

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## KOGENERAČNÍ JEDNOTKA

COGENERATION POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN PTÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2008

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá zásobováním tepelné a elektrické energie malého rodinného domu, spalujícího zemní plyn. První část je obecná, věnována kogenerační technologii, nejvíce však kogenerační jednotce na bázi spalovacího motoru. V druhé části se zabývám energetickou bilancí budov. Část třetí a čtvrtá je již věnována konkrétnímu výpočtu vhodnosti nasazení kogenerační jednotky do malého rodinného domu. Kvůli malému finančnímu rozdílu a vysokým investičním nákladům, při tak malé spotřebě tepla a elektřiny je tato technologie pro dané použití nevhodná.

## Klíčová slova

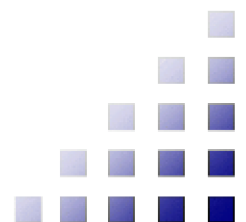
Kogenerace, kogenerační jednotky, mikro-kogenerace, pístový spalovací motor, vytápění

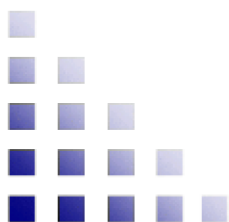
## Abstract

This bachelor thesis deals with heat and power supply of the family house, which uses natural gas. The first part reveals cogeneration technology in general, especially cogeneration unit based on gas-engine (internal combustion engine). In the second part, the thesis focuses on energy budget (power-balance sheet) issue. Finally, the third and fourth chapter, deal with particular calculation of usability of cogeneration unit in the small family house. Due to a small final financial difference and large investment costs, with such a low heat and power consumption, this technology is unsuitable for this type of usage.

## Keywords

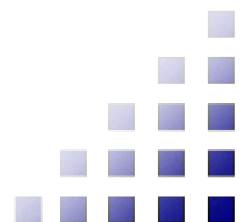
Cogeneration, cogeneration unit, mikroCHP, reciprocating engine, heating





## Bibliografická citace

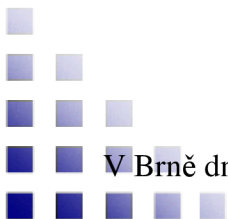
PTÁČEK MARTIN, Kogenerační jednotky. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.





## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato bakalářská práce, na téma Kogenerační jednotka, je mým prvotním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně s použitím uvedených podkladů. Všechny tyto zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal jsou řádně označeny.



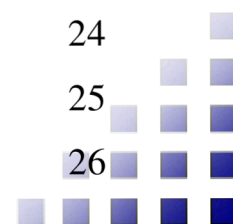
V Brně dne 23.června 2008

.....

Podpis

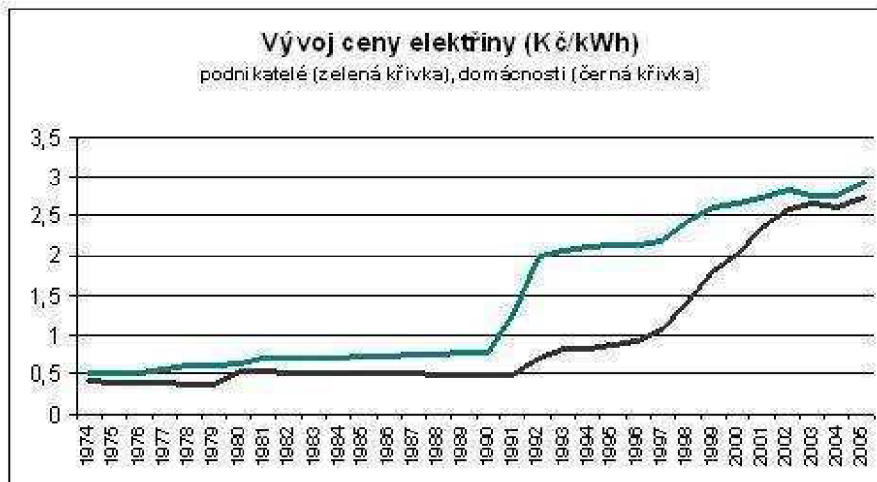
## Obsah

1. Úvod.....	8
1.1 Kogenerace, úspora primárních paliv.....	9
1.2 Rozdělení kogeneračních jednotek a místo použití.....	10
1.3 Kogenerační jednotky s pístovými spalovací motory.....	12
2. Energetická bilance budov.....	14
2.1 Energetická náročnost budov .....	15
3. Energetická bilance kogenerační jednotky .....	16
3.1 Popis objektu.....	16
3.2 Spotřeba energií.....	16
3.3 Výběr velikosti kogenerační jednotky.....	16
3.4 Výpočet hodin, které musí motor běžet.....	17
3.5 Roční spotřeba paliva.....	18
3.6 Roční produkce elektřiny.....	18
4. Ekonomické vyhodnocení energetické bilance kogenerační jednotky	19
4.1 Náklady na palivo .....	19
4.2 Ušetření za nákup elektrické energie.....	20
4.3 Stanovení prodejní ceny elektrické energie.....	20
4.4 Výnos za prodej elektrické energie.....	21
4.5 Celková finanční bilance.....	21
4.6 Porovnání nákladů na vytápění.....	22
4.7 Zhodnocení celkové finanční bilance .....	23
5. Závěr.....	24
Seznam použitých zdrojů.....	25
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	26



## 1. Úvod

Vývoj ceny paliv a energie je od listopadu 1989 až do současnosti v ČR stále stoupající (s výjimkou krátkodobých poklesů, způsobených vývojem měn a dalšími faktory, které byly po krátké době překonány dalším tímto dlouhodobým trendem). Před rokem 1989 byl růst cen byl pomalý, vyvolaný konzervovaností trhu s energiemi a komunistickou idejí levé elektřiny pro všechny.

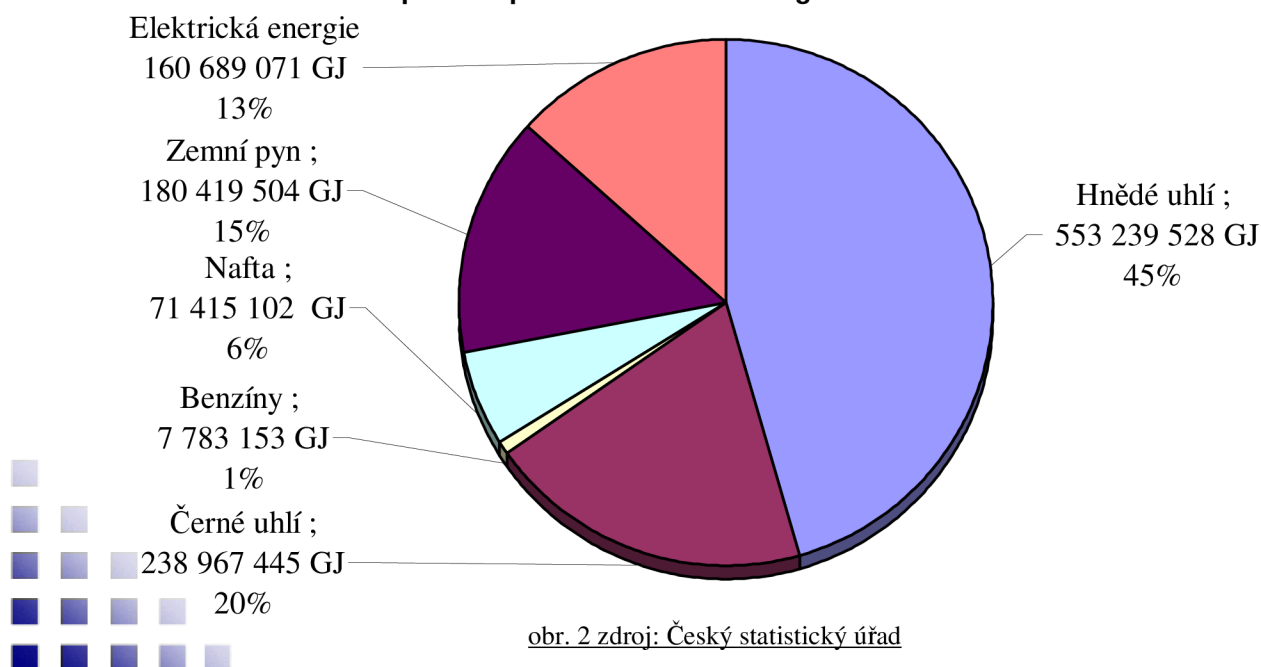


obr. 1 zdroj: <http://finweb.idnes.cz>

Růst cen fosilních paliv je zapříčiněn zvyšující se poptávkou a omezeností jejich zdrojů. Poptávka po palivech a energii roste rychleji v důsledku technického rozvoje naší společnosti, která je orientována na čím dál větší spotřebu. Dalším faktorem zvyšujícím cenu energii jsou rychle rostoucí ekonomiky, které ke svému rozvoji potřebují velké dodávky ropy a plynu (např. Čína a Indie). Čína je největší výrobce i spotřebitel uhlí na světě. Podíl obnovitelných zdrojů ve světové ekonomice či energetice je zatím velmi malý, prakticky zanedbatelný.

Udržitelný rozvoj lidstva při zachování dosavadní spotřeby fosilních paliv nebo dokonce jejím snížení zůstává neuskutečněným snem. Obnovitelné zdroje energii tvoří jen malý podíl světové produkce energii

### Spotřeba paliv a elektrické energie v ČR za rok 2006

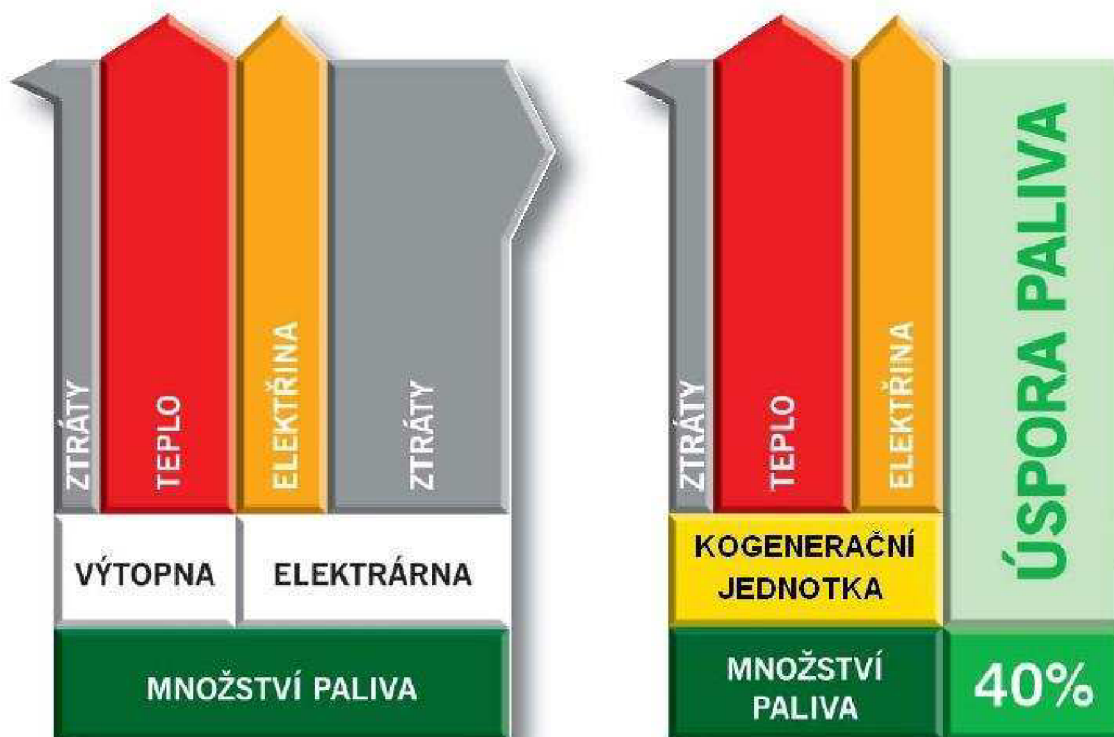


obr. 2 zdroj: Český statistický úřad

## 1.1 Kogenerace, úspora primárních paliv

Pojem kogenerace kolem slyšíme u nás čím dál častěji. Přesto, že se jedná o cizí slovo přejaté ze slova co-generation, dokonale vystihuje podstatu procesu, který vyjadřuje kombinovanou výrobu energií a to, elektrické a tepelné energie. Typicky české výrazy jako jsou teplárny, teplárenská výroba jsou zavádějící a proto je pojem kogenerace již zcela zabydlený.

Smysl kogenerace spočívá v získání maximální účinnosti při získávání energie z paliva. Účinnost transformace může dosahovat až 80-90 procent. Další výhodou je umístění výroby blízko místa energetického využití. Ztráty vzniklé dopravou energií se tím minimalizují. Získávání energie přímo v místě spotřeby snižuje ztráty při dodávkách tepla a výrazně podporuje nejrůznější kogenerační systémy. Výroba tepla v místě její spotřeby nám dává větší šanci spoлеhnout se sami na sebe, a tudíž mít energii neustále k dispozici.



obr. 3 zdroj: <http://www.tedom.cz>

Kogenerační jednotky současné výroby splňují přísné emisní normy. Oproti klasické výrobě tepla a elektřiny výrazně snižují emise  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  i  $\text{CO}_2$  v důsledku snížení spotřeby primárních zdrojů a plynofikaci elektřiny. Při použití zemního plynu vzniká daleko méně škodlivin. Prach a oxid siřičitý jsou ve spalinách obsaženy v zanedbatelném množství a také emise oxidu uhelnatého a uhlovodíků jsou ve srovnání s ostatními palivy výrazně nižší. Ve srovnání s ostatními palivy má zemní plyn velkou výhodu - neobsahuje dusíkaté látky. Takže oxidy dusíku vznikají jen ze vzdušného dusíku. Jejich tvorba je závislá na způsobu spalování, čím je větší tím je produkce  $\text{NO}_x$  vyšší. Jako každé uhlíkaté palivo je zemní plyn zdrojem oxidu uhličitého, který je označován za látku, která přispívá ke skleníkovému efektu. Při srovnání s ostatními palivy na uvolněnou jednotku tepla vzniká při spalování zemního plynu

- o 40 až 50 % méně  $\text{CO}_2$  ve srovnání s tuhými palivy
- o 30 až 35 % méně  $\text{CO}_2$  ve srovnání s kapalnými palivy

## 1.2 Rozdělení kogeneračních jednotek a místo použití

Kogenerační technologie jde rozdělit podle mnoha hledisek. Základním prvkem, určujícím typ kogenerační technologie, je primární jednotka.

- Kogenerační jednotky se spalovacími motory
- Kogenerační jednotky se spalovacími turbínami
- Kogenerační jednotky s parními turbínami
- Kogenerační jednotky s motory stirling

Funkční prototyp stirlingova motoru vyvíjený firmou TEDOM



obr. 4 zdroj: <http://www.tedom.cz>

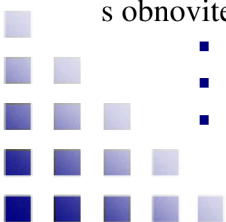
Kogenerační technologie jde dále dělit podle

- použitého primárního paliva
- maximálního dosažitelného výkonu
- způsobu instalace
- účelu využití
- samotné technologie a efektivnosti KJ

Každá kogenerační jednotka může pracovat s určitým typem paliva. Pokud pracuje s více druhy paliv a ty patří jak do skupiny obnovitelných zdrojů a i do skupiny neobnovitelných zdrojů, nazývá se taková jednotka hybridní. Podle fyzikálního rozdělení se může jednat o palivo pevné, kapalně, plynné

Podle primárního paliva jde kogenerační technologie rozdělovat na ty, které pracují s obnovitelnými zdroji. Obnovitelné primární zdroje jsou nefosilní zdroje energie.

- Energie slunce
- Geotermální energie
- Biomasa





Kogenerační jednotky, které pracují s neobnovitelnými zdroji spotřebovávají fosilní paliva. Jejich zásoba se ale neustále zmenšuje.

Maximální dosažitelný výkon je jistě hlavní hledisko při výběru jednotky. Kogenerační jednotky mají široké výkonové rozmezí od 1 KW do 500 MW elektrické energie. Výkonová hladina definuje kogenerační výrobu jako:

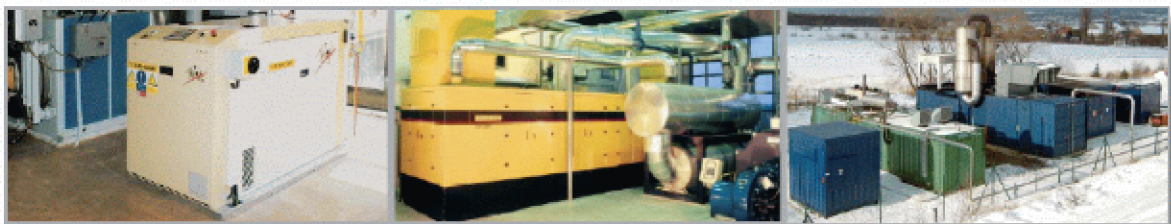
- Mikro-kogenerace (do výkonu 50 KW)
- Mini-kogenerace (do výkonu 500 KW)
- Kogenerace malého výkonu do 1 MW
- Kogenerace středního výkonu do 50 MW
- Kogenerace velkého výkonu nad 50 MW

Dělení dle účelu použití slouží k rozdělení kogenerační technologie na základě způsobu aplikace do distribučního systému budovy. Jedná se o pokrytí výkonu

- Záložního
- Základního
- Špičkového
- Rezervního
- Specifického

Ve způsobu instalace existují tři základní varianty

- Kapotované provedení – vhodné pro instalaci do budov. Vynikají nízkou hlučností, jednoduchostí a rychlostí instalace
- Modulové uspořádání – používá se u zařízení větších výkonů, výhodou je vysoká variabilita a možnost přizpůsobení. Jedná se o oddělení tepelného modulu a modulu generátoru
- Kontejnerové provedení – určeno pro instalaci mimo obytné a průmyslové budovy



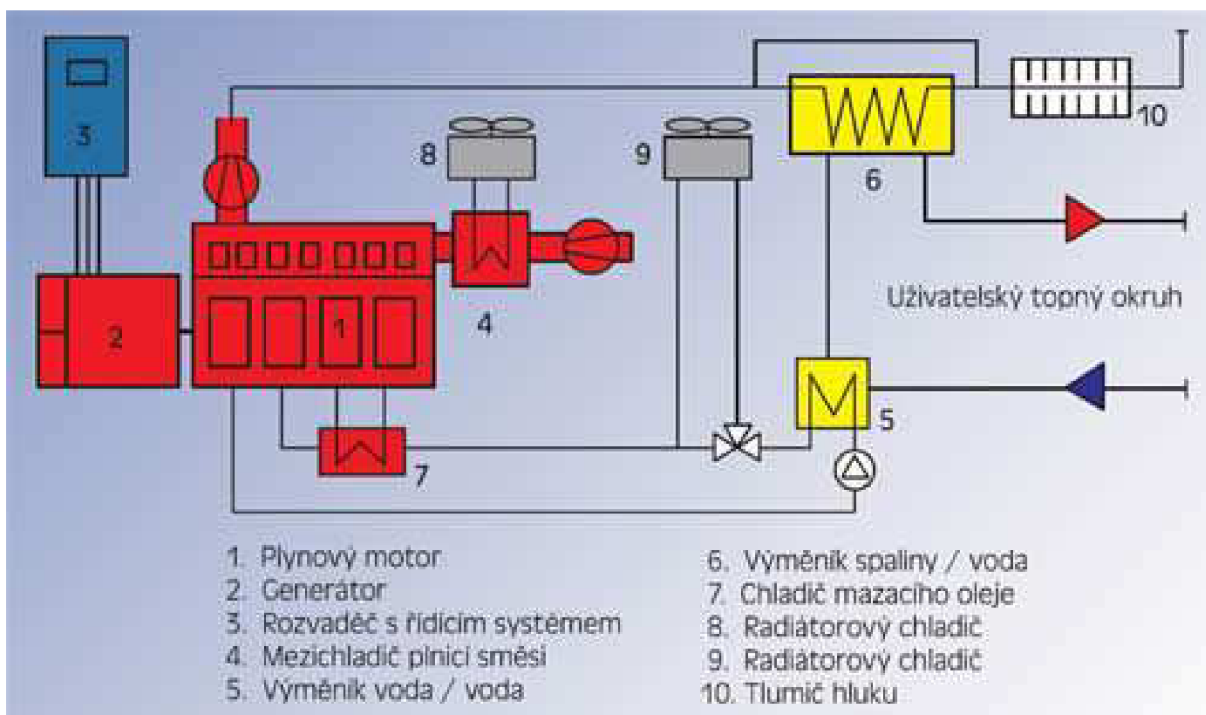
obr. 5 zdroj: <http://www.tedom.cz>

### 1.3 Kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory

Kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory jsou nejčastěji používaným řešením k výrobě společně elektrické a tepelné energie. Jak pro nové zdroje tak pro rekonstrukci stávajících zdrojů. Nejčastěji se jednotka se spalovacím motorem skládá:

- Plynový zážehový motor
- Asynchronní / synchronní generátor
- Zařízení pro výrobu tepla – výměník voda/voda, výměník spaliny-voda, čerpadla, pojistné ventily, expanzní nádrž
- Systémy regulující plyn – plynový filtr, elektrický uzavírací ventil, manostaty
- Řídicí systém
- Kontejner

Schéma uspořádání hlavních částí kogenerační jednotky



obr. 6 zdroj: <http://www.ekowatt.cz>

Palivem pro spalovací motory může být jak zemní plyn, tak bioplyn, případně kalový plyn. S kvalitním spalovacím motorem a při dobrém odvádění tepla dosahuje účinnost teplárny 85-88 procent a to díky menší komínové ztrátě oproti teplárnám s plynovými turbínami. Teplo je pro vytápění získáváno chlazením motoru a ochlazováním výfukových plynů. Z motoru je teplo odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. Teplota chladicí vody na výstupu je obvykle 90 °C a teplota vody na vstupu do motoru musí být nižší než 75 °C z důvodu dobrého chlazení motoru. Teplota spalin na výstupu z motoru se pohybuje kolem 400 °C až 600 °C. Značnou výhodou kogeneračních jednotek se spalovacími motory je poměrně velký teplárenský modul

Přehled kogeneračních jednotek s různým druhem primárních jednotek

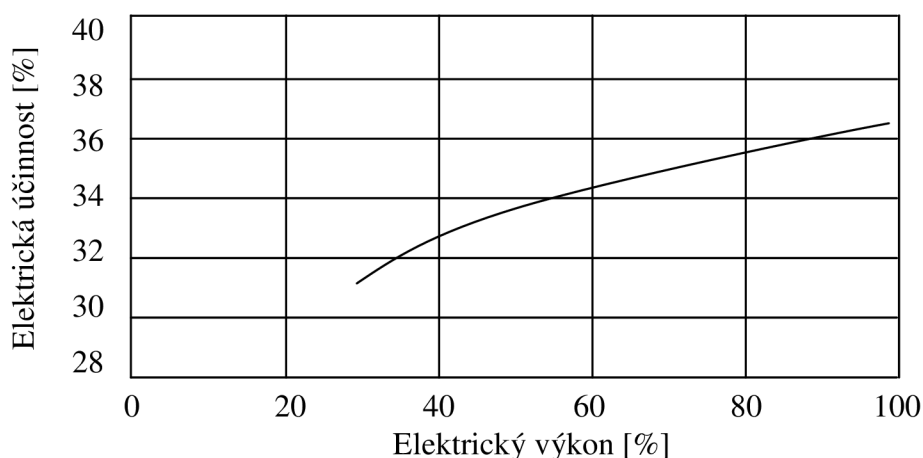
Typ primární jednotky	Podíl výroby elektřiny a tepla $P_{el} / P_{te}$	Účinnost elektrická	Účinnost tepelná	Účinnost celková	El. výkon teplárny
	( - )	( % )	( % )	( % )	( MW )
S parním strojem	0,16-0,25	8-12	60-67	68-87	0,1-2
S parními turbínami	0,24-0,34	12-15	60-65	72-80	0,15-100
Se spalovacími motory	0,7-1	32-41	44-53	82-90	0,1-10
Se spalovacími turbínami	0,5-0,8	23-38	36-50	68-85	2-100
Paro-plynové	0,5-1,5	35-44	32-50	78-87	5-200 a více

### Vliv změny parametrů

Výkon je úměrný otáčkám motoru. Čím jsou otáčky vyšší tím vyšší je i výkon. Rychloběžné motory malého výkonu jsou levnější v nákladech na investovanou kW, bohužel mají větší ztráty a zvyšují se náklady na opravu a údržbu z důvodu většího opotřebení materiálů.

### Vliv změny okolních podmínek

Vliv venkovních podmínek na účinnost spalovacích motorů není tak výrazný jako u plynových turbín. Se změnou nadmořské výšky o 100 m činí pokles elektrického výkonu o 1 %. Pokles účinnosti vlivem změny okolní teploty je asi 1 procento na 5,5 °C při teplotách nad 20°C.

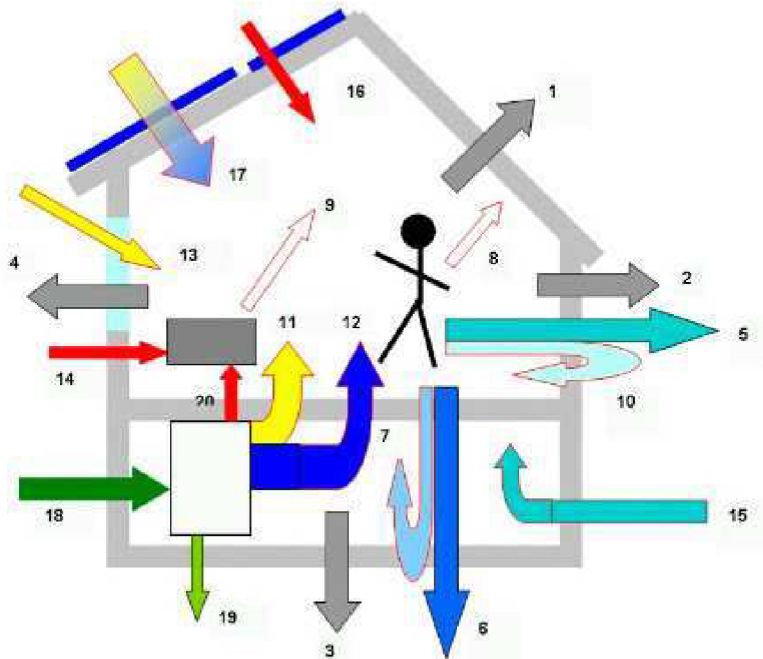


obr. 7 zdroj: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková



## 2. Energetická bilance budov

Základním nástrojem pro plánování energetické soběstačnosti je energetická bilance. Nejprve je třeba sečíst ztráty (potřeby). Dále je třeba zjistit zisky a míru jejich skutečného využití. Výsledný rozdíl je třeba krýt ze zdrojů energie. Při volbě zdroje je třeba zvážit technická a další omezení, způsob provozu a požadavky na komfort a spolehlivost.



obr. 8 zdroj: <http://uspory.ekowatt.cz>

### Ztráty

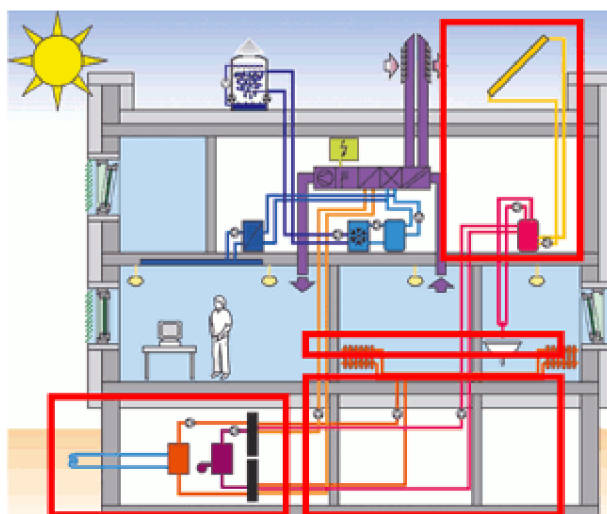
- 1- ztráty prostupem střechou
- 2- ztráty prostupem stěnami
- 3- ztráty prostupem podlahou
- 4- ztráty okny a prosklením
- 5- ztráty větráním
- 6- teplo pro ohřev vody

### Zisky

- 7- rekuperace tepla z odpadní vody
- 8- zisky od osob
- 9- zisky od spotřebičů
- 10- rekuperace tepla z odpadního vzduchu
- 11- dodávka tepla pro vytápění
- 12- dodávka tepla pro ohřev vody
- 13- pasivní solární zisky (okna, prosklení)
- 14- elektřina z vnějšího zdroje (vlastní elektrárna)
- 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

## 2.1 Energetická náročnost budov

K návrhu energetických bilancí RD slouží hodnocení energetické náročnosti budov. Doposud byly legislativní požadavky na hodnocení budov jen podle měrné spotřeby tepla na vytápění objektu. Kde jediné vlastnosti ovlivňující výsledné hodnocení byly tepelně technické vlastnosti. Dnes již vyhláška 148/2007 sb. Hodnotí energetickou náročnost budovy jako celkový součet dodané energie, tzn. spotřebované, ovlivňující všechny systémy, které se podílejí na výrobě a spotřebě dodané energie. Princip výpočtu respektuje základní toky energii. Energie je přeměněna ve zdroji energetického systému, následně je energie předána do distribučního systému budovy a ta je předána do jednotlivých systémů sdílení energie v různých zónách budovy.

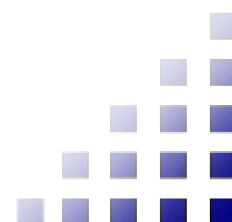


obr. 9 zdroj: <http://tzb.fcv.cvut.cz>

Základním ukazatelem ENB je roční dodaná energie. Roční dodaná energie je chápána jako součet všech dodaných energií do budovy, ať už z obnovitelných zdrojů nebo jiných. Celková dodaná energie představuje spotřebu pro

- vytápění
- chlazení
- vzduchotechniku
- přípravu teplé vody
- osvětlení
- provoz zařízení zajišťující provoz jednotlivých systémů

Energetická náročnost budovy se stanoví z těchto veličin výpočtovým modelem, který je vhodný jak pro projektování nových budov, tak k prvnímu hodnocení již postavené budovy.



## 3. Energetická bilance kogenerační jednotky

### 3.1 Popis objektu

Jedná se o malý rodinný dům v rekreační a zahrádkářské oblasti v Maloměřicích. Dům má dvě podlaží, každé o výměře 50m<sup>2</sup> s nevytápěným sklepem. Celková topná plocha je 100 m<sup>2</sup>. Dům je dřevostavba s vnitřní cihlovou zdí, určenou k akumulaci. S výhledem na rostoucí cenu energií je stavba dobře izolována. Výsledná tepelná náročnost by měla být 70 kWh/m<sup>2</sup> za rok tepelné energie, což odpovídá energetické třídě B. Odhad spotřeby elektrické energie se pohybuje v rozmezí 2-4 MW/ rok.

### 3.2 Spotřeba energií

Pro návrh spotřeby elektrické energie použijí součet spotřeby běžných spotřebičů v závislosti na délce jejich používání.

Spotřebič	Roční spotřeba
Chladnička a pultový mrazák (třída B)	650 kWh
Myčka (třída B)	460 kWh
Pračka (třída A)	220 kWh
Sušička (třída C)	735 kWh
Vaření (sporák, trouba, varná konvice)	580 kWh
TV s větší úhlopříčkou, video	250 kWh
Počítač (desktop, 2 h denně)	104 kWh
Hi-Fi	10 kWh
Osvětlení (klasické žárovky)	492 kWh
Ostatní (žehlička, fén, vysavač apod.)	490 kWh
Celkem	3991 kWh

Elektrická energie : 4 MW

Tepelná energie : 70 kWh/m<sup>2</sup>/rok \* 100m<sup>2</sup> = 7 MWh

### 3.3 Výběr velikosti kogenerační jednotky

Jedná se o velmi malou spotřebu energií a tak volím nejmenší kogenerační jednotku na českém trhu, TEDOM Micro T8 AP v kapotovaném provedení. O následujících parametrech :

Elektrický výkon : 8 kW

Tepelný výkon : 19 kW

Spotřeba zemního plynu : 3,15 m<sup>3</sup>/h

### 3. □ Výpočet hodin, které musí motor běžet

a) k dodání spotřeby elektrické energie

$$P_{el} = 8 \text{ kW}$$

$$Sp_{el} = 4000 \text{ kWh}$$

$$t_{mel} = \frac{Sp_{el}}{P_{el}} = \frac{4000}{8} = 500 \text{ h}$$

$t_{mel}$  – počet hodin, které musí motor běžet k dodání spotřeby elektrické energie

$P_{el}$  – elektrický výkon motoru

$Sp_{el}$  – spotřeba elektrické energie objektu za rok

K dodání spotřeby elektrické energie musí běžet motor 500 hodin ročně

b) k dodání spotřeby tepelné energie

$$P_{te} = \text{tepelný výkon motoru}$$

$$Sp_{te} = \text{spotřeba tepelné energie objektu za rok}$$

$$t_{mte} = \frac{Sp_{te}}{P_{te}} = \frac{7000}{19} = 368,2 \text{ h}$$

$t_{mte}$  – počet hodin, které musí motor běžet, k dodání spotřeby tepelné energie

$P_{te}$  – tepelný výkon motoru

$Sp_{te}$  – spotřeba tepelné energie objektu za rok

K dodání spotřeby tepelné energie musí běžet motor 368,2 hodin ročně

Nyní se dostávám ke dvěma variantám použití kogenerace

a) K uspokojení dodávky elektrické energie a přebytku tepla ve výši

$$P_{tep} = (t_{mel} \cdot P_{te}) - Sp_{te} = (500 \cdot 19) - 7000 = 2500 \text{ kWh}$$

$P_{tep}$  – přebytek tepla

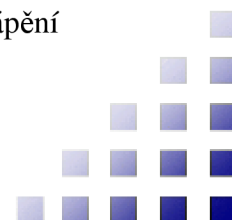
$P_{te}$  – tepelný výkon motoru

$t_{mel}$  – počet hodin, které musí motor běžet k dodání spotřeby elektrické energie

$Sp_{te}$  – spotřeba tepelné energie objektu za rok

Tento přebytek tepla by mohl být využit:

- Na pokrytí nepředpokládaných ztrát tepla
- Na vytápění bazénu, jehož stavba by byla možná v případě jeho vytápění přebytkovým teplem
- K vytápění dílny



b) K uspokojení dodávky tepelné energie a nedostatku elektrické energie ve výši

$$P_{e\ln} = (t_{mte} \cdot P_{el}) - Sp_{el} = (368,2 \cdot 8) - 4000 = 1054 \text{ kWh}$$

$P_{e\ln}$  – nedostatek elektrické energie

$P_{el}$  – elektrický výkon motoru

$t_{mte}$  – počet hodin, které musí motor běžet, k dodání spotřeby tepelné energie

$Sp_{el}$  – spotřeba elektrické energie objektu za rok

Spotřeba elektrické energie je v průběhu roku skoro konstantní, zatímco spotřeba tepelné energie je pouze 225 dní v roce. Spotřeba elektrické energie v těchto topných dnech činí 2465 kWh. Z toho vyplývá, že se nedostatek elektrické energie projeví v dnech kdy kogenerační jednotka není v provozu. Nedostatek elektrické energie bude pokryt z rozvodné sítě EON.

Z porovnání obou variant vychází praktičtější varianta b. Koupě elektrické energie je snazší než využívání tepelných přebytků, zejména v letních měsících. Kdy je potřeba motoru teplo odvádět nebo mu zajistit jiné chlazení.

### 3. □ Roční spotřeba paliva

$$V_{mot} = 3,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t_m = 368,2 \text{ h}$$

$$V_{pal} = V_{mot} \cdot t_m = 3,15 \cdot 368,2 = 1160 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

$V_{pal}$  – roční spotřeba zemního plynu

$V_{mot}$  – spotřeba paliva motoru

$t_m$  – roční počet hodin provozu kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka spotřebuje 1160 m<sup>3</sup> paliva za rok

### 3. □ Roční produkce elektřiny

$$P_{el} = 8 \text{ kWh}$$

$$t_m = 368,2 \text{ h}$$

$$P_{el}^{rok} = P_{el} \cdot t_m = 8 \cdot 368,2 = 2945 \text{ kWh}$$

$P_{el}^{rok}$  – roční produkce elektřiny

$P_{el}$  – elektrický výkon motoru

$t_m$  – roční počet hodin provozu kogenerační jednotky



## □ 1 Náklady na palivo

Dodavatel zemního plynu v místě stavby je Jihomoravská plynárenská, a.s. Ceny plynu se uvádějí v jednotkách Kč/kWh.

Přepočet m<sup>3</sup>/h na kWh

$$V_{\text{pal}} = 1160 \text{ m}^3$$

$$Q = V_{\text{pal}} \cdot k \cdot H_s = 1160 \cdot 1 \cdot 10,5 = 12180 \text{ kWh}$$

Q – Množství dodané energie v plynu

V<sub>pal</sub> – roční spotřeba zemního plynu

k – Přepočtový objemový koeficient. Slouží pro přepočet objemu změřeného u odběratele na objem plynu, který by byl naměřen za standardních podmínek.

Za normálních podmínek je hodnota součinitele k = 1.

H<sub>s</sub> – objemové spalné teplo. Jedná se o množství tepla které lze získat dokonalým spálením 1 m<sup>3</sup> plynu se vzduchem, a ochlazení zplodin na výchozí teplotu složek účastnících se spalování. Bude použita teplota 15 °C (288.16 K), tlak 101.325 kPa. Podle dlouhodobých průměrných hodnot spalného tepla tranzitního plynu nabývá tato veličina přibližné hodnoty 10.5 kWh/m<sup>3</sup>. Výpočet spalného tepla se provádí podle ČSN ISO 6976.

Ceník Jihomoravské plynárenské

<b>Pro dodávky zemního plynu konečným zákazníkům kategorie : domácnost platí tyto maximální ceny</b>				
	Roční odběr v pásmu nad - do kWh/rok	Maximální cena dvousložková (včetně DPH)		
		Cena za odebraný plyn Kč/kWh		Stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu v Kč
		od 1.1.2008	od 1.4.2008	od 1.1.2008
Jihomoravská plynárenská, a.s.	do 1 890	1,51103	1,54429	45,71
	nad 1 890 do 9 450	1,05671	1,08997	80,96
	nad 9 450 do 15 000	0,95263	0,98589	185,93
	nad 15 000 do 20 000			202,7
	nad 20 000 do 25 000			220,55
	nad 25 000 do 30 000	0,95263	0,98589	237,57
	nad 30 000 do 35 000			255,33
	nad 35 000 do 40 000			271,37
	nad 40 000 do 45 000			289,34
	nad 45 000 do 50 000	0,95263	0,98589	305,64
	nad 50 000 do 55 000			325,04
	nad 55 000 do 63 000	0,89081	0,92407	335,75
nad 63 000	- *			
* Cena za kapacitu - Roční sazba platu za vypočtené denní maximum Kč/m <sup>3</sup> : 169,60606				



Pro celkovou roční spotřebu 12180 kWh odpovídá cena za kWh 0,98589 Kč a měsíční paušál 185,93 Kč

$Q$  – 12180 kWh

$C_p$  – 0,98589 Kč

$C_{ppk}$  – 185,93 Kč

$N_p$  – náklady za palivo

$$N_p = Q \cdot C_p + 12 \cdot C_{ppk} = 12180 \cdot 0,98589 + 12 \cdot 185,93 = 14240 \text{ Kč}$$

$Q$  – Množství dodané energie v plynu

$C_p$  – cena zemního plynu při dané spotřebě od 1.4.2008 za kWh

$C_{ppk}$  – cena paušálu za přistavenou kapacitu

$N_p$  – náklady za palivo

## □2 Ušetření za nákup elektrické energie

Elektrickou energii neprodávám do sítě, ale ani nenakupuji a tedy ušetřím na jejím nákupu.

$P_{el}^{rok}$  – 2945 kWh

$C_{el}$  – 3,89031 Kč

$$V_e = P_{el}^{rok} \cdot C_{el} = 2945 \cdot 3,89031 = 11457 \text{ Kč}$$

$V_e$  – výnos za ušetření elektrické energie

$P_{el}^{rok}$  – roční produkce elektřiny

$C_{el}$  – cena elektřiny za kW

## □3 Stanovení prodejní ceny elektrické energie

Elektrickou energii prodávám do přenosové soustavy. Na prodej elektrické energie do výše 1MWe včetně se vztahuje příspěvek energetického regulačního úřadu ve výši **1420 Kč**. Konkrétně je v cenovém rozhodnutí ERÚ č. 7/2007 napsáno:

„Je-li elektřina dodávána výrobcem elektřiny obchodníkovi s elektřinou, oprávněnému zákazníkovi nebo je-li spotřebována přímo výrobcem elektřiny v době platnosti vysokého tarifu, a to v celkové délce 8 hodin denně, účtuje výrobce elektřiny příslušnému provozovateli soustavy za každou vykázanou MWh vyrobené elektřiny v době platnosti vysokého tarifu příspěvek k ceně elektřiny **1420 Kč/MWh** podle zvláštního právního předpisu. Pásmo vysokého tarifu stanoví tento obchodník s elektřinou, oprávněný zákazník nebo přímo výrobce elektřiny. Výrobce elektřiny stanoví pásmo vysokého tarifu pouze v případě, pokud veškerou vyrobenou elektřinu sám také spotřebovává“

S uvážením ceny obvyklé pro výkup elektrické energie a navýšení o státní příspěvek jsem zvolil výpočetní hodnotu výkupní ceny elektrické energie ve výši 2,50 Kč

## □□ Výnos za prodej elektrické energie

$$P_{el}^{rok} - 2945 \text{ kWh}$$

$$C_{pel} - 2,50 \text{ Kč}$$

$$V_{ep} = P_{pel}^{rok} \cdot C_{pel} = 2945 \cdot 2,50 = 7363 \text{ Kč}$$

$V_{ep}$  – výnos za prodej elektrickou energii

$P_{el}^{rok}$  – roční produkce elektřiny

$C_{pel}$  – cena elektřiny při prodeji za kW

## □□ Celková finanční bilance

Nyní máme dvě možnosti. Buď vyrobenou elektřinu akumulovat, a spotřebovat později, nebo vyrobenou elektřinu prodat za nižší cenu, než je cena za kterou ji později koupíme. Z důvodů vysokých nákladů na akumulaci zařízení elektrické energie, vyrobenou elektřinu prodám do rozvodné sítě.

$$N_p - 14\,240 \text{ Kč}$$

$$V_{ep} - 7363 \text{ Kč}$$

$$N_u - 1\,000 \text{ Kč}$$

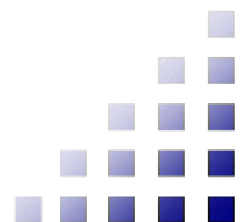
$$N_v = N_p + N_u - V_{ep} = 14240 + 1000 - 7363 = 7877 \text{ Kč}$$

$N_v$  – celkové náklady na vytápění

$N_u$  – náklady na údržbu a provoz

$N_p$  – náklady za palivo

$V_{ep}$  – výnos za prodej elektrickou energii



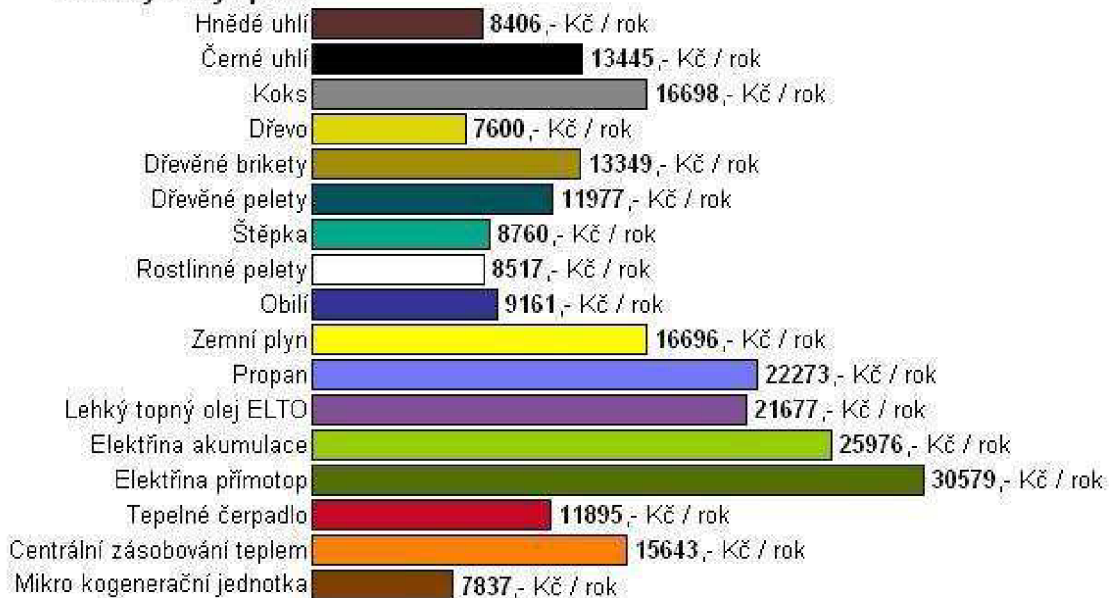


## □□ Porovnání nákladů na vytápění

pomocí výpočetního nástroje na <http://www.tzb-info.cz/>

Náklady na vytápění Výpočtová spotřeba tepla = 43,8 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/MWh	Spotřeba paliva / rok	Náklady na vytápění Kč / rok
<b>Hnědé uhlí</b> (18 MJ/kg) <i>cenov a dodavatelé</i>	1,90 /kg	Klasický kotel na uhlí (55%)	0,69	4424 kg	<b>8406,-</b>
<b>Černé uhlí</b> (23,1 MJ/kg) <i>cenov a dodavatelé</i>	3,90 /kg	Klasický kotel na uhlí (55%)	1,11	3447 kg	<b>13445,-</b>
<b>Koks</b> (27,5 MJ/kg)	6,50 /kg	Klasický kotel na koks (62%)	1,37	2569 kg	<b>16698,-</b>
<b>Dřevo</b> (14,6 MJ/kg)	1,90 /kg	Kotel na zplynování dřeva (75%)	0,62	4000 kg	<b>7600,-</b>
<b>Dřevěné brikety</b> (17,5 MJ/kg)	4,00 /kg	Kotel na zplynování dřeva (75%)	1,1	3337 kg	<b>13349,-</b>
<b>Dřevěné pelety</b> (18,5 MJ/kg) <i>cenov</i>	4,30 /kg	Kotel na dřevěné pelety (85%)	0,98	2785 kg	<b>11977,-</b>
<b>Štěpka</b> (12,5 MJ/kg)	2,00 /kg	Kotel na štěpku (80%)	0,72	4380 kg	<b>8760,-</b>
<b>Rostlinné pelety</b> (16 MJ/kg)	2,80 /kg	Kotel na rostlinné pelety (90%)	0,7	3042 kg	<b>8517,-</b>
<b>Obilí</b> (18 MJ/kg)	3,20 /kg	Automatický kotel (85%)	0,75	2863 kg	<b>9161,-</b>
<b>Zemní plyn</b> (spalné teplo 37,82 MJ/m <sup>3</sup> ) <i>cenov</i> Dodavatel: Jihomoravská plynárenská, a.s. Spotřeba plynu: 9450 - 15000 kWh /rok	0,95263 /kWh <i>vztažena ke spalnému teplu ????</i> <b>10,01 Kč/m<sup>3</sup></b> <b>+ 185,93 Kč/měsíc</b>	Kotel běžný (89%) <i>účinnost je vztažena k výhřevnosti ZP ????</i>	1,37	15177 kWh 1445 m <sup>3</sup>	<b>16696,-</b>
<b>Propan</b> (46,4 MJ/kg) <i>cenov a dodavatelé</i>	21 /kg	Kotel běžný (89%)	1,83	1061 kg	<b>22273,-</b>
<b>Lehký topný olej ELTO</b> (42 MJ/kg) <i>cenov</i>	18,5 /kg	Kotel na lehký topný olej (89%)	1,78	1172 kg	<b>21677,-</b>
<b>Elektřina akumulace</b> <i>cenov a tarify ????</i> D26d jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně	356 Kč/měsíc + NT: 1,65905 /kWh	S akumulací nádrží (93%)	2,14	13082 kWh	<b>25976,-</b>
<b>Elektřina přímotop</b> <i>cenov a tarify ????</i> D45d jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně	316 Kč/měsíc + NT: 2,15766 /kWh	Přímotopné panely (98%)	2,51	12415 kWh	<b>30579,-</b>
<b>Tepelné čerpadlo</b> <i>cenov a tarify ????</i> D56d jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně	262 Kč/měsíc + NT: 2,15766 /kWh	Průměrný roční topný faktor: 3	0,98	4056 kWh	<b>11895,-</b>
<b>Centrální zásobování teplem</b> <i>cenov</i>	350 /GJ ???	Účinnost (98%)	1,29	45 GJ	<b>15643,-</b>

### Náklady na vytápění:



## □7 Zhodnocení celkové finanční bilance

Z hrubého odhadu nákladu na zásobování rodinného domu teplem z kogenerační jednotky jasně vyplývá, že dochází k velmi malé finanční úspoře oproti konvenčním metodám vytápění. Pořizovací náklady na kogenerační jednotky jsou bohužel v řádech sta tisíců. Časová návratnost dané investice by byla v řádu desetiletí. V neprospěch kogeneračních jednotek mluví i fakt, že potřebujeme daleko větší akumulární zařízení jak na teplo tak na elektrickou energii. Vysoká pořizovací cena je způsobena ve velké míře malosériovou až kusovou výrobou. Hrubý odhad skutečného nákladů výstavby malé kogenerační jednotky se spalovacím motorem do výkonu  $10 \text{ kW}_e$ , činí 100 000 Kč. Za předpokladu vlastní výroby. Což by byla pro mnoho lidí, kteří mají technické povědomí jistě zajímavá možnost. Domácí výroba, ale naráží na plno administrativní požadavků ohledně přísných norem na plynová zařízení a zařízení dodávající proud do elektrické sítě.

Další šancí pro kogenerační výrobu energii v rodinných domech jsou stirlingové motory, které využívají teplotního spádu. Jejich cena je ovšem o ještě mnoho vyšší než spalovacích motorů. A elektrická účinnost ještě nižší pohybujících se od 22% do 30%.

Další alternativou, která není tak finančně náročná na investice, je jednotka spalující bioplyn. Výkupní ceny elektřiny vyrobené kogeneračním spalováním bioplynu jsou garantované. Pro výslednou prodejní cenu elektřiny je rozhodující zdroj biomasy. Do vybrané skupiny patří jednotky, které využívají více než 50 % hmotnostního podílu biomasy v sušně tvořené rostlinami nebo jejich částmi získanými ze zemědělské činnosti. Bližší podmínky stanoví cenovém rozhodnutí ERÚ č. 7/2007. Pro tento typ zdroje bioplynu platí cena do 3900 Kč/kWh. Při výrobě bioplynu z jiných zdrojů platí výkupní cena 3300,- Kč/kWh.

Při prodeji elektrické energie z bioplynu vyrobeného z více než 50% biomasy by byl zisk z prodeje

$$P_{el}^{rok} - 2945 \text{ kWh}$$

$$C_{pel} - 3,90 \text{ Kč}$$

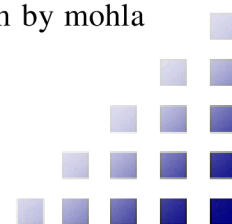
$$V_{ep} = P_{pel}^{rok} \cdot C_{pel} = 2945 \cdot 3,90 = 11486 \text{ Kč}$$

$V_{ep}$  – výnos za prodej elektrickou energie

$P_{el}^{rok}$  – roční produkce elektřiny

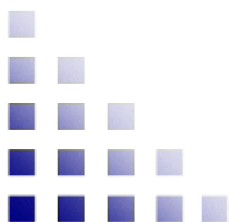
$C_{pel}$  – cena elektřiny při prodeji za kW

Bioplyn se vyrábí v bioplynových stanicích. Náklady na palivo, jsou velmi individuální. Rozhoduje svazová vzdálenost vstupních surovin, výtěžnost bioplynu z jednotlivých surovin, a náklady spojené s odbytem digestátu. V zemědělských oblastech by mohli být všechny náklady velmi nízké, o moc nižší než cena zemního plynu. Potom by i u malého domu mohlo dojít k velmi příznivé finanční bilanci, kdy by se celkové náklady na elektrické a teplené energie dostaly do hodnot, kdy by celé zařízení peníze naopak vydělávalo. Potom by mohla být návratnost investice zkrácena na dobu pod 10 let.



## □ Závěr

Dle zadání jsem vypracoval studii, zkoumající použití kogenerační jednotky se spalovacím motorem na zemní plyn v rodinném domě. Z důvodů vysokých pořizovacích a akumulacních nákladů, malých potřeb tepla, kdy je jednotka v provozu pouze 368 hodin, je její použití nevhodné. Kogenerační jednotky jsou ekonomicky výhodné při provozu nad 2500 hodin ročně. Kdy jsou dodávky tepla a elektrické energie natolik velké, že během několika let splatí investiční náklady. Rozdíl z prodeje elektrické energie a z ceny spotřebovaného plynu se stále pohybuje v řádech tisíců, kdežto konvenční způsoby vytápění v řádu deseti tisíců. Výhodné jsou velmi nízké nároky na obsluhu a provoz celého zařízení. Kogenerační jednotky jsou mnohem šetrnější k životnímu prostředí z důvodu šetření primárních paliv a nízkých emisích při spalování zemního plynu. Proto bych je doporučil pro objekty využívající současně velké množství tepelné a elektrické energie.



## Seznam použitých zdrojů

### Literární prameny :

[1]Polesný,B.,Krbek,J.:Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích, skripta VUT 1997

[2]Ochrana,L.,Kadrnožka,J.:Teplárenství,CERM Brno, 2001

[3]Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, BEN–technická literatura, Praha 2005, 1. vydání

### Internetové prameny :

[4]<http://finweb.idnes.cz>

[5]<http://www.tedom.cz>

[6]<http://www.ekowatt.cz>

[7]<http://tzb.fcv.cvut.cz>

[8]<http://www.eon.cz>

[9]<http://www.rwe-jmp.cz>

[10]<http://www.motorgas.cz>

[11]<http://www.cogen.cz>

[12]<http://en.wikipedia.org>

[13]<http://www.energ.cz>

[14]<http://www.eru.cz>

[15]<http://www.i-ekis.cz>



## Seznam použitých zkratek a symbolů

$t_{mel}$  – počet hodin, které musí motor běžet k dodání spotřeby elektrické energie [h]

$t_{mte}$  – počet hodin, které musí motor běžet, k dodání spotřeby tepelné energie [h]

$t_m$  – roční počet hodin provozu kogenerační jednotky [h]

$P_{el}$  – elektrický výkon motoru [kWh]

$P_{te}$  – tepelný výkon motoru [kWh]

$P_{el}^{rok}$  – roční produkce elektřiny [kWh]

$P_{eln}$  – nedostatek elektrické energie [kWh]

$P_{tep}$  – přebytek tepla [kWh]

$S_{pel}$  – spotřeba elektrické energie objektu za rok [kWh]

$S_{pte}$  – spotřeba tepelné energie objektu za rok [kWh]

$V_{pal}$  – roční spotřeba zemního plynu [ $m^3$ /rok]

$V_{mot}$  – spotřeba paliva motoru [ $m^3$ /h]

$V_e$  – výnos za ušetření elektrické energie [Kč]

$V_{ep}$  – výnos za prodej elektrickou energii [Kč]

$C_{ppk}$  – cena paušálu za přistavenou kapacitu [Kč]

$C_{el}$  – cena elektřiny [Kč/kW]

$C_{pel}$  – prodejní cena elektřiny [Kč/kW]

$C_p$  – cena zemního plynu při dané spotřebě od 1.4.2008 [Kč/kW]

$N_p$  – náklady za palivo [Kč]

$N_u$  – náklady na údržbu a provoz [Kč]

$N_v$  – celkové náklady na vytápění [Kč]

$Q$  – Množství dodané energie v plynu [kWh]

$k$  – Přepočtový objemový koeficient. [-]

$H_s$  – Objemové spalné teplo =  $10.5 \text{ kWh/m}^3$ .

## Seznam obrázků

obr. 1 zdroj: <http://finweb.idnes.cz>

obr. 2 zdroj: Český statistický úřad

obr. 3 zdroj: <http://www.tedom.cz>

obr. 4 zdroj: <http://www.tedom.cz>

obr. 5 zdroj: <http://www.tedom.cz>

obr. 6 zdroj: <http://www.ekowatt.cz>

obr. 7 zdroj: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková

obr. 8 zdroj: <http://uspory.ekowatt.cz>

obr. 9 zdroj: <http://tzb.fcv.cvut.cz>