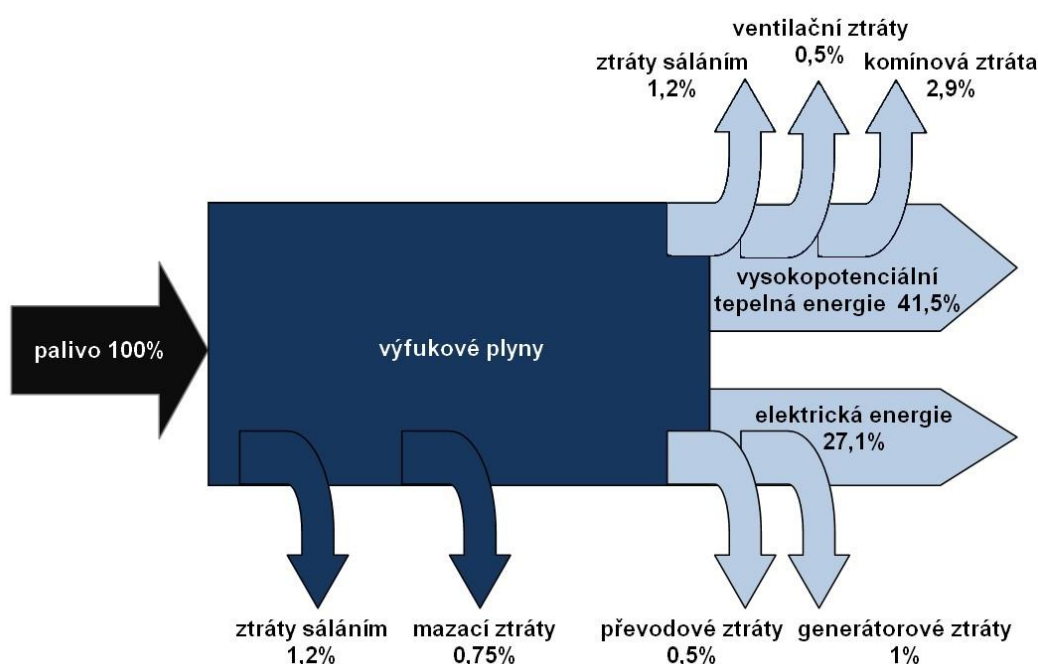


Obrázek 5: Schéma KJ pracující s ORC [4]



### 1.2.4 Plynové turbíny

Plynové turbíny jsou nejpoužívanějšími primárními jednotkami kogeneračních systémů. Pracovní látkou je stlačený vzduch, kterému je ve spalovací komoře dodávána tepelná energie při spalování paliva a v turbíně pak dochází k tlakové expanzi. Výkon těchto turbín se pohybuje v rozmezí od 500 kW<sub>E</sub> do 250 MW<sub>E</sub>. Jsou vhodné pro dodávku vysokopotenciálního tepla. Paliva se využívají kapalná a plynná, např. nafta, LPG, zemní plyn. Plynové turbíny jsou spojovány s vysokým hlukem, tudíž jsou nutná protihluková opatření. [4]



Obrázek 6: Schéma KJ se spalovací turbínou [4]

### 1.2.5 Mikroturbíny

Mikroturbíny jsou vlastně plynové turbíny menšího výkonu, které pracují při vysokých otáčkách. Kogenerační jednotky s mikroturbínou jsou menších rozměrů a umisťují se blízko místu spotřeby tepelné energie. Výkon mikroturbín je uvažován v rozmezí od 30 do 350 kW<sub>E</sub>. Používaná paliva jsou shodná jako u plynových turbín. [4]

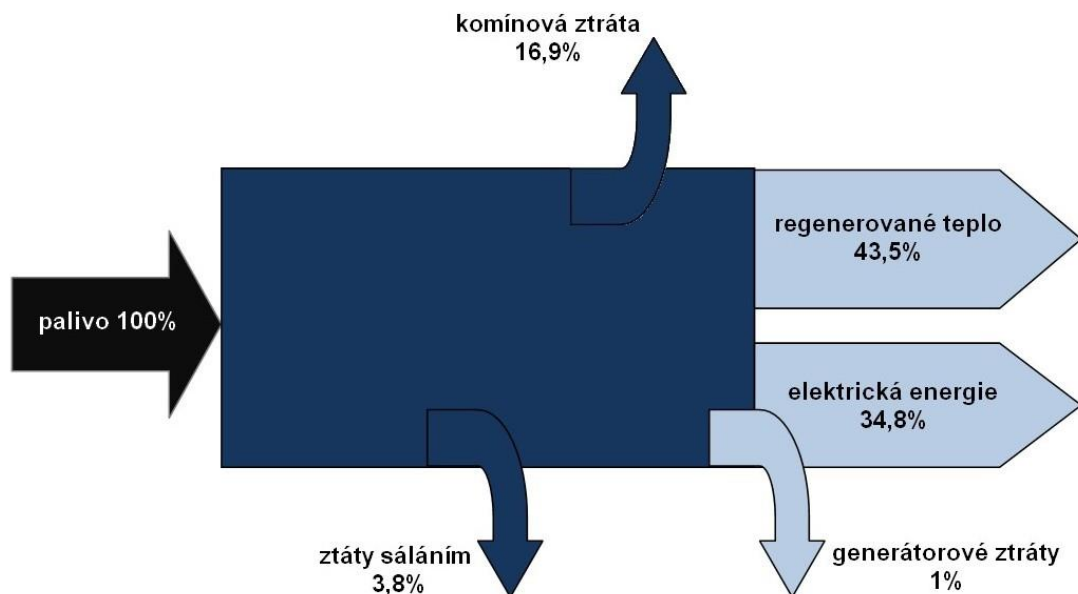
### 1.2.6 Stirlingův motor

Stirlingův motor je pístový motor využívající vnější spalování, ve kterém se uvolněná tepelná energie předá pracovní látce. Pracovní látkou je plyn, například helium, vzduch, dusík

nebo CO<sub>2</sub>. Pracovní látka je střídavě stlačována ve studeném válci a expanduje v horkém válci, kde se teplo přivádí přes tepelný výměník z vnějšího zdroje. Tento motor nemá explozivní spalování, čímž odpadá nutnost zapalovacího zařízení a další k tomu potřebné součásti. Díky tomu se zmenší velikost KJ a stává se vhodnější pro mikro-kogeneraci. Malé jednotky mají výkon v rozmezí od 10 do 600 kW<sub>E</sub>. Jednotky s vyššími výkony se vyrábějí pro spalování biomasy. Výkon těchto jednotek se pohybuje kolem 1-1,5 MW<sub>E</sub>. Motor má velmi nízkou hladinu hluku, lze ho tedy instalovat velmi blízko místu spotřeby. [4]

### 1.2.7 Spalovací motor

Spalovací motory jsou velmi rozšířené a lze je využívat i pro primární jednotky KJ. Využívají se hlavně díky jejich relativně nízkým investičním nákladům, vysoké účinnosti a širokém rozsahu výkonu (10 kW – 5 MW). Je možné dosáhnout i vyššího výkonu, avšak toho se většinou nevyužívá, protože se motory umísťují v místě spotřeby tepla. Podle způsobu zapalování paliva se dělí spalovací motory na dva druhy, zážehové a vznětové. *Zážehové motory* zapalují směs vzduchu a paliva pomocí elektrické jiskry. Palivo pro tyto motory je převážně plynné, nejčastěji zemní plyn. U *vznětových motorů* se směs vznítí, po dosažení zápalných hodnot paliva, samovolně. Tento typ motoru pracuje s kapalnými palivy, například s naftou. [4]



Obrázek 7: Schéma KJ se spalovacím motorem [4]

## 2 Energetická bilance rodinného domu

### 2.1 Popis objektu

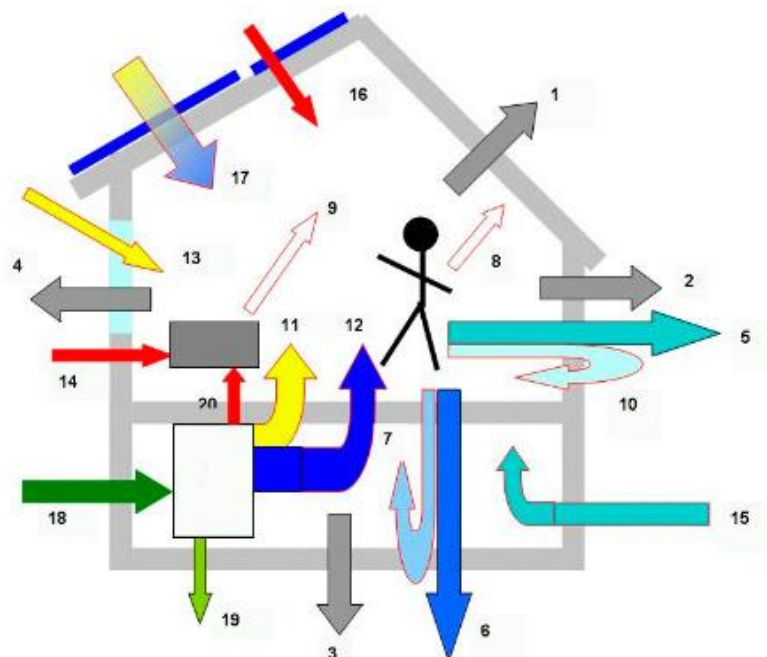


Obrázek 8: Půdorysy podlaží rodinného domu

Vybraný dům se nachází v Plzeňském kraji ve městě Plasy. Jedná se o novostavbu rodinného domu. Vnější objem vytápěné budovy je  $402,3 \text{ m}^3$ . Dům je osamocený od dalších rodinných domů. Objekt je částečně podsklepený se dvěma nadzemními podlažími, zastřešený sedlovou střechou s vikýři. V prvním podzemním patře se bude nacházet garáž a technická místnost. Obě nadzemní podlaží budou obytná. Obvodové zdivo nadzemních podlaží bude vyzděno z keramických bloků tloušťky 365mm a bude zatepleno v tloušťce 50mm. Obvodové zdivo podzemního podlaží bude z tvárnic tloušťky 400mm a bude zatepleno polystyrénem v tloušťce 100mm. Podlaha nad garáží a technickou místností bude zateplena polystyrénem tloušťky 100mm, taktéž podlaha v přízemí. Podlaha v podzemním patře bude zateplena tepelnou izolací z polystyrénu tloušťky 50mm. Strop a střecha obytného podkroví budou zatepleny minerální vlnou v celkové tloušťce 300mm a venkovní izolací tloušťky 150mm. Všechna okna a vnější dveře budou s tepelně izolačními trojskly a garážová vrata budou s tepelnou izolací. Do domu je prozatím pro vytápění a ohřev teplé vody plánován plynový kondenzační kotel.

### 2.2 Možné ztráty a zisky

Zisky a ztráty jsou dvě hlavní hodnoty pro určení energetické bilance. Tato bilance je základním nástrojem pro plánování energetické soběstačnosti domu. Důležitým krokem pro určení bilance je sečtení zmiňovaných ztrát a zisků. Poté je nutné zvážit, zda by se ztráty daly snížit, a za jakou cenu. Zdroj musí krýt rozdíl mezi zisky a ztrátami. Rozdělení ztrát a zisků je uvedeno na obrázku 9 a v tabulce 1. [2]



Obrázek 9: Grafické znázornění energetické bilance [2]

ztráty		zisky	
1	ztráty prostupem střechou	7	rekuperace tepla z odpadní vody
2	ztráty prostupem stěnami	8	zisky od osob
3	ztráty prostupem podlahou	9	zisky od spotřebičů
4	ztráty okny a prosklením	10	rekuperace tepla z odpadního vzduchu
5	ztráty větráním	11	dodávka tepla pro vytápění
6	teplo pro ohřev vody	12	dodávka tepla pro ohřev vody
		13	pasivní solární zisky (okna, prosklení)
			elektřina z vnějšího zdroje (vlastní elektrárna)
		14 a	vodní energie
		14 b	větrná energie
		15	zisk zemního výměníku tepla
		16	elektřina z fotovoltaických panelů
		17	aktivní solární zisky (kolektory)
		18	palivo
		19	ztráty ve vlastním zdroji
		20	dodávka elektřiny z kogenerace

Tabulka 1: Ztráty a zisky energetické bilance [2]

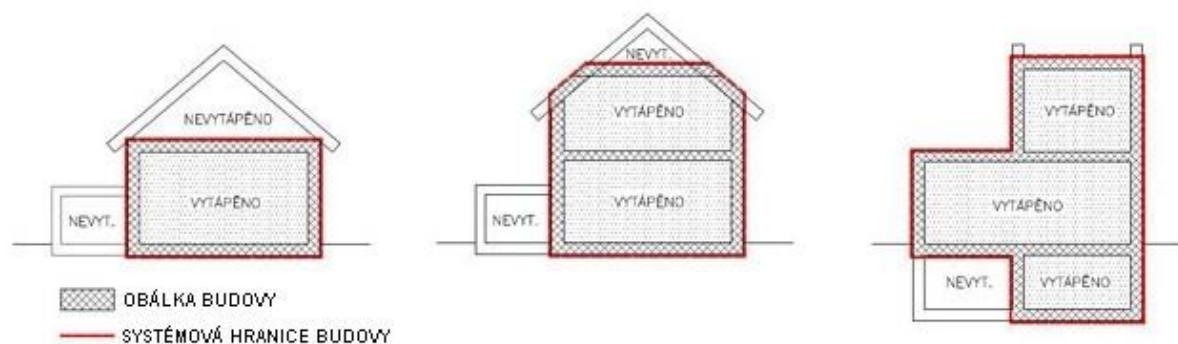
### 2.3 Tepelné ztráty

Tepelnou ztrátu lze definovat jako množství tepla, které objekt ztratí za hodinu při průměrné extrémní hodnotě, pro ČR  $-12^{\circ}\text{C}$  až  $-18^{\circ}\text{C}$ . Tepelné ztráty vznikají na rozhraní dvou prostředí. To znamená, že teplo uniká do studenějšího prostředí z teplejšího, tedy z obálky

budovy do venkovního prostředí. Proto se způsobu výpočtu tepelných ztrát říká obálková metoda. Celkové tepelné ztráty jsou součtem dílčích ztrát (konstrukcí, infiltrací a větráním). Abych mohla zvolit optimální výkon tepelného zdroje, potřebuji znát právě hodnotu tepelných ztrát. Tím je možné snížit velké investiční náklady, ale také provozní náklady. [3]

### 2.3.1 Obálková metoda

Obálka budovy je technický pojem, který zahrnuje veškeré konstrukce na systémové hranici budovy. Tyto konstrukce jsou vystaveny vnitřnímu vzduchu vytápěného prostředí a zároveň přilehlému prostředí (venkovnímu vzduchu, zemině, vnitřnímu vzduchu v přilehlém nevytápěném prostoru). Do skupiny těchto konstrukcí patří obvodové stěny, okna, vstupní dveře, střešní pláště a podlahy oddělující vnitřní prostředí budovy od zemin. [16][15]



Obrázek 10: Obálka a systémová hranice budov [16]

Postup při výpočtu obálkovou metodou je následovný:

- 1) Určení základních údajů
  - Venkovní výpočtová teplota
  - Průměrná roční venkovní teplota
- 2) Určení pro každou místnost
  - Stav každého prostoru
  - Vnitřní výpočtová teplota
- 3) Určení údajů o budově
  - Rozměry
  - Tepelné charakteristiky všech stavebních konstrukcí
- 4) Výpočet tepelné ztráty prostupem
- 5) Výpočet tepelné ztráty větráním
- 6) Výpočet celkových tepelných ztrát (prostupem + větráním) [14]

### 2.3.2 Výpočet tepelných ztrát

Za pomoci výpočetního Národního Kalkulačního Nástroje mám k dispozici vypočtené hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem konstrukcí, viz. tabulka 2. V příloze A jsou doloženy řezy domem se skladbou konstrukce.

<i>Ochlazovaná konstrukce</i>	<i>Plocha <math>A_i</math> [m<sup>2</sup>]</i>	<i>Součinitel prostupu tepla <math>U_i</math> [W/m<sup>2</sup>.K]</i>	<i>Měrná ztráta konstrukce prostupem tepla <math>H_i</math> [W/K]</i>
Zdivo pod terénem	38,5	0,312	6,2
Zdivo nad terénem	15,5	0,313	4,9
Dveře tech. místnosti	2,1	1,3	2,7
Okno 75/75	0,6	0,8	0,5
Vrata garáže	5,5	1,3	7,1
Tvárnice pod terénem	36,4	1,772	21,8
Podlaha 1PP	66,7	0,614	14,4
Zdivo NP	159	0,141	22,5
Okno 150/125	9,4	0,8	7,5
Okno 60/75	0,4	0,8	0,4
Okno 150/150	4,5	0,8	3,6
Okno 210/235	4,9	0,8	3,9
Okno 175/150	5,3	0,8	4,2
Okno 150/75	1,1	0,8	0,9
Vstup 105/210	2,2	0,8	1,8
Stěna vikýře	9	0,155	1,4
Střecha 1	57,6	0,164	9,5
Střecha 2	85,2	0,166	14,1
Střešní okno 55/78	0,9	1	0,9
Střešní okno 78/160	2,5	1	2,5
Střecha vikýře	5,4	0,165	0,9
Podlaha 1NP	55,3	0,346	8,5
<b><i>Tepelné vazby mezi konstrukcemi</i></b>			
Obytné prostory	402,7	0,02	8,1
Ostatní místnosti	165,2	0,02	3,3
<b><i>Celkem</i></b>	<b>576,9</b>		<b>151,4</b>

Tabulka 2: Dílčí měrné tepelné ztráty

Díky těmto dílčím výpočtům dále vypočtu tepelné ztráty prostupem. Vzorec pro výpočet tepelných ztrát z měrných tepelných ztrát:

$$Q_P = H_P \cdot (t_{in} - t_e) = 151,4 \cdot (20 - (-15)) = 5299 \text{ W} \quad (1)$$

kde  $Q_p$  – tepelná ztráta domu prostupem [W]

$H_p$  – měrná tepelná ztráta prostupem [W/K]

$t_{in}$  – vnitřní výpočtová teplota [°C]

$t_e$  – venkovní výpočtová hodnota [°C]

Měrná tepelná ztráta větráním se vypočítá z rovnice 2. Po uvážení konstant se tato rovnice zjednoduší na rovnici 3.

$$H_v = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [W/K] \quad (2)$$

kde  $H_v$  – měrná tepelná ztráta domu větráním [W]

$V_i$  – objemový průtok větracího vzduchu při  $t_{in}$  [m<sup>3</sup>/s]

$\rho$  – hustota vzduchu při  $t_{in}$  [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  – měrná tepelná kapacita vzduchu při  $t_{in}$  [kJ/kg.K]

$$H_v = 0,34 \cdot V_i = 0,34 \cdot 0,139 = 0,04726 \quad W/K \quad (3)$$

Přepočet měrných tepelných ztrát na tepelné ztráty větráním je zanesen v rovnici 4.

$$Q_v = H_v \cdot (t_{in} - t_e) = 0,04726 \cdot (20 - (-15)) = 1,654 \quad W \quad (4)$$

kde  $Q_v$  – tepelná ztráta domu větráním [W]

Součtem tepelných ztrát prostupem a větráním dostanu výslednou hodnotu tepelných ztrát. Ta je v mém případě 5,3 kW. [14]

## 2.4 Požadované teplo

Stanovení diagramu zatížení je možné na základě znalosti požadované potřeby práce od spotřebičů. Lze tedy definovat diagram zatížení v příslušném obchodovatelném období podle:

- 1) plánovaného zatížení spotřebičů
- 2) odvození diagramu zatížení na základě odběratele se stejnými spotřebiči
- 3) znalosti hodnot diagramu z předchozích období

### 2.4.1 Denostupňová metoda

Denostupňová metoda je metodika určení diagramu zatížení podle předpokládaného denního zatížení. Denostupeň je ukazatel, který slouží např. k porovnání spotřeb v různých topných obdobích s odlišnou klimatickou náročností. Spotřebu tepla lze rozdělit na dvě části, a to pro ohřev teplé vody a pro vytápění. [18]

Potřebu tepla pro ohřev vody  $Q_{TUV}$  je možno považovat za konstantní po celý rok. Lze ji určit na základě počtu osob obývajících objekt. Průměrná hodnota spotřeby je odvozena z naměřených dat a její hodnota je přibližně  $Q_{TUV,o} = 3$  kWh/osobu a den. Celkovou spotřebu lze zhruba vypočítat podle rovnice 5.

$$Q_{TUV} = Q_{TUV,o} \cdot n \cdot T \text{ [kWh]} \quad (5)$$

kde  $Q_{TUV}$  – celková potřeba tepla pro ohřev vody [kWh]

$Q_{TUV,o}$  – potřeba tepla pro osobu na jeden den [kWh]

$n$  – počet obyvatel v objektu [-]

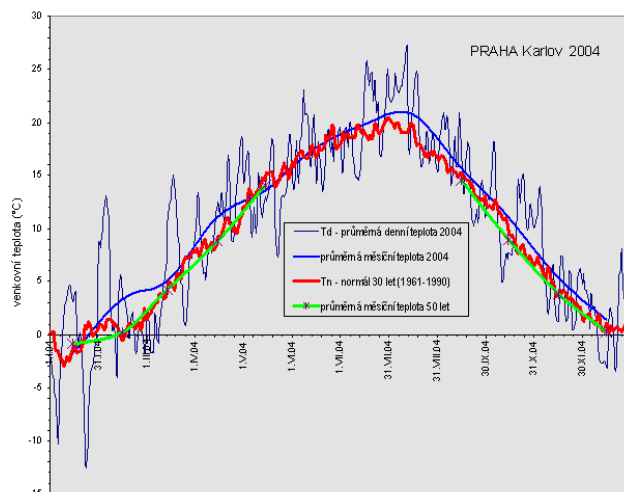
$T$  – počet dnů v období [dny]

Naopak potřeba tepla pro vytápění se mění každým dnem. Je závislá na tepelném rozdílu mezi vnitřní a vnější teplotou a také na tepelných ztrátách domu. Tepelný výkon bude dodáván pouze přes topné období. Ve vyhlášce č. 152/2001 Sb., která stanovuje povinnost dodávat teplo z centrálního zdroje tepla je topné období definováno takto:



Otopné období je čas, kdy jsou zdroje tepla uvedeny do stavu pohotovosti k dodávce tepla spotřebitelům, začíná 1. září a končí 31. května. Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě poklesne pod  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  pro následující den. Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot v 7, 14 a ve 21 hodin, přičemž teplota měřená ve 21 hodin se počítá dvakrát. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod  $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$  se vytápění obnoví. (vyhláška č. 152/2001 Sb., §3)

Čára trvání výkonu je závislá na době trvání jednotlivých venkovních teplot. Vychází tedy ze statistických dat průměrných denních teplot v ČR a je znázorněna na obrázku 11.



Obrázek 11: Průběh čáry trvání výkonu [17]

Také je možné vyjádřit bezrozměrnou křivku trvání teploty, pokud se vztáhne doba trvání teploty na počet dnů období. Lze pak délku trvání venkovní teploty stanovit pomocí bezrozměrné hodnoty trvání teploty vůči topnému období:

$$v = \frac{M_{ts,i}}{M_{top}} [-] \quad (6)$$

kde  $v$  – trvání teploty vůči topnému období [-]

$M_{te,i}$  – počet dnů připadající k rozdílu teplot [dny]

$M_{top}$  – počet topných dnů [dny]

Přičemž odpovídající teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou lze vypočítat z rovnice 7.

$$v = (1 - v)^{0,985 \cdot v^{-0,626}} [-] \quad (7)$$

kde  $v$  – teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou [-]

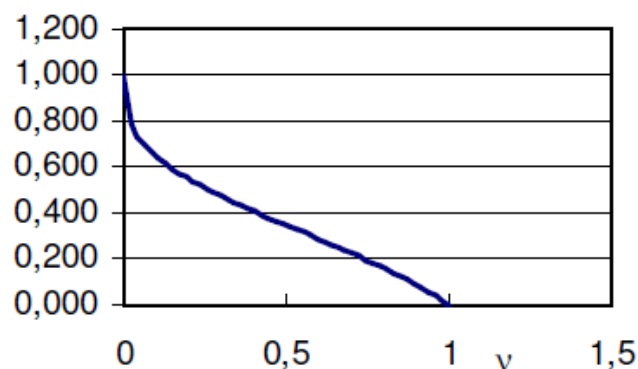
Tento teplotní rozdíl je dán poměrem skutečného teplotního rozdílu vnitřní a vnější teploty k uvažovanému.

$$v = \frac{t_{e,min} - t_e}{t_{e,min} - t_{e,max}} [-] \quad (8)$$

kde  $t_{e,min}$  – minimální venkovní teplota (-12°C) [°C]

$t_{e,max}$  – maximální venkovní teplota (12°C) [°C]

Bezrozměrná křivka trvání teplot pak znázorněna v grafu 1.



Graf 1: Bezrozměrná křivka trvání teplot [17]

Diagram trvání vytápění se přičte k diagramu pro ohřev vody a dostane se výsledný diagram. [17]

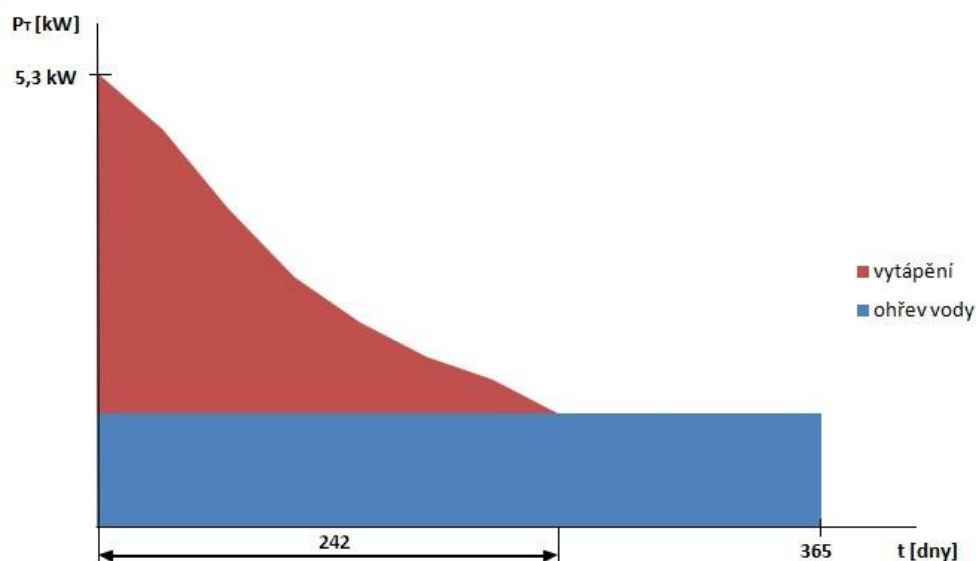
## 2.4.2 Výpočet požadovaného tepla

Výpočet potřeby tepelné energie pro ohřev vody a vytápění byl proveden za pomoci online kalkulačky dostupné ze stránky [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). Pro výpočet byla zvolena teplota studené vody  $10^{\circ}\text{C}$  a teplota ohřáté vody  $55^{\circ}\text{C}$ . Celková spotřeba teplé vody na jeden den je  $0,328\text{m}^3$ , což značí čtyřčlennou rodinu, kde je uvažována spotřeba teplé vody pro jednu osobu  $0,082\text{m}^3/\text{den}$ . Průměrná délka topného období pro Plzeňský kraj je 242 dnů. Výpočty jsou zaznamenané v *tabulce 3*. Výsledkem tohoto výpočtu je celková roční spotřeba tepelné energie pro vytápění a ohřev teplé vody. Tato hodnota je výsledkem sečtení dvou dílčích hodnot, roční spotřeby pro vytápění a roční spotřeby pro ohřev teplé vody.

<b>Lokalita</b>
Plasy (okres Plzeň-Sever, Plzeňský kraj) venkovní výpočtová teplota $-15^{\circ}\text{C}$ délka topného období $M_{top}=242\text{dnů}$ průměrná teplota během otopného období $t_{es}=3,6^{\circ}\text{C}$
<b>Vytápění</b>
tepelná ztráta objektu $Q_c = 5,3\text{ kW}$ průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{in}=20^{\circ}\text{C}$ vytápěcí denostupně $D = M_{top} \cdot (t_{in} - t_e) = 3969\text{ K} \cdot \text{dny}$ opravný součinitel $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0,945$
<b>Celková roční spotřeba pro vytápění</b> $Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot Q_c \cdot D \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}}{\eta_0 \cdot \eta_r \cdot (t_{in} - t_e)}$
$Q_{VYT,r} = 54,4\text{ GJ/rok} \quad (15,1\text{ MWh/rok})$
<b>Ohřev vody</b>
teplota studené vody $t_1=10^{\circ}\text{C}$ ; teplota ohřáté vody $t_2=55^{\circ}\text{C}$ měrná hustota vody $\rho=1000\text{ kg/m}^3$ měrná tepelná kapacita vody $c=4186\text{ J/kgK}$ celková potřeba teplé vody $V_{2p}=0,328\text{ m}^3/\text{den}$ koeficient energetických ztrát systému $z=0$
<b>Denní spotřeba tepla pro ohřev vody</b> $Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 17,2\text{ kWh}$
teplota studené vody v létě $t_{svl}=15^{\circ}\text{C}$ teplota studené vody v zimě $t_{svz}=5^{\circ}\text{C}$

počet pracovních dní soustavy v roce $N=365$
<b>Celková roční spotřeba pro ohřev vody</b>
$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$
$Q_{TUV,r} = 19,8 \text{ GJ/rok } (5,5 \text{ MWh/rok})$
<b>Celková roční spotřeba tepelné energie</b>
$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r}$
$Q_r = 74,2 \text{ GJ/rok } (20,6 \text{ MWh/rok})$

Tabulka 3: Potřeba tepelné energie pro ohřev vody a vytápění [6]



Graf 2: Roční diagram zatížení

## 2.5 Požadovaná elektrická energie

Ze smlouvy o připojení k distribuční soustavě lze vyčíst, že rodinný dům je jištěn 3x25A. Celkový předpokládaný příkon je zanesen v tabulce 4. Odhadovaná roční spotřeba elektrické energie je 3,71 GJ, tj. 1,03 MWh.

<b>Spotřebič</b>	<b>Příkon [kW]</b>
Přímotopné topení	1,2
Příprava pokrmů	10
Osvětlení	2
Akumulační ohřev vody	2
Ostatní spotřebiče	3
<b>Celkový příkon <math>P_{max}</math></b>	<b>18,2</b>

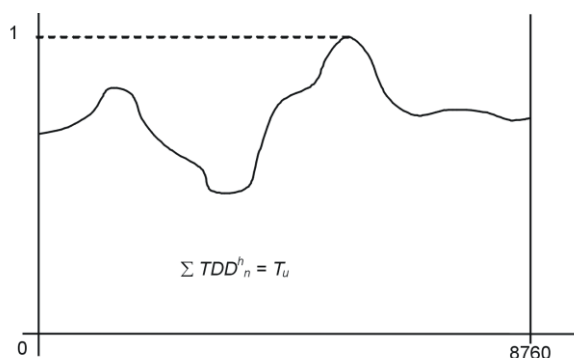
Tabulka 4: Plánovaný příkon domu

### 2.5.1 Typový denní diagram

Pomocí metody typového denního diagramu (TDD) je možné nahradit průběhové měření velikosti hodinového odběru. Toho je využíváno hlavně při připojování nových zákazníků k distribuční síti, aby bylo co nejlépe odhadnuto zúčtování za odběr elektřiny. Na základě statistických dat z měření daných typů odběratelů bylo zvoleno 8 charakteristických skupin zákazníků.

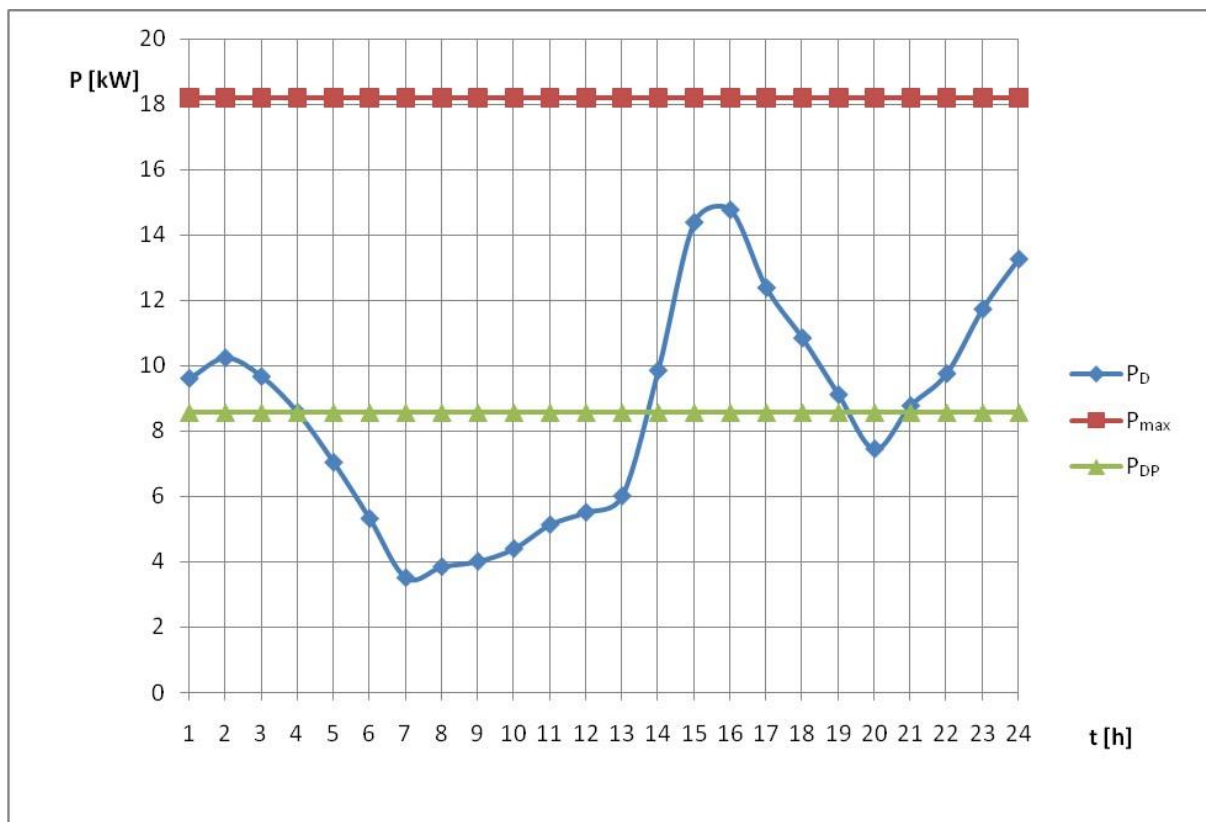
- *Podnikatel* - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 1
- *Podnikatel* - odběr s akumulacním spotřebičem - TDD č. 2
- *Podnikatel* - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 2
- *Podnikatel* - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 3
- *Podnikatel* - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 3
- *Domácnost* - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 4
- *Domácnost* - odběr s akumulacním spotřebičem - TDD č. 5
- *Domácnost* - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 6
- *Domácnost* - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 7
- *Domácnost* - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 7
- *Podnikatel* - odběr pro veřejné osvětlení - TDD č. 8

Normalizovaný typový diagram dodávky (TDD<sub>n</sub>) je součet průměrných hodinových odběrů v roce vztažených k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů, určeného z měření vzorků TDD. Hodnoty TDD<sub>n</sub> se pohybují v rozmezí 0 až 1 a definují tvar diagramu zatížení dané skupiny konečných zákazníků za normálních klimatických podmínek. Dobu využití maxima vyjadřuje součet průměrných hodinových odběrů TDD<sub>n</sub>. Ampérová hodnota jističe je použita jako hodnota maxima. [17]



Graf 3: Normalizovaný TDD [17]

Objekt je připojen na sazbu D25d, jelikož je plánován akumulární spotřebič pro ohřev vody. Z tohoto důvodu je k domu přiřazen TDD třídy 5. Normovaný TDD jsme zvolila pro jeden z nejchladnějších dnů v roce a to 15. Leden. Z těchto hodnot a hodnoty celkového příkonu jsme vytvořila příslušný TDD, viz *graf 4*. Z tohoto grafu je možné vidět, že hodnota průměrného denního výkonu  $P_{DP}=8,56$  kW/h a také že maximální odběr je v 16h, a to 14,77kW.



Graf 4: TDD pro 15. Leden [11]

### 3 Návrh kogenerační jednotky

Z důvodu snazšího odkupu elektrické energie od dodavatele budu volit kogenerační jednotku především dle potřebného tepelného výkonu pro ohřev vody a vytápění. Až v druhé řadě tedy budu brát v potaz potřebný elektrický výkon. Jako alternativní zdroj vytápění bude v obývacím pokoji instalován krb s krbovou vložkou. Ten je možné využívat jako pomocný zdroj tepla v zimě při extrémních mrazech.

Volba KJ bude záviset na:

- Požadovaném tepelném výkonu
- Dostupnosti paliva

- Pořizovací ceně KJ
- Návratnosti investice
- Doporučení firmy

### 3.1 Vhodný výběr

Vybírala jsme z nabídky dvou největších společností, Tedom a Viessmann, zabývajících se výrobou, poradenstvím a montáží kogeneračních jednotek, nejen v naší republice. Po konzultaci s odbornými poradci z firem se jako nejvhodnější pro nasazení do vybraného rodinného domu jevila jednotka Vitotwin 300-W od firmy Viessmann. Firma má bohaté zkušenosti s instalací KJ hlavně v Německu, ty však přenáší i k nám. Zmíněná KJ má tepelný výkon 5,3 kW, elektrický výkon 1 kW a měla by pokrýt potřebu tepla i při největších mrazech. Jelikož jsme zvolili jako primární výrobu tepelné energie, bude KJ řízena dle venkovní teploty. Pro nasazení KJ je velice důležité zajistit odběr tepla i v letních měsících, kdy tepelný výkon nepotřebujeme k vytápění domu, ale jen pro ohřev vody.

### 3.2 Kogenerační jednotka Vitotwin 300-W

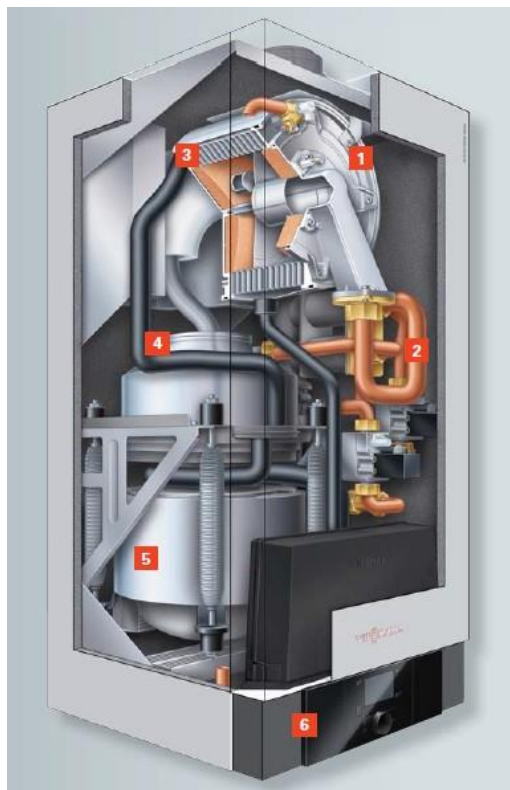
KJ Vitotwin 300-W se ideálně hodí k pokrytí tepla i základní potřeby elektřiny u rodinných a dvougeneračních domů. Je to velice kompaktní zařízení se Stirlingovým motorem a plynovým kondenzačním kotlem, ke kterému se přidává akumulární zásobník topné vody. Odpadní teplo motoru vystačí k tomu, aby zcela vytopilo obytné prostory a připravilo teplou vodu. Pouze při velmi chladných dnech nebo pro velmi rychlou přípravu teplé vody se automaticky zapne plynový kondenzační kotel. Jako palivo bude použit zemní plyn z nízkotlakého plynovodu, který je na pozemku k dispozici. [7]

K samotné jednotce Vitotwin 300-W opatřené potrubním a konektorovým připojením se dále dodává kalibrované počítadlo vyrobeného proudu, regulace na základě venkovní teploty, čidlo venkovní teploty, bezdrátové dálkové ovládání, odlučovač kalu a ponorná čidla teploty.

Patrné výhody KJ Vitotwin:

- Velmi tichý provoz
- Přijatelné rozměry a snadný servis
- Téměř bezúdržbové
- Jednoduchá instalace

- Vysoká účinnost
- Menší závislost na zvyšování ceny elektřiny
- Automaticky řízená výroba elektřiny



- 1 kondenzační kotel
- 2 ventil rozdělovače směsi plynu a vzduchu
- 3 výměník tepla
- 4 prstencový hořák
- 5 Stirlingův motor
- 6 regulace

Obrázek 12: Vitotwin 300-W [7]

### 3.2.1 Technické údaje

<i>Jmenovitý tepelný výkon</i>	<b>3,6 – 26 kW</b>
<i>Elektrický výkon</i>	<b>0,6 – 1 kW</b>
<i>Celková účinnost</i>	<b>až 96 %</b>
<i>Třída energetické účinnosti</i>	<b>A<sup>+</sup></b>
<i>Připojovací tlak zemního plynu</i>	<b>2 – 2,5 kPa</b>
<i>Spotřeba zemního plynu</i>	<b>2,61 m<sup>3</sup>/h</b>
<i>Hmotnost</i>	<b>125 kg</b>
<i>Rozměry - výška</i>	<b>90 cm</b>
<i>-hloubka</i>	<b>48 cm</b>
<i>-šířka</i>	<b>48 cm</b>

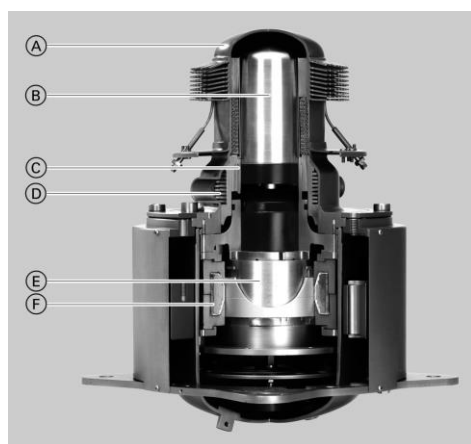
Tabulka 5: Technické údaje Vitotwinu 300-W [7]

### 3.2.2 Princip činnosti

Stirlingův motor je velmi tichý a bezúdržbový motor s volně plovoucími písty. Uzavřený systém je naplněn pracovním médiem, héliem. Hélium je v horní části ohříváno prstencovým



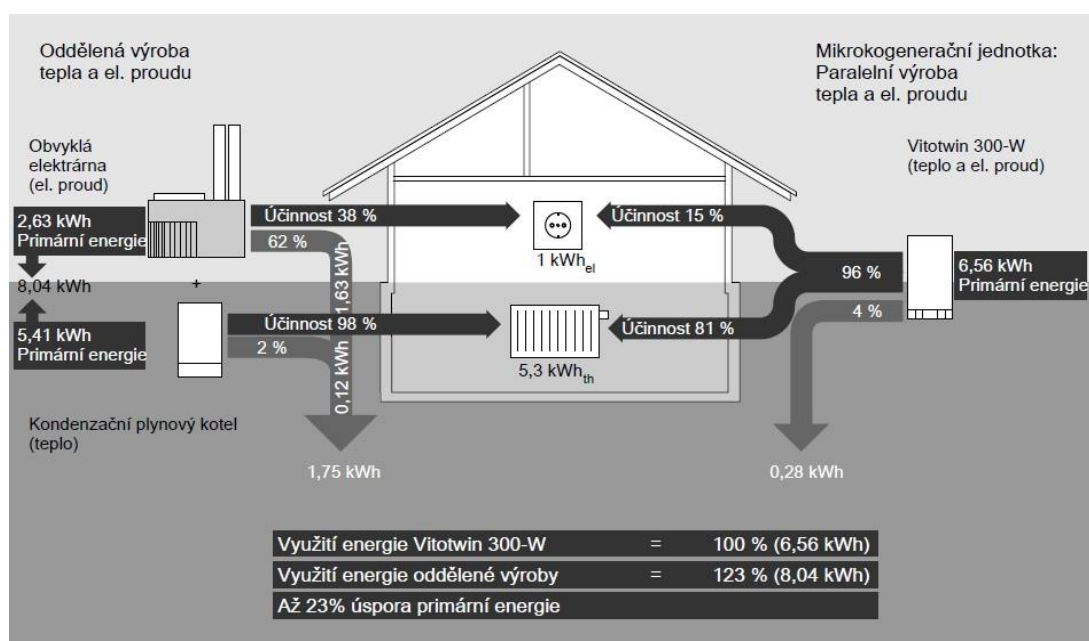
hořákem a ve spodní části opět ochlazováno. Teplo vytvořené prstencovým hořákem je prostřednictvím lamel přenášejících teplo odevzdáváno hlavě motoru. Mezi horkou a studenou oblastí motoru se nachází zásobník tepla. Horní výtlačný píst posunuje hélium střídavě mezi horkou a studenou oblastí tam a zpět. Tlakový rozdíl způsobený rozpínáním hélia pohybuje spodním pracovním pístem, jehož kinetická energie je v generátoru přeměňována na elektrickou energii. Odpadní teplo Stirlingova motoru se dostane do výše umístěného výměníku tepla kotle pro pokrytí špičkových zatížení a je prostřednictvím topné vody používáno k vytápění místností a ohřevu pitné vody. Prstencový hořák motoru a kotel pro pokrytí špičkových zatížení jsou zásobeny společným plynovým potrubím a mají společný systém odvodu spalin. [9]



- A) Hlava motoru
- B) Výtlačný píst
- C) Regenerátor
- D) Prostor chlazený vodou
- E) Pracovní píst
- F) Generátor

Obrázek 13: Stirlingův motor [9]

### 3.2.3 Úspora energie



Obrázek 14: Účinné využití energie [9]

Pokud by tepelná energie byla odebírána po celý rok ve větším množství než jen na ohřev vody, jeví se nasazení KJ jako výhodné a úspora energie je značná, viz *obrázek 14*. Pokud by však v letních měsících teplo nebylo efektivně odebíráno, účinnost značně klesne a KJ začne být velice nevýhodnou volbou pro dodávku energie. V mém případě by se nasazení KJ mohlo projevit jako výhodné, jelikož je k domu plánován venkovní bazén.

### 3.3 Řízení jednotky

Regulace KJ je zcela automatizovaná hlavně díky venkovním a ponorným čidlům. Lze nastavit denní či týdenní program nebo také snadným způsobem přenastavit místním či dálkovým systémem. Ovládání na dálku lze provádět přes internet pomocí aplikace v chytrých mobilních telefonech. Díky této aplikaci lze také sledovat technický stav jednotky a její chod, čímž můžeme předcházet poruchám. Ke KJ je také dodáván bezdrátový regulátor. Na KJ se nachází display s tlačítky, díky kterým lze také jednotku ovládat.[9]

### 3.4 Pořízení kogenerační jednotky

Od pořízení KJ může odradit hlavně vysoká cena, která je v tomto případě přibližně 400 000Kč. To je 10krát více než za plynový kondenzační kotel. Další obrovskou nevýhodou je množství administrativních úkonů, které musí zájemce o KJ vykonat.

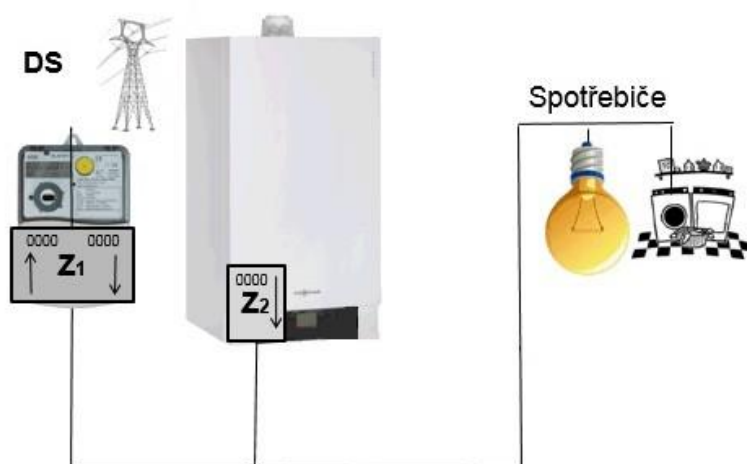
Jedná se například o:

- Žádost o připojení zdroje k distribuční soustavě
- Licenci na výrobu elektrické energie
- Osvědčení o původu elektřiny z KVET
- Registraci na trhu s elektřinou
- Osvědčení o ověření měřidla
- Žádost o tzv. Zelené bonusy
- Smlouvu na výkup elektrické energie

Firma Tedom tyto důležité kroky zaznamenala do dokumentu Rukověť zájemce o kogenerační jednotku, ten je přístupný na jejich webových stránkách [www.kogenerace.tedom.com](http://www.kogenerace.tedom.com) . [10]

Výhodou však je, že nebude nutné v domě dělat nákladné úpravy, jelikož si vše bude přizpůsobeno už při výstavbě. Minimální životnost KJ je stanovena na více než 50 000 provozních hodin, což při běžném provozu znamená více než 10let.

K umístění KJ slouží technická místnost v podzemním podlaží. Jelikož se jedná o novostavbu, všechny potřebné rozvody mohou být jakkoliv přizpůsobeny. K připojení však nepotřebujeme žádné speciální prvky. Připojení plynu, hydrauliky, odvod spalin i kondenzátu je totožný s plynovým kondenzačním kotlem.



Obrázek 15: Elektrické připojení

Ač je v KJ zabudovaný elektroměr výroby, na obrázku 15 označen jako Z2, pro připojení k distribuční síti je nutné použít obousměrný třífázový elektroměr, na obrázku 15 označený jako Z1. Ten počítá odběr i případné přetečení přebytků do veřejné sítě. Tento elektroměr musí být třífázový a cejchovaný dle předpisů distribuční sítě. Doporučen byl elektroměr od firmy EATON s označením KWZ4XB2-M. Jeho pořizovací cena je 6 044 Kč vč. DPH a je určen pro síť 3x230/400V. Tento elektroměr je schválený jako měřidlo pro platební styk s třídou přesnosti 1. [19]



Obrázek 16: Elektroměr KWZ4XB2-M [19]

## 4 Ekonomická bilance

Ekonomická bilance mi poslouží k vyhodnocení výhodnosti nasazení KJ do rodinného domu. Zahrnu do ní potřebné náklady, zisk z prodané elektrické energie i výši zeleného bonusu.

Pro další výpočty budu potřebovat znát hodnotu roční doby provozu kogenerační jednotky. To je doba, po kterou je nutný chod jednotky, aby pokryla roční potřebu tepla.

$$T_{max} = \frac{Q_r}{Q_{Tmax}} = \frac{20,6 \cdot 10^6}{26 \cdot 10^3} = 792 \text{ h} \quad (9)$$

kde  $T_{max}$  – roční doba provozu KJ [h]

$Q_r$  – roční spotřeba tepelné energie, viz *tabulka 3* [Wh]

$Q_{Tmax}$  – maximální tepelný výkon KJ, viz *tabulka 4* [Wh]

### 4.1 Náklady na palivo

Aby bylo možné vyčíslit roční náklady na palivo, musím nejprve vypočíst dílčí hodnoty, ze kterých poté budu vycházet. Roční spotřeba plynu se vypočítá z *rovnice 10*. Tuto veličinu musím přepočítat dle *rovnice 11* na hodnotu dodané energie plynu v kWh, ve kterých je uváděna cena plynu.

$$V_p = T_{max} \cdot V_{max} = 792 \cdot 2,61 = 2067,12 \text{ m}^3/\text{h} \quad (10)$$

kde  $V_p$  – roční spotřeba plynu KJ [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$V_{max}$  – spotřeba zemního plynu, viz *tabulka 4* [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$$Q = V_p \cdot H_s = 2067,12 \cdot 10,5 = 21705 \text{ kWh} \quad (11)$$

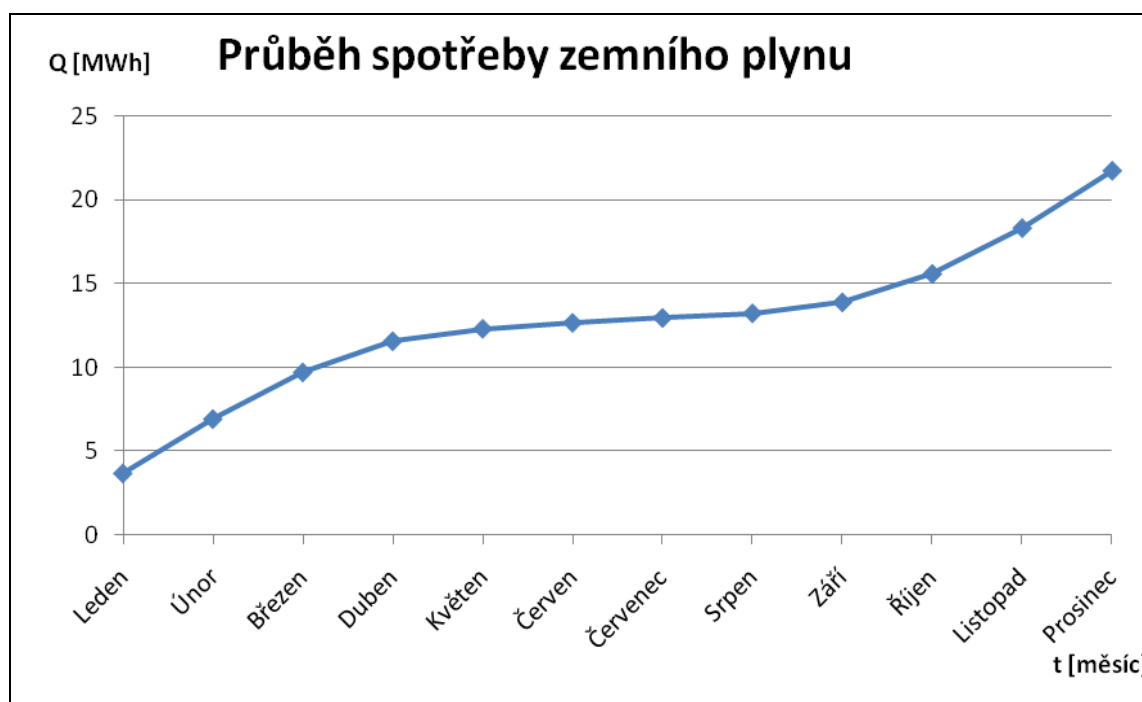
kde  $Q$  – energie dodaná plynem [kWh]

$H_S$  – teplo získané dokonalým spálením  $m^3$  zemního plynu  
(při  $15^\circ\text{C}$  a  $101,325\text{ kPa}$ ) [ $\text{kWh}/m^3$ ] [12]

Dodavatel zemního plynu byl vybrán z dostupných společností pro Plzeňský kraj, které nabízejí uzavření smlouvy na dobu neurčitou. V neposlední řadě se brala v potaz cena za zemní plyn. Ta se pro dané území pohybuje od 1,03 do 1,81 Kč za kWh, což je velice markantní rozsah, který postřehneme hlavně při odhadu ceny za rok. Jako dodavatel pro mnou vybraný rodinný dům byla vybrána společnost Cabounion Bohemia, spol. s r.o. s produktovou řadou Cabounion Standart. Cena pro mou dodávku byla stanovena na 1,10 Kč za kWh vč. DPH. Tato nabídka se pohybovala mezi levnějšími, avšak nebyla úplně nejlevnější. K výběru pomohla také ochota a rychlost poskytnutí informací od dané společnosti a také pozitivní zkušenosti zákazníků. [13]

<i>Dodávka plynu</i>	<i>Základ DPH [Kč]</i>	<i>DPH [Kč]</i>	<i>Celkem [Kč]</i>
Cena za distribuci	6 023,85	1 265,01	7 288,86
Obchod s plynem	13 709,82	2 879,06	16 588,88
Daň z plynu	0	0	0
<b><i>Celkem</i></b>	<b><i>19 733,67</i></b>	<b><i>4 144,07</i></b>	<b><i>23 877,74</i></b>

Tabulka 6: Roční náklady na palivo [13]



Graf 5: Roční průběh spotřeby zemního plynu [13]

## 4.2 Vyrobená elektrická energie

V kapitole 2.5 jsem určila, že odhadovaná roční spotřeba elektrické energie je 1,03 MWh. Pro další výpočty budu uvažovat o trochu více, a to 1,2 MWh. V rovnici 12 je určena vyrobená elektrická energie za rok v závislosti na roční spotřebě tepelné energie.

$$P_{el} = T_{max} \cdot P_{el,max} = 792 \cdot 1 = 792 \text{ kWh} \quad (12)$$

kde  $P_{el}$  – roční vyrobená elektrická energie [kWh]

$P_{el,max}$  – maximální elektrický výkon, viz *tabulka 4* [kW]

### 4.2.1 Využití elektrické energie

Elektrická energie může být využita pouze dvěma možnými způsoby. První možností je všechnu vyrobenou elektrickou energii prodat do sítě a potřebnou energii pak odkoupit od některého dodavatele zpět. Druhou možností je všechnu vyrobenou elektrickou energii spotřebovat pro vlastní využití a prodat pouze přebytek energie. V tomto případě by byla možnost využít zeleného bonusu.

### 4.2.2 Nákup elektrické energie

Z rovnice 13 lze vidět, že vlastní výrobou se nepokryje celoroční spotřeba. Proto při nákupu elektrické energie připadají dvě možné varianty. Buď je možné odkupovat elektřinu na pokrytí celé roční spotřeby a nebo jen část kterou nejsme schopni vyrobit.

$$P_{eln} = P_{el} - P_{elr} = 792 - 1200 = -408 \text{ kWh} \quad (13)$$

kde  $P_{eln}$  – roční nadbytek/nedostatek elektrická energie [kWh]

$P_{elr}$  – roční spotřeba elektrické energie [kWh]

Dodavatelem elektrické energie byla vybrána společnost ČEZ a.s. Tato společnost byla zvolena hlavně proto, že by od nás elektrickou energii i odkupovala. Také nabízí smlouvu na dobu neurčitou, což je také výhodou. Průměrná cena za kWh vč. DPH při spotřebě 1,2

MWh/rok se stanovila na 5,3 Kč. V *tabulce 7* jsou zaneseny roční náklady na elektřinu, pokud by byla zvolena možnost odkupu celé dodávky od společnosti ČEZ. Zároveň v *tabulce 8* je zanesena cena za elektrickou energii, pokud by byla odkupována jen potřebná část, na kterou výroba nestačí. Tam se však cena za kWh zvýšila na 6 Kč vč. DPH a to z důvodu nižšího množství odebírané energie. [13]

<i>Dodávka elektřiny</i>	<i>Základ DPH [Kč]</i>	<i>DPH [Kč]</i>	<i>Celkem [Kč]</i>
Obchod s elektřinou	1 712,24	359,57	2 071,82
Regulovatelné služby	3 543,13	744,06	4 287,19
<b><i>Celkem</i></b>	<b><i>5 255,38</i></b>	<b><i>1 103,63</i></b>	<b><i>6 359,00</i></b>

*Tabulka 7: Roční náklady na elektřinu (plné pokrytí) [13]*

<i>Dodávka elektřiny</i>	<i>Základ DPH [Kč]</i>	<i>DPH [Kč]</i>	<i>Celkem [Kč]</i>
Obchod s elektřinou	626,45	131,55	758,00
Regulovatelné služby	1 399,34	293,86	1 693,20
<b><i>Celkem</i></b>	<b><i>2 025,79</i></b>	<b><i>425,42</i></b>	<b><i>2 451,20</i></b>

*Tabulka 7: Roční náklady na elektřinu (částečné pokrytí) [13]*

#### 4.2.3 Odkup elektrické energie

Cena za výkup elektrické energie je velice nízká. Pohybuje se kolem 0,3 Kč/kWh. Přesnou cenu však stanoví společnost ČEZ, která bude elektřinu odkupovat. V *rovnici 14* je uveden možný zisk, který je možno získat při prodeji celého množství vyrobené elektrické energie do distribuční sítě.

$$Z_{el} = P_{el} \cdot 0,3 = 792 \cdot 0,3 = 237,6 \text{ Kč} \quad (14)$$

kde  $Z_{el}$  – zisk za prodej elektrické energie [Kč]

#### 4.2.4 Zelený bonus

Zelený bonus je dotační program na veškerou vyprodukovanou elektrickou energii pro obnovitelné zdroje a KVET. Výši zelených bonusů stanovuje každý rok Energetický regulační úřad z vyhlášky č. 453/2012 Sb. V té jsou stanoveny podmínky získání podpory pro KVET a také výkupní ceny pro daný rok. Podmínkou nároku na podporu KVET je splnění úspory primární energie. Pro KJ s výkonem do 1 MW je nutné prokázat úsporu primární energie více než 0%. Pro jednotky s vyšším instalovaným výkonem musí být úspora primární energie 10% a více.

<i>Druh energie</i>	<i>Instalovaný výkon [kW]</i>	<i>Provozní hodiny [h/rok]</i>	<i>Zelené bonusy [Kč/MWh]</i>
<i>Elektrina z KVET</i>	0 – 200	3 000	1 580
	0 – 200	4 400	1 115
	0-200	8 400	215

Tabulka 10: Sazba zeleného bonusu

Jak lze vidět z *tabulky 10* další nutnou podmínkou nárokování zeleného bonusu je splnění provozních hodin KJ. Nekratší přípustná doba je 3 000h/rok. Tuto podmínku pro tento případ není možno splnit. Kdyby byla KJ zatěžována více, dosahovala by sice cílených 3 000h, ale bylo by vyrobeno velké množství elektrické energie, ale také tepelné energie. Elektrickou energii by bylo možné prodat do distribuční sítě, ale tepelná energie by se neměla jak hospodárně využít.

## 5 Bilance výhodnosti nasazení kogenerační jednotky

Ekonomická bilance prokázala, že je vhodnější vyrobenou elektrickou energii spotřebovat pro vlastní využití a zbylou potřebnou energii dokoupit z distribuční sítě. Tuto bilanci budu porovnávat s bilancí pro plynový kondenzační kotel. Pro lepší srovnání budu uvažovat stejné podmínky pro oba způsoby zásobení domu. Tudiž bilance bude uvažována pro dobu 15 let s neměnnou cenou za plyn i elektřinu. Náklady na stavební úpravy nebudou započítány, jelikož obě varianty mají stejné připojení. Bilance pro nasazení KJ je vyčíslena v *tabulce 11*.

<i>Roční bilance</i>		
<i>Náklady</i>	Kogenerační jednotka	26 667 Kč
	Elektroměr	403 Kč
	Palivo	23 878 Kč
	Elektrická energie	2 452 Kč
<i>Zisk</i>	Prodej elektrické energie	0 Kč
<i>Celkem</i>		<b>-53 400 Kč</b>
<b>Bilance za 15 let</b>		
<b>-801 000 Kč</b>		

Tabulka 11: Bilance provozu kogenerační jednotky

### 5.1 Zásobování plynovým kondenzačním kotlem

Zásobování plynovým kondenzačním kotlem je velice úsporná a rozšířená varianta. Tento kotel byl vybrán na základě reálného požadavku majitele domu, který plánuje pořízení



plynového kondenzačního kotle pro vytápění rodinného domu. Jeho cena je v řádkách desetitisíců korun. Pro náš výpočet je zvolena pořizovací cena 35 000 Kč, což je jedna z dražších variant. Pro vyčíslení ročních nákladů na elektrickou energii můžeme vycházet z tabulky 7, kde je uvedena částka 6 359 Kč/rok. Pro vyčíslení nákladů na zemní plyn uvažujeme roční spotřebu 20,6 MWh. Tarif pro dodávku plynu uvažujeme stejný jako v kapitole 4.1, což je 1,10 Kč/kWh.

$$N_{zp} = P_{zp} \cdot 1,1 = 20\,600 \cdot 1,1 = 22\,660 \text{ Kč}$$

kde  $N_{zp}$  – náklady na zemní plyn [Kč]

$P_{zp}$  – roční spotřeba zemního plynu [kWh]

<b>Roční bilance</b>		
Náklady	Kondenzační kotel	2 333 Kč
	Zemní plyn	22 660 Kč
	Elektrická energie	6 359 Kč
Zisk		0 Kč
<b>Celkem</b>		<b>-31 352 Kč</b>
<b>Bilance za 15 let</b>		
<b>-470 285 Kč</b>		

Tabulka 12: Bilance provozu plynového kondenzačního kotle

## 5.2 Porovnání bilancí zásobování domu

Z tabulky 13 lze vidět, že provoz KJ je nákladnější nežli zásobování plynovým kondenzačním kotlem. Rozdíl za 15 let činí 330 715 Kč.

	<b>Kogenerační jednotka</b>	<b>Plynový kondenzační kotel</b>
Náklady	801 000 Kč	470 285 Kč
Zisk	0 Kč	0 Kč
<b>Celkem</b>	<b>-801 000 Kč</b>	<b>-470 285 Kč</b>

Tabulka 13: Porovnání bilancí zásobování domu

## 5.3 Zhodnocení nasazení kogenerační jednotky

Finanční bilance byla provedena pouze na základě návratnosti investice. V mém případě se počáteční investice nikdy nevrátí. A to z důvodu, že jsem se rozhodla vyrobenou elektrickou energii neprodávat a tím nedosahuji žádných zisků. Bohužel pořizovací cena KJ je

stále příliš vysoká, a proto dosahuji v celkové bilanci vyšších záporných čísel, než je tomu u varianty zásobení s plynovým kondenzačním kotlem. Kdybych do bilance nezapočítávala počáteční náklady na pořízení, dostala bych pouze výši čistých nákladů na provoz zařízení po dobu 15 let. V mém případě bych dosahovala příznivějších čísel. Náklady na provoz KJ by se dostali na částku 394 956 Kč a pro plynový kotel by se při stejném postupu hodnota stanovila na 435 285 Kč. Z čehož vyplývá, že pokud by pořizovací cena KJ byla nižší, bylo by nasazení KJ do rodinného domu ekonomicky výhodnější. Do budoucna předpokládám, že KVET bude více rozšířená a tím i klesne pořizovací cena KJ. Druhou možností jak dosáhnout lepší návratnosti by bylo stanovení větší částky za výkup elektrické energie. V minulých letech tomu tak bylo a tím pádem by bylo možné dosáhnout až na kladná čísla v ekonomické bilanci. Tuto možnost však nemůžu brát v potaz, jelikož v posledních letech cena za výkup přebytků elektrické energie strmě klesá.

## **Závěr**

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo zhotovení energetické bilance rodinného domu a zvážení nasazení kogenerační jednotky pro zásobení tohoto domu. Pro vyhotovení této práce jsem musela důkladně nastudovat problematiku kombinované výroby elektrické a tepelné energie a metody, díky kterým jsem stanovila energetickou bilanci domu. Při spolupráci s firmou zabývající se výrobou kogeneračních jednotek jsem se dozvěděla mnoho užitečných rad z praxe, které mi napomohly k vhodnému výběru kogenerační jednotky pro zásobení tepelné a elektrické energie mnou vybraného rodinného domu.

Jak se dalo předpokládat nasazení kogenerační jednotky do rodinného domu je v tomto případě velice ekonomicky nevýhodné. Lepší volbou pro zásobení rodinného domu by bylo pořízení plynového kondenzačního kotle a odkup elektrické energie z distribuční sítě. Efektivnost provozu KJ by však byla přijatelná, jelikož v letních měsících by tepelná energie byla spotřebována pro ohřev vody v bazénu.

Myšlenka kombinované výroby tepelné a elektrické energie je velice zajímavá ale bohužel pro využití v domácnosti velice ekonomicky nepřipustná. Lepší uplatnění by našla při zásobení škol, hotelů, panelových domů, aquaparků nebo například v teplárnách. Hlavní nevýhodou pro možnost většího rozšíření jsou velice vysoké investiční náklady na pořízení oproti například již zmiňovanému plynovému kondenzačnímu kotli.

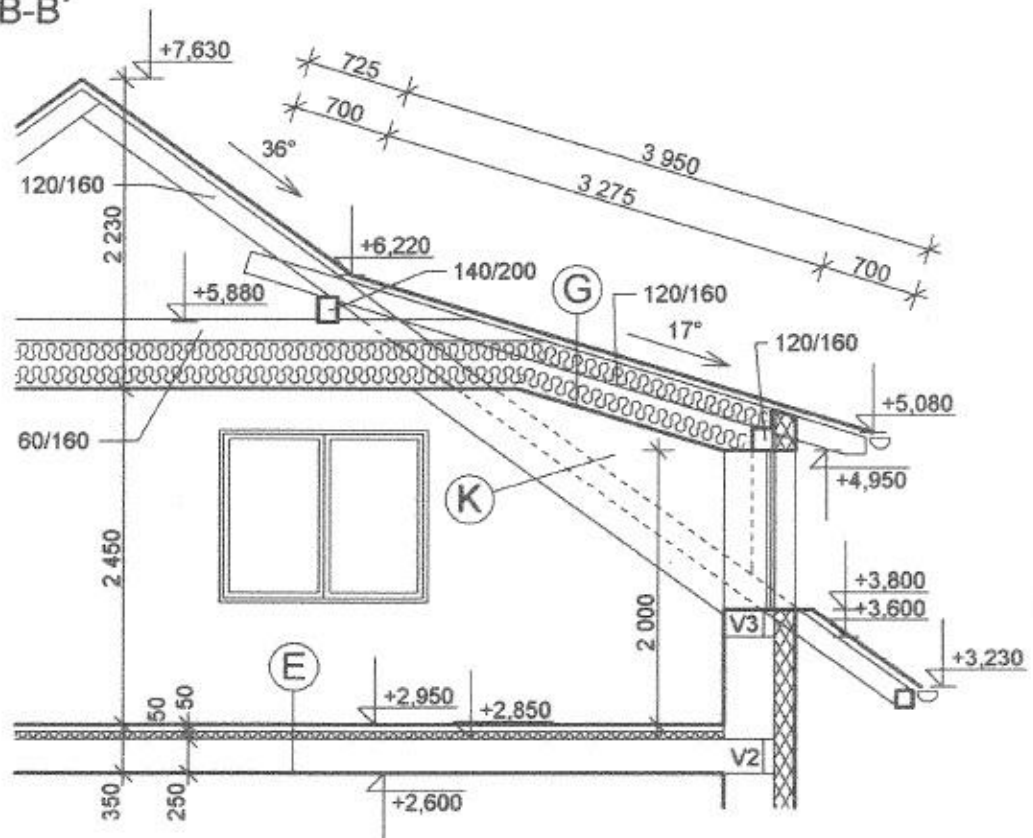
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DVORSKÝ, Emil, HEJTMÁNKOVÁ, Pavla a TŮMA, Ivan. *Optimalizace a spolehlivost využívání kogeneračních jednotek*. In: *The effective use of physical theories on conversion of energy 2002*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-872.
- [2] Ekowatt. *Energetická bilance domu* [online]. 2008 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/uspory/energeticka-bilance-domu.shtml>
- [3] DAHLSVEEN, Trond, HIRŠ, Jiří a PETRÁŠ, Dušan. *Energetický audit budov*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. 295 s. ISBN 80-88905-86-9.
- [4] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. 287 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [5] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. Kogenerační jednotky pro domácnosti. In: *KVET a dálkové zásobování teplem. Sekce IV., Možnosti a nástroje pro snižování nákladů na energii: odborná konference pořádaná v rámci akce Teplárenské dny 2007: 24.-26. duben 2007, Hradec Králové*. Hradec Králové: Garamon, 2007. s. 1-18.
- [6] TZBinfo. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [7] VIESSMANN. *Vitotwin 300-W* [prospekt]. 09/2015 [cit. 2016-05-28]. Dostupné na vyžádání z: <http://www.viessmann.cz>
- [8] E-shops.cz. *Vitotwin 300-W* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.vytapime.eu/vitotwin-300-w>
- [9] VIESSMANN. *Vitotwin – projekční návod* [prospekt]. 05/2015 [cit. 2016-05-28]. Dostupné na vyžádání z: <http://www.viessmann.cz>
- [10] TEDOM. *Dokumenty ke stažení - Rukověť zájemce o kogenerační jednotku* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com>
- [11] OTE, a.s. *Normalizované TDD* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz>
- [12] Ezemníplyn. *Výhřevnost zemního plynu - spalné teplo* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.ezemniplyn.cz/vyhrevnost-zemniho-plynu/>

- [13] TZBinfo. *Kalkulátor cen energií* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28].  
Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz>
- [14] PETRÁŠ, Dušan a kol. *Vytápění rodinných a bytových domů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. 246 s. Vytápění; sv. 3. Architektura, stavebnictví, bydlení. ISBN 80-8076-020-9.
- [15] Benvelop. *Obalové konstrukce budovy - Obálka budovy* [online]. 2010 [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.benvelop.com/obalka-budovy.php>
- [16] Zelená úsporám. *Slovníček pojmů* [online]. 2009 [cit. 2016-05-28].  
Dostupné z: <http://www.zelenausporam.cz/sekce/560/2/slovnicek-pojmu/technicke-termíny/>
- [17] DVORSKÝ, Emil. *Cvičení z předmětu MMEE* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28].  
Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dvorsky/MMEE/Cviceni.html>
- [18] Veolia. *Slovník pojmů* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28].  
Dostupné z: <http://www.veoliaenergie.cz/cz/zakladni-pojmy>
- [19] DK-Elvis. *Elektroměr KWZ4XB2-M* [online]. 2016 [cit. 2016-05-28].  
Dostupné z: <http://www.dk-elvis.eu/elektromery-3-fazove-prime/kwz4xb2-m/>



## ŘEZ B-B'



## LEGENDA

	POROTHERM 36,5 PROFI P10
	POROTHERM 19 AKU P10
	POROTHERM 11,5 PROFI P8
	TVÁRNICE ZBT 40 + BETON C 16/20 + VÝZTUŽ 4x V14/M VODOROVNĚ I SVISLE
	TVÁRNICE ZBT 30 + BETON C 16/20 + VÝZTUŽ 4x V14/M VODOROVNĚ I SVISLE
	KONTAKTNÍ ZATEPLOVACÍ SYSTÉM, POLYSTYRÉN EPS 100 F TL. 150 MM
	KONTAKTNÍ ZATEPLOVACÍ SYSTÉM, XPS TL. 100 MM

## SKLADBY KONSTRUKCÍ

**A** PODLAHA SUTERÉNU

- KERAMICKÁ DLAŽBA 10 MM
- BETON C 20/25 90 MM
- PE FÓLIE
- PODLAHOVÝ POLYSTYRÉN EPS 150 Z TL. 50 MM
- LEPENKA BITALBIT S
- LEPENKA BITUBITAGIT
- PODKLADNÍ BETON C 16/20 SE SÍTÍ 100 MM
- PODKLADNÍ ŠTĚRK 16/63 150 MM

**B** STĚNA SUTERÉNU

- BETONOVÁ STĚNA SUTERÉNU
- LEPENKA BITALBIT S
- LEPENKA BITUBITAGIT
- XPS 100 MM
- NOPOVÁ FÓLIE

**C** PODLAHA PŘÍZEMÍ

- NÁŠLAPNÁ VRSTVA PODLAHY 10 MM
- ANHYDRITOVÁ LITÁ PODLAHA 40 MM
- PE FÓLIE
- PODLAHOVÝ POLYSTYRÉN TL. 100 MM
- LEPENKA BITALBIT S
- LEPENKA BITUBITAGIT
- PODKLADNÍ BETON C 16/20 SE SÍTÍ 100 MM
- PODKLADNÍ ŠTĚRK 16/63 150 MM

**D** STROP NAD 01.PP

- NÁŠLAPNÁ VRSTVA PODLAHY 10 MM
- ANHYDRITOVÁ LITÁ PODLAHA 40 MM
- PE FÓLIE
- PODLAHOVÝ POLYSTYRÉN TL. 100 MM
- STROP BSK STANDARD 250 MM
- OMÍTKA

**E** STROP NAD 1.NP

- NÁŠLAPNÁ VRSTVA PODLAHY
- ANHYDRITOVÁ LITÁ PODLAHA 40 MM
- PE FÓLIE
- STYROFLOOR T4 50 MM
- STROP BSK STANDARD 250 MM
- OMÍTKA

**F** STŘECHA OBJEKTU

- KRYTINA BRAMAC
- LATĚ + KONTRALATĚ
- PODSTŘEŠNÍ KONTAKTNÍ DIFÚZNÍ FÓLIE
- KONSTRUKCE KROVU
- MINERÁLNÍ VATA 300 MM MEZI A PŘES KROKVE
- PAROTĚSNÁ ZÁBRANA
- SDK PODHLED (DLE POŽ. ZPRÁVY)

**G** STŘECHA OBJEKTU - VIKÝŘ

- KRYTINA BRAMAC
- LATĚ + KONTRALATĚ
- PODSTŘEŠNÍ VODOTĚSNÁ DIFÚZNÍ FÓLIE
- PRKENNÉ BEDNĚNÍ
- KONSTRUKCE KROVU
- MINERÁLNÍ VATA 300 MM MEZI A PŘES KROKVE
- PAROTĚSNÁ ZÁBRANA
- SDK PODHLED (DLE POŽ. ZPRÁVY)

**K** STĚNA VIKÝŘE

- KONTAKTNÍ ZATEPLOVACÍ SYSTÉM
- OSB DESKA 19 MM
- PE FÓLIE
- MINERÁLNÍ VATA V KCI STĚNY VIKÝŘE
- PE FÓLIE
- SDK

**H** OKAPOVÝ CHODNÍK

- KAČÍREK 160 MM

**I** POCHOZÍ PLOCHY VNĚJŠÍ

- BETONOVÁ DLAŽBA 60 MM
- KLADECÍ LOŽE 30 MM
- ŠTĚRKODRŤ 170 MM

**J** POJÍZDĚNÉ PLOCHY VNĚJŠÍ

- BETONOVÁ DLAŽBA 80 MM
- KLADECÍ LOŽE 30 MM
- ŠTĚRKODRŤ 170 MM
- ŠTĚRKODRŤ 180 MM