



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav energetiky**

Zhodnocení vývoje cen vybraných druhů paliv

Analysis of price trends of selected fuel types

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jan Havlík

Jan Slánský

Praha 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zhodnocení vývoje cen vybraných druhů paliv vypracoval samostatně a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze, dne 9. 6. 2016

.....

Jan Slánský

Anotační list

Jméno autora:	Jan Slánský
Název BP:	Zhodnocení vývoje cen vybraných druhů paliv
Anglický název:	Analysis of price trends of selected fuel types
Akademický rok:	2015/2016
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	Ing. Jan Havlík
Konzultant:	
Bibliografické údaje:	Počet stran: 50 Počet obrázků: 9 Počet tabulek: 3 Počet příloh: 8
Klíčová slova:	fosilní paliva, cena, výhřevnost, účinnost
Keyword:	fossil fuels, price, calorific value, efficiency
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá vývojem cen nejvíce využívaných paliv pro vytápění v České republice. V úvodu práce je provedena rešerše vlastností těchto paliv. V další části jsou shrnuty ceny palivového dřeva, hnědého uhlí a zemního plynu za posledních pět až šest let. Dále je proveden výpočet základních veličin důležitých pro spalování. Následně jsou paliva porovnána z hlediska ceny a spalovacích vlastností.
Abstract:	This bachelor thesis deals with a development of price the most used fuels for heating in the Czech republic. Description of the characteristics of these fuels is conducted at the beginning of the thesis. The price of firewood, brown coal and natural gas for the last five to six years are summarized in the next part. Calculation of basic parameters important for the combustion is executed further. Then the fuels are compared in terms of price and combustion properties.

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování panu Ing. Janu Havlíkovi za odborné konzultace a rady v průběhu zpracování této bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	10
1 Klasifikace paliv	11
1.1 Definice paliva.....	11
1.2 Složení paliva.....	11
1.3 Rozdělení paliv	12
1.4 Výhřevnost.....	12
1.5 Spalné teplo	12
1.6 Fosilní paliva.....	12
1.6.1 Uhlí.....	12
1.6.2 Topné plyny	15
1.6.3 Topné oleje	16
1.7 Recentní paliva.....	16
1.7.1 Dřevo	16
2 Srovnání vlastností paliv.....	17
3 Ceny vybraných druhů paliv	19
3.1 Ceny hnědé uhlí	19
3.2 Ceny palivového dřeva.....	19
3.3 Ceny zemního plynu.....	20
4 Srovnání vlastností paliv z hlediska spalování a výroby tepla.....	21
4.1 Palivové dřevo.....	21
4.2 Hnědé uhlí.....	25
4.3 Zemní plyn.....	29
5 Porovnání paliv.....	32
5.1 Hnědé uhlí.....	32
5.2 Palivové dřevo.....	33
5.3 Zemní plyn.....	35
Závěr	38
Seznam použité literatury	39
Seznam příloh	42
Přílohy.....	43

Seznam symbolů, indexů a značek

množství hořlaviny	h [-]
množství popeloviny	A [-]
množství vody	W [-]
výhřevnost	Q_i^r [kJ/kg]; [kJ/Nm ³]
obsah prvku v hořlavině	i_{daf} [%]
obsah prvku v původním stavu	i_r [%]
obsah prvku v bezvodém stavu	i_d [%]
minimální objem kyslíku pro dokonalé spálení 1 kg paliva	O_{O_2min} [Nm ³ /kg]
min. objem suchého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva	O_{VSmin} [Nm ³ /kg]
min. objem vlhkého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva	O_{VVmin} [Nm ³ /kg]
součinitel podílu vodní páry připadající na 1 Nm ³ suchého vzduchu	χ_v [-]
objem vodní páry	$O_{H_2O}^V$ [Nm ³ /kg]
součinitel přebytku vzduchu	α [-]
skutečné množství spalovacího vzduchu	O_{VV} [Nm ³ /kg]
objemy jednotlivých složek vznikajících při spalování	O_i [Nm ³ /kg]
objem suchých spalin	O_{SSmin} [Nm ³ /kg]
objem vodní páry v minimálním objemu vlhkých spalin	$O_{H_2O}^S$ [Nm ³ /kg]
minimální objem vlhkých spalin	O_{SVmin} [Nm ³ /kg]
objem spalin z 1 kg paliva s přebytkem vzduchu α	O_{SV} [Nm ³ /kg]
teplota spalin odcházející z kotle	t_k [°C]
měrná entalpie složek spalin	i_i^t [kJ/Nm ³]
poměrný úlet popílku z ohniště	a_u [-]
entalpie minimálního množství vzduchu při teplotě t_k	I_{Vmin}^t [kJ/kg; kJ/Nm ³]
entalpie stechiometrických spalin	I_{Smin}^t [kJ/kg; kJ/Nm ³]
entalpie spalin	$I_S^{t,\alpha}$ [kJ/kg; kJ/Nm ³]
entalpie vzduchu při teplotě $t = 25$ °C	I_{VZ} [kJ/kg; kJ/Nm ³]
ztráta mechanickým nedopalem	Z_c [%]

ztráta chemickým nedopalem	Z_{CO} [%]
ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků	Z_f [%]
ztráta sáláním a vedením do okolí	Z_{SV} [%]
komínová ztráta	Z_k [%]
účinnost	η [%]
molární hmotnost složek plynu	M_i [kg/mol]
celková molární hmotnost	M [kg/mol]
procentuální zastoupení složky v plynu	o_i [%]

Úvod

Pro výrobu tepelné energie jsou v dnešní době hojně využívána paliva jako zemní plyn, různé druhy uhlí a v menší míře i biomasa. Základní vlastností paliva, která je pro člověka nejdůležitější je jeho výhřevnost. Udává kolik tepla získáme spalováním určitého množství paliva.

Na začátku této práce je popis vzniku a vlastností paliv, které se přednostně používají pro výrobu tepelné energie v České republice. Další kapitola obsahuje rešerši cen třech vybraných druhů paliv za uplynulých pět let. Jsou jimi zemní plyn, hnědé uhlí a palivové dřevo. Hlavní cíl této práce je srovnání cen uvedených paliv a vzájemné porovnání jejich spalovacích vlastností. Práce obsahuje výpočet účinností jednotlivých paliv, množství spalin a výpočet ceny, která připadá na 1 MJ vyrobené energie, tak aby bylo možné paliva ekvivalentně porovnat.

1 Klasifikace paliv

1.1 Definice paliva

Palivo je látka, která je schopna začít a udržet chemickou reakci spalování. Při spalování se uvolňuje chemická energie, která se transformuje na energii tepelnou. Palivo se skládá ze tří základních složek. Jsou to hořlaviny, popeloviny a voda. [7]

1.2 Složení paliva

Množství hořlaviny h , popeloviny A a vody W v daném palivu se zjišťuje pomocí hrubého rozboru, který je dán vztahem:

$$h + A + W = 1$$

Hořlavina tvoří nejdůležitější složku paliva, protože je nositelem energie. V hořlavině jsou v nejvyšší míře zastoupeny prvky jako uhlík, vodík a síra, což jsou aktivní prvky, kteří jsou nositeli chemicky vázané energie a při spalování je z nich uvolňována. Naopak kyslík a dusík zastupují pasivní složku hořlaviny, jelikož nemají žádnou energetickou hodnotu. Hořlavinu můžeme rozepsat pomocí prvkového rozboru, jehož vztah je:

$$C^h + H^h + N^h + O^h + S_{spal}^h = 1$$

Popelovina je nespalitelná tuhá část paliva, která je tvořena především oxidy křemíku, hliníku, železa a vápníku, dále také například karbonáty, sulfidy a sulfáty. Při spalování dochází v popelovině k chemickým reakcím, jejichž produkty tvoří popel.

Voda v palivu má za následek zvětšování objemu spalin a tím pádem zvýšení komínových ztrát a také snižuje spalovací teplotu.

Druhy vody:

- přimíšená voda - dostává se do paliva při těžbě a lze ji odstranit mechanicky tj. odstředěním nebo odkapáním
- hrubá voda - stanovuje se jako úbytek hmotnosti vzorku paliva při jeho vysychání na vzduchu při teplotě 40°C a vlhkosti 50 %
- zbytková voda - voda kapilárně vázaná ve struktuře, uvolňuje se za zvýšené teploty 105°C
- celková voda - je součet přimíšené, hrubé a zbytkové vody
- volná voda - je součet přimíšené a hrubé vody
- hydrátová voda - voda chemicky vázaná na popeloviny

- okludová voda - voda chemicky vázaná na hořlaviny

Poslední dva jmenované druhy vod se neurčují, protože se uvolňují při teplotách rozkladu paliva. [8]

1.3 Rozdělení paliv

Paliva se rozdělují podle několika kritérií:

- 1) podle stáří:
 - a) fosilní
 - b) recentní
- 2) podle skupenství:
 - a) tuhá
 - b) kapalná
 - c) plynná
- 3) podle původu:
 - a) přírodní
 - b) umělá

1.4 Výhřevnost

„Výhřevnost paliva Q_i^r [kJ/kg] je množství tepla, které se získá při dokonalém spálení 1 kg paliva s následným ochlazením produktů spalování na 20 °C, přičemž vodní pára nekondenzuje a zůstává v plynném stavu.“ [16]

1.5 Spalné teplo

Definice spalného tepla je téměř stejná jako definice výhřevnosti, avšak spalné teplo ještě navíc zahrnuje kondenzační teplo vody obsažené ve spalinách. Ve většině případů je toto teplo nevyužité (výjimku tvoří kondenzační kotle) a odchází se spalinami. [17]

1.6 Fosilní paliva

1.6.1 Uhlí

Vznik nejvýznamnějších ložisek uhlí je datován do období karbonu a permu. Pochody probíhající v druhohorách změnily zemský povrch na bahnitá jezera. Horké a vlhké prostředí napomáhalo bujnému růstu rostlin. Časté bylo střídání období sucha s obdobími velmi silných srážek, které zvedaly hladiny řek a ničily porosty. Na těchto tlejících zbytcích vyrůstala nová

vegetace. Docházelo tak k velkému nakupení organického materiálu, který se po dalších posuvech a změnách zemského povrchu dostal pod vrstvu hornin. Vznikly tak ideální podmínky pro vznik uhlí. Rozkladem rostlin bez přístupu kyslíku se za stálého tlaku hornin a zmenšování objemu tlejících rostlinných těl hromadil především uhlík. Proces karbonizace trval několik milionů let a dá se říci, že míra prouhelnění, tzn. kvalita uhlí závisí na velikosti tlaku, teploty a na době prouhelnění. [2] [9]

Podle stupně prouhelnění se uhlí dělí na:

- a) rašelinu
- b) hnědé uhlí
- c) černé uhlí
- d) antracit

1.6.1.1 Rašelina

Rašelina patří do organických půd, které vznikají na stanovištích částečně nebo trvale zaplavených vodou. Odumřelé části rostlin se dostávají do prostředí s malým přístupem kyslíku, kde nedochází téměř k žádné oxidaci. Rašelina se skládá z organických látek v různém stupni rozkladu. Musí obsahovat minimálně 50 % spalitelných látek.

Organické půdy se liší od minerálních půd hlavně obsahem organických částí, tmavou barvou, nízkou objemovou hmotností a schopností zadržovat velké množství vody.

Rašelina je nejmladší hornina. Vznik je datován do čtvrtohor, do jejich posledního období holocénu. Je stará 10 000 - 12 000 let. [10]

Rašelina má mnohem lepší mechanické i chemické vlastnosti než většina ostatních tuhých paliv. Teplota a doba hoření jsou mnohonásobně vyšší než například u kamenného uhlí nebo dřeva. Při vytápění dosahuje srovnatelných energetických účinků jako dřevěné uhlí. Je vhodná ke zpracování ve formě briket nebo pelet. Další velkou výhodou rašeliny jako paliva je možnost skladování i ve vlhkém prostředí, protože na sebe neváže vodu. Menší nevýhodou je větší produkce popela. [10]

Výhřevnost rašelinových pelet a briket činí 19 000 - 20 000 kJ/kg a jsou vhodné k vytápění všech druhů staveb. Vyrábějí se lisováním do válců a poté se suší bez přítomnosti jakýchkoliv pojidel. [11]

1.6.1.2 Hnědé uhlí

Hnědé uhlí má původ většinou v třetihorách nebo druhohorách, ve výjimečných případech i v prvohorách. Hnědé uhlí obsahuje zhruba 70 - 75 % uhlíku. Má hnědou až černohnědou barvu, bývá obvykle matné a jeho vryp je hnědý. Výhřevnost se pohybuje okolo 17 000 kJ/kg. Pokud uhlí obsahuje znatelné zbytky dřevité struktury, nazývá se xylit. Vlastnosti hnědé uhlí úzce závisí na stupni prouhelnění. Podle stupně prouhelnění se hnědé uhlí rozděluje na hemifázní - nejméně prouhelněné, ortofázní - středně prouhelněné a metafázní - nejvýše prouhelněné. [12]

Nejvýznamnějším ložiskem hnědé uhlí v České republice je severočeská hnědouhelná pánev. Dále pak ještě sokolovská a chebská pánev. Těžba probíhá povrchově.

1.6.1.3 Černé uhlí

Černé uhlí je geologicky starší než uhlí hnědé. Vznikalo v prvohorách. Ve většině případů se těží podpovrchově. Obsah uhlíku se pohybuje kolem 80 - 90 %. Má matnou nebo lesklou černou barvu. Obsahuje 40 - 10 % prchavé hořlaviny. Prchavá hořlavina udává, kolik hořlavých látek unikne ze vzorku uhlí, který je zahříván na teplotu 850 °C za nepřístupu vzduchu. Rozdělení uhlí podle obsahu prchavé hořlaviny je udáno v Tab. 1. [12]

Tab. 1: Chemicko - technologická klasifikace černého uhlí [12]

Typ uhlí	Značka	Prchavá hořlavina [%]	Spalné teplo hořlaviny [MJ/kg]
pálavé	D	nad 41	6 900 až 8 400
plynové	G	33 až 41	8 200 až 8 550
žirné	Ž	28 až 33	8 300 až 8 700
koksově-žirné	KŽ	24 až 28	8 500 až 8 750
koksové	K	14 až 24	8 550 až 8 900
antracitové	T	10 až 14	8 500 až 8 750
antracit	A	pod 10	8 200 až 8 500

Nejdůležitější ložiska černého uhlí v České republice se nachází v oblasti Ostravy a Karviné. Tato ložiska uhlí vznikla přibližně před 320 miliony let. Rozkládaly se zde bažinaté oblasti, v nichž rostly zejména obří plavuně a přesličky. Za 40 milionu let se zde vytvořilo přes 400 uhelných slojí, které jsou prokládané jinými druhy hornin. Těžitelných je ovšem pouze něco přes 80 těchto slojí. Kvalitnější uhlí se nachází v ostravské oblasti, avšak mocnost zdejších slojí je zhruba 1 metr, kdežto v oblasti Karvinska je mocnost slojí až 8 metrů. [14]

Černé uhlí lze zušlechťovat na koks. K výrobě koksu je vhodné černé uhlí o nízkém obsahu síry a s vhodnými vlastnostmi pro termické zpracování. Výroba probíhá pyrolýzou při teplotě nad 1 000 °C a bez přístupu vzduchu. Používá se hlavně jako redukční činidlo ve vysoké peci při výrobě surového železa, dále jako palivo pro vytápění a jako technologická surovina při některých chemických a potravinářských výrobcích. Koks je tvrdý, pórovitý a barvu má stříbřitě šedou. Výhřevnost se pohybuje od 25 000 do 30 000 kJ/kg. [15]

1.6.1.4 Antracit

Antracit je nejvíce prouhelněné uhlí, které bylo vystaveno při svém vzniku vysokým teplotám a tlakům. Obsah uhlíku je nad 92 %. Strukturu má homogenní a je vysoce lesklý. Obsah prchavé hořlaviny je méně než 8 %. Výhřevnost antracitu se pohybuje v intervalu 26 000 - 34 000 kJ/kg a obsah vody je 1 - 3 %. [12] [18]

1.6.2 Topné plyny

Podle původu se topné plyny dělí na:

- a) primární - jsou získávány z přírodních nalezišť, mohou se bez dalších úprav použít (zemní plyn)
- b) sekundární - získávají se z primárních paliv zušlechťováním, tzn. mění se zásadně chemické složení (svítiplyn, propan, butan a jejich směsi) [20]

1.6.2.1 Zemní plyn

Protože se zemní plyn nachází v ložiskách spolu s uhlím (karbonský) nebo s ropou (naftový), je pravděpodobné, že vznikl uvolňováním z rozkládajícího se organického materiálu. Existuje, ale další teorie vzniku, která pracuje s možností vzniku zemního plynu chemickými reakcemi z anorganických látek.

Zemní plyn je hořlavá látka bez barvy a zápachu. Při jeho spalování nedochází k tak velké ekologické zátěži jako při spalování ostatních fosilních paliv. Zemní plyn je dvakrát lehčí než vzduch. Skládá se z 98 % metanu a nehořlavých látek (dusík, oxid uhličitý). Jeho výhřevnost činí 33 000 kJ/m³. [21]

1.6.2.2 Propan - butan

Propan a butan patří mezi uhlovodíkové plyny se třemi až čtyřmi atomy uhlíku v molekule. Získávají se při zpracování ropy a zemního plynu. Jedná se o plynnou látku, která ovšem už při malém tlaku mění skupenství na kapalné. Oba plyny se využívají jak samostatně tak ve směsi. Jsou to plyny bezbarvé, snadno těkavé, specifického zápachu. Výhřevnost

propanu je 88 000 kJ/m³ a butanu 116 000 kJ/m³. Výhřevnost propan - butanu je závislá na poměru obou plynů. [21] [22]

1.6.3 Topné oleje

Topné oleje se podle hustoty dělí na extralehké (TOEL), lehké a těžké.

1.6.3.1 Extralehké topné oleje

Jsou také nazývány jako topná nafta. Získávají se z ropy mísením z primárních a sekundárních odsířených ropných frakcí. Vzhledem ke svému nízkému obsahu síry se používají k vytápění ve vysoce ekologicky chráněných oblastech. Obsah síry činí asi 0,2 %, vody 0,05 % a výhřevnost dosahuje 42 000 kJ/kg. [5] [23]

1.6.3.2 Těžké topné oleje

Zpočátku představovaly těžké topné oleje atmosférický destilační zbytek (mazut). Obsah síry byl zcela závislý na druhu zpracovávané ropy. Postupem času začaly těžké topné oleje představovat složitější směs různých, hlavně vysokovroucích ropných frakcí. Tyto frakce se míchají tak, aby výsledný produkt vyhovoval požadovaným vlastnostem. Kvalita topných olejů je dána normou ČSN 65 7991. [5] [23]

1.7 Recentní paliva

1.7.1 Dřevo

Dřevo je nejdéle lidstvem používané palivo, ačkoliv vznikem je nejmladší. Vzniká asimilací a potřebné teplo dodává slunce. „Hlavní složkou dřeva je celulóza, jejíž množství kolísá mezi 55 - 62 %. Více celulózy je v dřevě jehličnatých stromů.“ Dřevo obsahuje kromě celulózy ještě hemicelulózy, lignin, pryskyřice a vosky. V kůře jsou obsaženy třísloviny, které lze vyloučit vodou. Množství vody v čerstvě poraženém dřevu je rozdílné, ale zhruba po ročním sušení na vzduchu klesne obsah vody téměř u všech druhů na 20 %. Složení se také příliš druhově neliší. Uhlíku je 50 % a kyslíku 43 %. Výhodou dřeva je malé procento produkovaného popela a díky vysokému obsahu kyslíku obsahují plynné zplodiny malé množství nespálených látek. [1]

Výhřevnost dřeva je úzce závislá na druhu dřeva, na jeho vlhkosti a kvalitě. Obecně se může říci, že čím je dřevo tvrdší, tím je vyšší hustota dřeva a tím vyšší bude i jeho výhřevnost. Výhřevnost jednotlivých druhů dřev se udává v kJ/m³, protože v kJ/kg bychom nezískali mnoho informací pro porovnání. [19]

Výhřevnost dále ovlivňuje vlhkost dřeva. S rostoucí vlhkostí klesá výhřevnost. Je to způsobeno tím, že část tepla se využije na odpaření vody v palivu. Obsah vody v čerstvém dřevě je 50 %, v sušeném 20 %. Při umělém dosušování lze docílit až 5 % vody. Závislost výhřevnosti na vlhkosti udává Tab. 2. Údaje jsou uvedeny pro měkké dřevo. [19]

Tab. 2: Závislost výhřevnosti dřeva na jeho vlhkosti [19]

vlhkost [%]	výhřevnost [MJ/kg]	váha [kg]
1	18,56	355
10	16,40	375
20	14,28	400
30	12,18	425
40	10,10	450
50	8,10	530

Dřevo se dělí na tvrdé a měkké. Mezi hojně používaná tvrdá dřeva patří dub, který má výhřevnost $11\,050\text{ kJ/m}^3$, je odolný vůči plísním, hoří dlouho a pomalu a má malou popelnatost. Dále se používá také bukové dřevo, které má slabší kůru než dřevo dubové, takže má ještě menší popelnatost. Velmi rychle vysychá, ale musí být skladováno ve vzdušném prostředí, protože není tak odolné vůči plísním. Jeho výhřevnost je $10\,830\text{ kJ/m}^3$. Největší výhřevnost mezi používaným dřevem v České republice má akát - $11\,850\text{ kJ/m}^3$. Rovněž rychle vysychá, je odolný vůči plísním a dobře hoří při vyšší vlhkosti.

Používané měkké dřevo je například jehličnaté dřevo, které velmi rychle a dobře hoří. Má vyšší popelnatost a vyšší podíl pryskyřice. Výhřevnost se pohybuje v rozmezí od $7\,500$ do $9\,000\text{ kJ/m}^3$. Dále se používá topol, jenž má nižší výhřevnost, asi $6\,500\text{ kJ/m}^3$ a velmi rychle hoří. [19]

2 Srovnání vlastností paliv

Paliva se dělí na tuhá, kapalná a plynná. Mezi tuhá paliva, využívaná pro výrobu tepelné energie, patří dřevo, rašelina a různé druhy uhlí podle stádia prouhelnění. Kapalná paliva jsou převážně topné oleje a mezi nejhojněji používaná plynná paliva patří zemní plyn a propan - butan.

Dřevo se dělí na tvrdé a měkké. Tvrdé dřevo má výhřevnost v rozmezí 10 000 - 13 000 kJ/m³ a měkké má výhřevnost nižší, asi 7 500 - 9 000 kJ/m³. Obsah uhlíku je asi 50 % a kyslíku 43 %. Výhody dřeva jsou malé procento produkovaného popela a plynné zplodiny obsahují malé množství nespálených částic. Naopak surové dřevo má proměnlivý a často vysoký obsah vody. [19]

Rašelina má obsah uhlíku srovnatelný se dřevem, ale její výhřevnost je vyšší, zhruba 19 000 - 20 000 kJ/kg. Obsah popela je oproti uhlí také relativně nízký. Činí asi 4 %. Výhoda rašeliny je dlouhá doba žhnutí za velmi vysokého žáru. [10] [31]

Uhlí se dělí podle stupně prouhelnění na hnědé uhlí, které má nejmenší obsah uhlíku, okolo 70 - 75 %. Obsah vody je okolo 30 %. Nevýhodou je vysoká popelnatost až 35 % a také nižší výhřevnost než rašelina, kolem 17 000 kJ/kg. Obsah uhlíku 80 - 90 % má černé uhlí, které se často zušlechťuje na koks. Výhřevnost se pohybuje v rozmezí 25 000 - 30 000 kJ/kg a obsah popela je 18 - 22 %. Poslední druh uhlí, který byl vystaven největším tlakům je antracit s obsahem uhlíku až 92 %. Výhodou je nízký obsah vody 1 - 3 % a výhřevnost 26 000 - 34 000 kJ/kg. [32]

Topné oleje jsou produktem ropy. Největší využití mají extralehké topné oleje. Jejich výhodou je nízký obsah síry, asi 0,2 % a proto se používají k vytápění v ekologicky chráněných oblastech. Výhřevnost je 42 000 kJ/kg a obsah vody 0,05 %. [23]

Propan - butan je plynná látka, která se už při malém tlaku mění na kapalnou, je bezbarvá a těkavá. Výhřevnost propanu je 88 000 kJ/m³ a butanu 116 000 kJ/m³. Výsledná výhřevnost je dána poměrem obou složek ve směsi. [22]

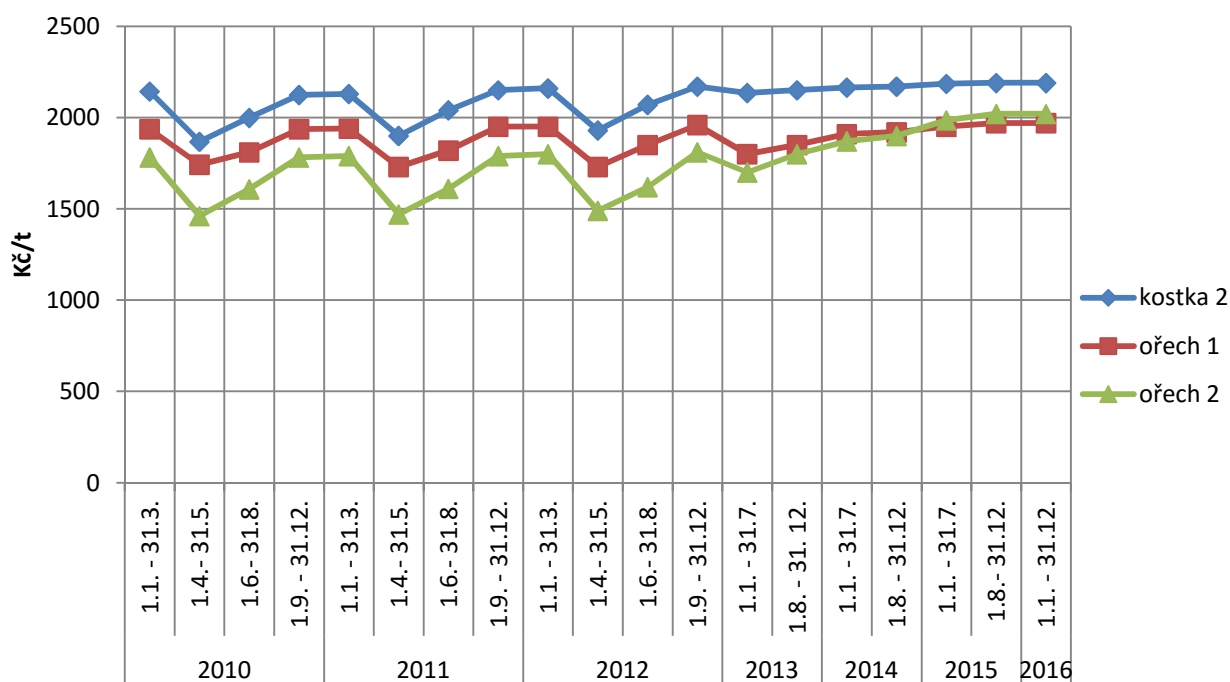
Zemní plyn je směs metanu, vyšších uhlovodíků a dalších nehořlavých látek. Jeho výhřevnost se pohybuje okolo 33 000 kJ/m³. Spalováním zemního plynu nedochází k tak vysoké ekologické zátěži životního prostředí, protože při spalování dochází k chemické přeměně na oxid uhličitý a vodní páru. Takže se do ovzduší nedostávají žádné pevné nespálené částice. Výhodou uvedených kapalných i plyných paliv je nulová produkce popela. [21]

3 Ceny vybraných druhů paliv

V této kapitole bude popsán vývoj cen třech druhů nejhojněji používaných paliv k vytápění v České republice. Jsou to hnědé uhlí, palivové dřevo a zemní plyn.

3.1 Ceny hnědého uhlí

Hnědé uhlí, vybrané pro porovnání cen, je z produkce společnosti Severočeské doly a.s., konkrétně z dolu Bílina, který produkuje převážně nízko sirnaté energetické a tříděné uhlí. Na obr. 1 je uveden vývoj cen třech druhů hnědého uhlí za dané časové období.



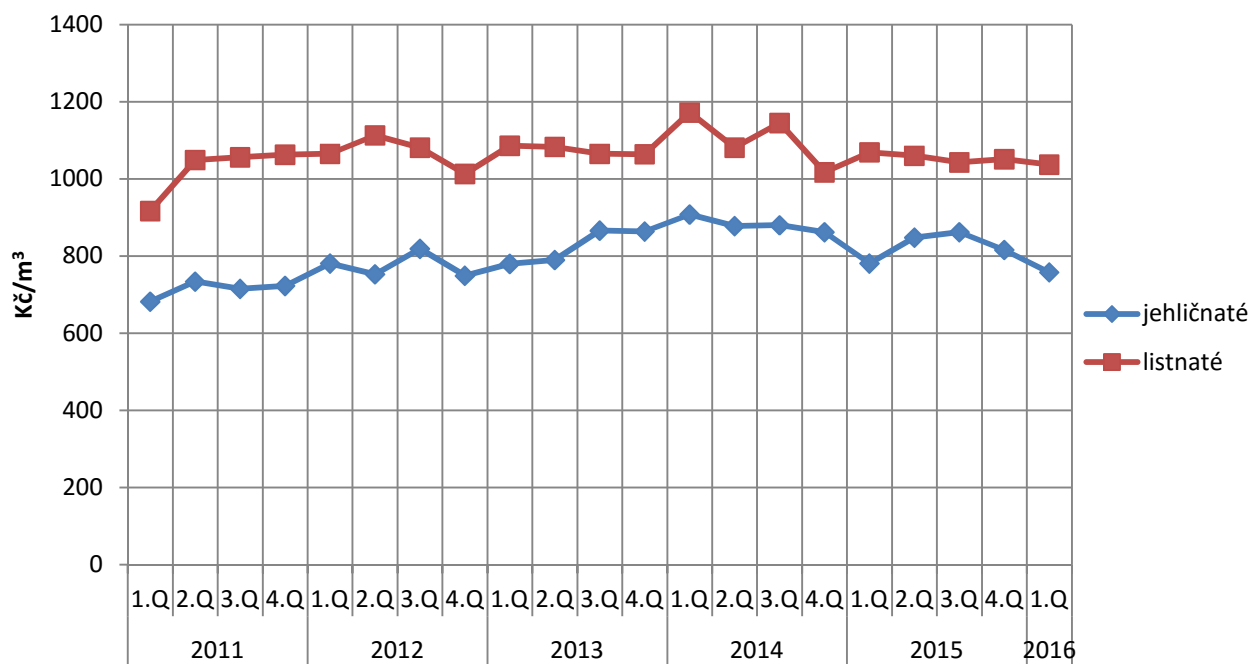
Obr. 1: Graf vývoje cen hnědého uhlí z produkce dolu Bílina [24]

Jak je patrné z obr. 1, došlo ke snížení cen hnědého uhlí v letech 2010, 2011 a 2012 vždy v období od 1. 4. do 31. 5. u všech uvedených typů uhlí. Po tomto zlevnění vždy došlo k opětovnému nárůstu. Od začátku roku 2013 dosud ceny pozvolna stoupaly. Největší zdražení postihlo hnědé uhlí ořech 2, jehož ceny v roce 2015 překročily i ceny ořechu 1, který byl v předchozím období dražší.

3.2 Ceny palivového dřeva

Z obr. 2 je patrné, že cena listnatého dřeva se za uvedené časové období příliš neměnila. Ke znatelnému zdražení a opětovnému zlevnění došlo pouze v 1. a 3. čtvrtletí roku 2014. U jehličnatého dřeva cena od roku 2011 převážně stoupala. Maxima dosáhla v 1.

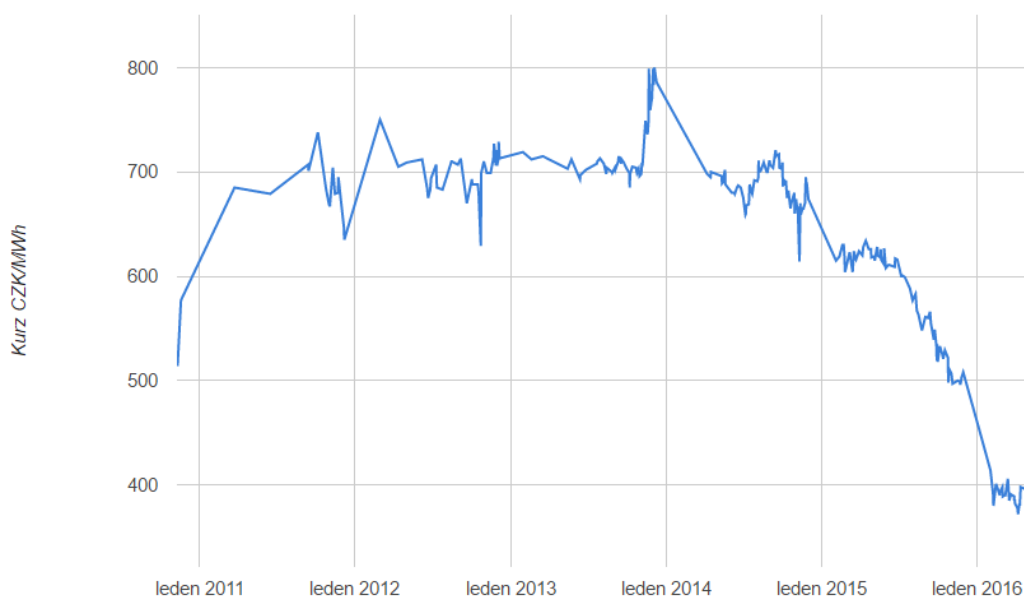
čtvrtletí roku 2014, kdy se cena pohybovala kolem 900 Kč/m³. V poslední době však došlo ke zlevnění.



Obr. 2: Graf vývoje cen palivového dřeva [25]

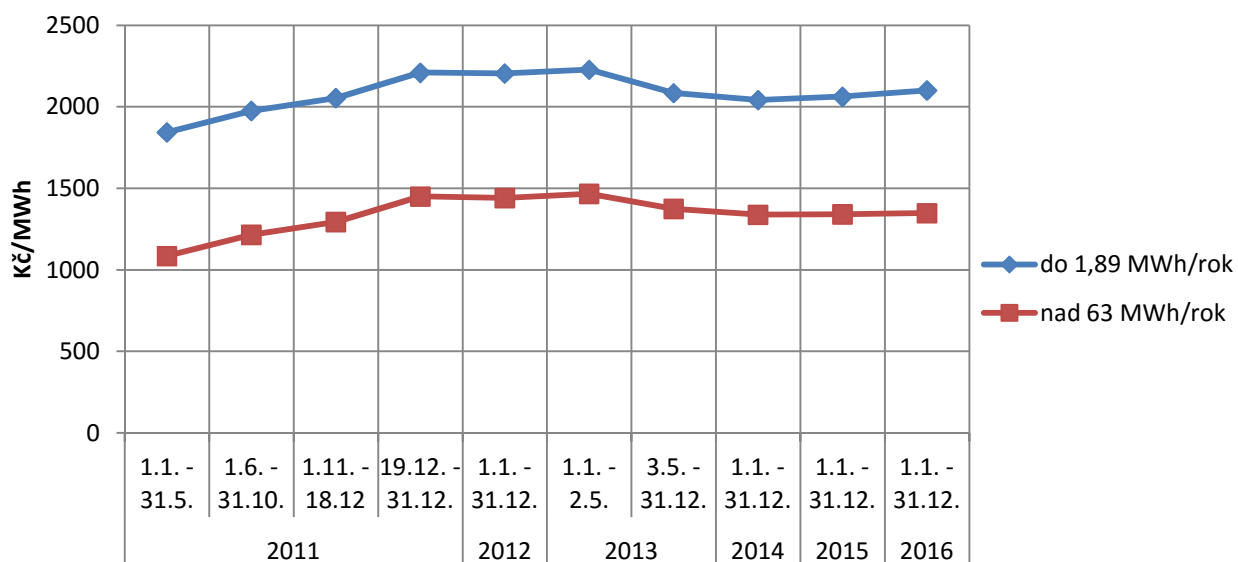
3.3 Ceny zemního plynu

Ceny uvedené na obr. 3 jsou uvažované pro velkoobtěratele plynu, což znamená, že jejich roční odběr v odběrném místě přesahuje 4 200 MWh.



Obr. 3: Graf vývoje cen zemního plynu pro velkoobtěratele [26]

Ceny pro maloobdávatele jsou rozděleny podle roční spotřeby do několika pásem. Ceny vycházejí z nabídky společnosti RWE Energie s.r.o. Pro maloobdávatele jsou ceny plynu rozděleny podle roční spotřeby do třinácti pásem (od roku 2015 došlo ke sloučení na sedm pásem). Pro přehlednost je na obr. 4 uveden vývoj cen pro dvě hraniční pásma spotřeby tj. spotřeba do 1,89 MWh/rok a nad 63 MWh/rok. Kompletní přehled je uveden v příloze 4.



Obr. 4: Graf vývoje cen zemního plynu pro maloobdávatele [30]

U cen zemního plynu pro maloobdávatele nedošlo k tak zásadním výkyvům jako u velkoobdávatele. Na začátku období ceny rostly, poté nastalo ustálení a nepatrné zlevnění. Ceny plynu pro velkoobdávatele dosáhly maxima na konci roku 2013, kdy MWh stála 800 Kč. Od ledna 2015 cena výrazně klesla až pod 400 Kč/MWh.

4 Srovnání vlastností paliv z hlediska spalování a výroby tepla

Další postup bude výpočet veličin, které jsou důležité pro spalování. Jsou to zejména výhřevnost, množství spalovacího vzduchu, množství spalin a účinnost kotle.

4.1 Palivové dřevo

složení:

Hodnoty byly zadány vedoucím bakalářské práce.

obsah vody v původním stavu $W_r = 30 \%$

prvkové složení hořlaviny $C_{daf} = 50,959 \%$

$$H_{daf} = 6,9334 \%$$

$$N_{daf} = 0,2646 \%$$

$$S_{daf} = 0,00331 \%$$

$$O_{daf} = 41,8397 \%$$

obsah popela v bezvodém stavu $A_d = 1,6159 \%$

výpočet složení paliva v původním stavu

$$A_r = A_d \cdot (1 - W_r) = 0,016159 \cdot (1 - 0,3) = 0,0113$$

$$C_r = C_{daf} \cdot (1 - A_r - W_r) = 0,50959 \cdot (1 - 0,0113 - 0,3) = 0,3509$$

$$H_r = H_{daf} \cdot (1 - A_r - W_r) = 0,069334 \cdot (1 - 0,0113 - 0,3) = 0,0477$$

$$N_r = N_{daf} \cdot (1 - A_r - W_r) = 0,002646 \cdot (1 - 0,0113 - 0,3) = 0,0018$$

$$S_r = S_{daf} \cdot (1 - A_r - W_r) = 0,0000331 \cdot (1 - 0,0113 - 0,3) = 2,28 \cdot 10^{-5}$$

$$O_r = O_{daf} \cdot (1 - A_r - W_r) = 0,418397 \cdot (1 - 0,0113 - 0,3) = 0,2881$$

výpočet výhřevnosti

$$\begin{aligned} Q_i^r &= 34,75 \cdot C_r + 95,3 \cdot H_r - 10,9 \cdot (O_r - S_r) - 2,5 \cdot W_r = \\ &= 34,75 \cdot 0,3509 + 95,3 \cdot 0,0477 - 10,9 \cdot (0,2881 - 2,28 \cdot 10^{-5}) - 2,5 \cdot 0,3 = \\ &= 12,855 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

výpočet účinnosti paliva pro $t_k = 150 \text{ °C}$ a $\alpha = 1,5$

minimální objem kyslíku pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$\begin{aligned} O_{O_{2min}} &= 22,39 \cdot \left(\frac{C_r}{12,01} + \frac{H_r}{4,032} + \frac{S_r}{32,06} - \frac{O_r}{32} \right) = \\ &= 22,39 \cdot \left(\frac{0,3509}{12,01} + \frac{0,0477}{4,032} + \frac{2,28 \cdot 10^{-5}}{32,06} - \frac{0,2881}{32} \right) = 0,7178 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

minimální objem suchého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{VS_{min}} = \frac{O_{O_2min}}{0,21} = \frac{0,7178}{0,21} = 3,418 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Podíl vodní páry, který připadá na 1 Nm³ suchého vzduchu se vyjadřuje součinitelem χ_v . Pro běžné klimatické podmínky je jeho hodnota $\chi_v = 1,016$.

minimální objem vlhkého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{VV_{min}} = \chi_v \cdot O_{VS_{min}} = 1,016 \cdot 3,418 = 3,473 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem vodní páry

$$O_{H_2O}^V = O_{VV_{min}} - O_{VS_{min}} = 3,473 - 3,418 = 0,05469 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

V praxi se spalování provádí s větším množstvím vzduchu než je to minimální, protože by docházelo k vysokým nedopalům paliva.

skutečné množství spalovacího vzduchu

$$O_{VV} = \alpha \cdot O_{VV_{min}} = 1,5 \cdot 3,473 = 5,21 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objemy jednotlivých složek, které vznikají při spalování

$$\begin{aligned} O_{CO_2} &= \frac{22,26}{12,01} \cdot C_r + 0,0003 \cdot O_{VS_{min}} = \frac{22,26}{12,01} \cdot 0,3509 + 0,0003 \cdot 3,418 = \\ &= 0,6515 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$O_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S_r = \frac{21,89}{32,06} \cdot 2,28 \cdot 10^{-5} = 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$\begin{aligned} O_{N_2} &= \frac{22,4}{28,016} \cdot N_r + 0,7805 \cdot O_{VS_{min}} = \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,0018 + 0,7805 \cdot 3,418 = \\ &= 2,669 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$O_{Ar} = 0,0092 \cdot O_{VS_{min}} = 0,0092 \cdot 3,418 = 0,03145 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem suchých spalin

$$\begin{aligned} O_{SS_{min}} &= O_{CO_2} + O_{SO_2} + O_{N_2} + O_{Ar} = 0,6515 + 1,56 \cdot 10^{-5} + 2,669 + 0,03145 = \\ &= 3,352 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

objem vodní páry v minimálním objemu vlhkých spalin

$$O_{H_2O}^S = \frac{44,8}{4,032} \cdot H_r + \frac{22,4}{18,016} \cdot W_r + O_{H_2O}^V = \frac{44,8}{4,032} \cdot 0,0477 + \frac{22,4}{18,016} \cdot 0,3 + 0,05469 = 0,9582 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

minimální objem vlhkých spalin

$$O_{SV_{min}} = O_{SS_{min}} + O_{H_2O}^S = 3,352 + 0,9582 = 4,311 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem spalin z 1 kg paliva s přebytkem vzduchu $\alpha = 1,5$

$$O_{SV} = O_{SV_{min}} + (\alpha - 1) \cdot O_{VV_{min}} = 4,311 + (1,5 - 1) \cdot 3,473 = 6,047 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Entalpie vzduchu a spalin

Při tepelné bilanci kotlů je nutné vyjádřit teplo, které je spalinám odebíráno. Pro tento případ je vhodné použít entalpii spalin.

měrné entalpie složek spalin:

$$i_{CO_2}^t = 272,1 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{SO_2}^t = 299,3 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{H_2O}^t = 224 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{N_2}^t = 195,5 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{Ar}^t = 139,5 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{pop}^t = 129,1 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{VS}^t = 200,3 \text{ kJ/Nm}^3$$

poměrný úlet popílku z ohniště $a_{\dot{u}} = 0,8$

entalpie minimálního množství vzduchu při teplotě t_k

$$I_{V_{min}}^t = O_{VS_{min}} \cdot i_{VS}^t + O_{H_2O}^V \cdot i_{H_2O}^t = 3,418 \cdot 200,3 + 0,05469 \cdot 224 = 696,9 \text{ kJ/kg}$$

entalpie stechiometrických spalin

$$\begin{aligned} I_{S_{min}}^t &= O_{CO_2} \cdot i_{CO_2}^t + O_{SO_2} \cdot i_{SO_2}^t + O_{N_2} \cdot i_{N_2}^t + O_{Ar} \cdot i_{Ar}^t + O_{H_2O}^S \cdot i_{H_2O}^t + a_{\dot{u}} \cdot A_r \cdot i_{pop}^t = \\ &= 0,6515 \cdot 272,1 + 1,56 \cdot 10^{-5} \cdot 299,3 + 2,669 \cdot 195,5 + 0,03145 \cdot 139,5 + \\ &+ 0,9582 \cdot 224 + 0,8 \cdot 0,0113 \cdot 129,1 = 919,3 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

entalpie spalin

$$I_S^{t,\alpha} = I_{S_{min}}^t + (\alpha - 1) \cdot I_{V_{min}}^t = 919,3 + (1,5 - 1) \cdot 696,9 = 1\,267,8 \text{ kJ/kg}$$

komínová ztráta

$$Z_K = \frac{(1 - Z_C) \cdot (I_S^{t,\alpha} - \alpha \cdot I_{VZ})}{Q_i^r} = \frac{(1 - 0,012) \cdot (1\,267,8 - 1,5 \cdot 124,2)}{12\,885} = 0,08312$$

kde I_{VZ} je entalpie vzduchu při teplotě $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Tepelné ztráty kotle

Hodnoty tepelných ztrát uvedené dále byly zadány.

ztráta mechanickým nedopalem $Z_C = 0,012$

ztráta chemickým nedopalem $Z_{CO} = 0,0056$

ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků $Z_f = 0,0013$

ztráta sáláním a vedením do okolí $Z_{SV} = 0,01$

účinnost kotle

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - Z_C - Z_{CO} - Z_f - Z_{SV} - Z_K = 1 - 0,012 - 0,0056 - 0,0013 - 0,01 - 0,08312 = \\ &= 88,8 \text{ \% [6]} \end{aligned}$$

4.2 Hnědé uhlí

složení: kostka 2

Složení převzato z [27].

obsah vody v původním stavu $W_r = 30,2 \text{ \%}$

prvkové složení hořlaviny $C_{daf} = 71,44 \%$

$$H_{daf} = 5,47 \%$$

$$N_{daf} = 0,89 \%$$

$$O_{daf} = 21,98 \%$$

obsah popela v bezvodém stavu $A_d = 9,8 \%$

obsah síry v původním stavu $S_r = 0,77 \%$

výhřevnost $Q_i^r = 17\,600 \text{ kJ/kg}$

Výpočet je totožný jako u palivového dřeva. Budou zde uvedeny pouze dílčí a celkové výsledky bez postupů.

Výpočet složení paliva v původním stavu

$$A_r = 0,0684$$

$$C_r = 0,4498$$

$$H_r = 0,0344$$

$$N_r = 0,0056$$

$$O_r = 0,1384$$

výpočet účinnosti paliva pro $t_k = 180 \text{ °C}$ a $\alpha = 1,45$

minimální objem kyslíku pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{O_2min} = 0,9383 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

minimální objem suchého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{VSmin} = 4,468 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

minimální objem vlhkého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{VVmin} = 4,54 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem vodní páry

$$O_{H_2O}^V = 0,07149 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

skutečné množství spalovacího vzduchu

$$O_{VV} = 6,583 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objemy jednotlivých složek, které vznikají při spalování

$$O_{CO_2} = 0,835 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$O_{SO_2} = 0,005257 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$O_{N_2} = 3,492 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$O_{Ar} = 0,04111 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem suchých spalin

$$O_{SS_{min}} = 4,373 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem vodní páry v minimálním objemu vlhkých spalin

$$O_{H_2O}^S = 0,8296 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

minimální objem vlhkých spalin

$$O_{SV_{min}} = 5,203 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

objem spalin z 1 kg paliva s přebytkem vzduchu $\alpha = 1,45$

$$O_{SV} = 7,246 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Entalpie vzduchu a spalin

měrné entalpie složek spalin:

$$i_{CO_2}^t = 327,8 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{SO_2}^t = 360,2 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{H_2O}^t = 276 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{N_2}^t = 234,6 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{Ar}^t = 167,3 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{pop}^t = 155,5 \text{ kJ/Nm}^3$$

$$i_{VS}^t = 240,5 \text{ kJ/Nm}^3$$

poměrný úlet popílku z ohniště $a_{\dot{u}} = 0,8$

entalpie minimálního množství vzduchu při teplotě t_k

$$I_{V_{min}}^t = 1\,094,3 \text{ kJ/kg}$$

entalpie stechiometrických spalin

$$I_{S_{min}}^t = 1\,339,2 \text{ kJ/kg}$$

entalpie spalin

$$I_S^{t,\alpha} = 1\,831,6 \text{ kJ/kg}$$

komínová ztráta

$$Z_K = 0,09276$$

Tepelné ztráty kotle

Hodnoty tepelných ztrát uvedené dále byly zadány.

ztráta mechanickým nedopalem $Z_C = 0,0115$

ztráta chemickým nedopalem $Z_{CO} = 0,0008$

ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků $Z_f = 0,004$

ztráta sáláním a vedením do okolí $Z_{SV} = 0,006$

účinnost kotle

$$\eta = 88,5 \% [6]$$

4.3 Zemní plyn

složení:

Složení převzato z [28].

$$\text{CH}_4 = 98 \%$$

$$\text{vyšší uhlovodíky (C}_2\text{H}_6) = 11,6 \%$$

$$\text{CO}_2 = 0,05 \%$$

$$\text{N}_2 = 0,79 \%$$

Výhřevnost je nutné převést z kWh na kJ podle následujícího převodu 1 kWh = 3 600 kJ.

$$\text{výhřevnost } Q_i^r = 9,5 \text{ kWh/m}^3 = 34\,200 \text{ kJ/m}^3$$

molární hmotnosti složek plynu

$$M_{\text{CH}_4} = 16,042 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{C}_2\text{H}_6} = 30,068 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 44,01 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{N}_2} = 28,01 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{C}} = 12,01 \text{ kg/mol}$$

$$M_{\text{H}_2} = 2,016 \text{ kg/mol}$$

celková molární hmotnost plynu

$$\begin{aligned} M &= o_{\text{CH}_4} \cdot M_{\text{CH}_4} + o_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot M_{\text{C}_2\text{H}_6} + o_{\text{CO}_2} \cdot M_{\text{CO}_2} + o_{\text{N}_2} \cdot M_{\text{N}_2} = \\ &= 0,98 \cdot 16,042 + 0,116 \cdot 30,068 + 0,0005 \cdot 44,01 + 0,0079 \cdot 28,01 = 19,45 \text{ kg/mol} \end{aligned}$$

hmotnostní podíly prvků v plynu

$$\begin{aligned} C_r &= \frac{M_{\text{C}}}{M} \cdot (1 \cdot o_{\text{CH}_4} + 2 \cdot o_{\text{C}_2\text{H}_6} + o_{\text{CO}_2}) = \frac{12,01}{19,45} \cdot (1 \cdot 0,98 + 2 \cdot 0,116 + 0,0005) = \\ &= 0,7486 \text{ kg/kg} \end{aligned}$$

$$H_r = \frac{M_{H_2}}{M} \cdot \left(\frac{4}{2} \cdot o_{CH_4} + \frac{6}{2} \cdot o_{C_2H_6} \right) = \frac{2,016}{19,45} \cdot (2 \cdot 0,98 + 3 \cdot 0,116) = 0,2392 \text{ kg/kg}$$

$$N_r = \frac{M_{N_2}}{M} \cdot o_{N_2} = \frac{28,01}{19,45} \cdot 0,0079 = 0,01138 \text{ kg/kg}$$

výpočet účinnosti paliva pro $t_k = 120 \text{ °C}$ a $\alpha = 1,1$

minimální objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 Nm^3 plynu

$$O_{O_2min} = \left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot o_{CH_4} + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot o_{C_2H_6} = 2 \cdot 0,98 + 3,5 \cdot 0,116 = 2,366 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

minimální objem suchého vzduchu pro dokonalé spálení 1 Nm^3 plynu

$$O_{VSmin} = \frac{O_{O_2min}}{0,21} = \frac{2,366}{0,21} = 11,27 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Podíl vodní páry, který připadá na 1 Nm^3 suchého vzduchu se vyjadřuje součinitelem χ_v . Pro běžné klimatické podmínky je jeho hodnota $\chi_v = 1,016$.

minimální objem vlhkého vzduchu pro dokonalé spálení 1 kg paliva

$$O_{VVmin} = \chi_v \cdot O_{VSmin} = 1,016 \cdot 11,27 = 11,45 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

skutečné množství spalovacího vzduchu

$$O_{VV} = \alpha \cdot O_{VVmin} = 1,1 \cdot 11,45 = 12,595 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

objem vodní páry

$$O_{H_2O}^V = O_{VVmin} - O_{VSmin} = 11,45 - 11,27 = 0,18 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

dílčí objemy složek suchých spalin

$$\begin{aligned} O_{CO_2} &= o_{CO_2} + 0,994 \cdot (1 \cdot o_{CH_4} + 2 \cdot o_{C_2H_6}) + 0,0003 \cdot O_{VSmin} = \\ &= 0,0005 + 0,994 \cdot (0,98 + 2 \cdot 0,116) + 0,0003 \cdot 11,27 = 1,209 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

$$O_{N_2} = o_{N_2} + 0,7805 \cdot O_{VSmin} = 0,0079 + 0,7805 \cdot 11,27 = 8,802 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

výsledný objem suchých spalin

$$O_{SSmin} = O_{CO_2} + O_{N_2} = 1,209 + 8,802 = 10,01 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

objem vodní páry ve spalínách po stechiometrickém spálení plynu

$$O_{H_2O}^S = \frac{4}{2} \cdot o_{CH_4} + \frac{6}{2} \cdot o_{C_2H_6} + O_{H_2O}^V = 2 \cdot 0,98 + 3 \cdot 0,116 + 0,18 = 2,488 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

minimální objem vlhkých spalín

$$O_{SV_{min}} = O_{SS_{min}} + O_{H_2O}^S = 10,01 + 2,488 = 12,5 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

objem spalín z 1 Nm³ paliva s přebytkem vzduchu $\alpha = 1,1$

$$O_{SV} = O_{SV_{min}} + (\alpha - 1) \cdot O_{VV_{min}} = 12,5 + (1,1 - 1) \cdot 11,45 = 13,645 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

Entalpie vzduchu a spalín

měrné entalpie složek spalín

$$i_{CO_2}^t = 216,3 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{H_2O}^t = 183,7 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{N_2}^t = 156,3 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

$$i_{V_S}^t = 160 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

entalpie minimálního množství vzduchu při teplotě t_k

$$I_{V_{min}}^t = O_{V_S_{min}} \cdot i_{V_S}^t + O_{H_2O}^V \cdot i_{H_2O}^t = 11,27 \cdot 160 + 0,18 \cdot 183,7 = 1\,835,8 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

entalpie stechiometrických spalín

$$\begin{aligned} I_{S_{min}}^t &= O_{CO_2} \cdot i_{CO_2}^t + O_{N_2} \cdot i_{N_2}^t + O_{H_2O}^S \cdot i_{H_2O}^t = \\ &= 1,209 \cdot 216,3 + 8,802 \cdot 156,3 + 2,488 \cdot 183,7 = 2\,094,2 \text{ kJ}/\text{Nm}^3 \end{aligned}$$

entalpie spalín

$$I_S^{t,\alpha} = I_{S_{min}}^t + (\alpha - 1) \cdot I_{V_{min}}^t = 2\,094,2 + (1,1 - 1) \cdot 1\,835,8 = 2\,277,8 \text{ kJ}/\text{Nm}^3$$

komínová ztráta

$$Z_K = \frac{(I_S^{t,\alpha} - \alpha \cdot I_{VZ})}{Q_i^r} = \frac{(2\,277,8 - 1,1 \cdot 124,2)}{34\,200} = 0,06261$$

kde l_{VZ} je entalpie vzduchu při teplotě $t = 25\text{ °C}$

Tepelné ztráty kotle

Hodnoty tepelných ztrát uvedené dále byly zadány.

ztráta chemickým nedopalem $Z_{CO} = 0,005$

ztráta sáláním a vedením do okolí $Z_{SV} = 0,01$

účinnost kotle

$$\eta = 1 - Z_{CO} - Z_{SV} - Z_K = 1 - 0,005 - 0,01 - 0,06261 = 92,2\% \text{ [6]}$$

5 Porovnání paliv

Pro porovnání paliv bude dále určeno z vypočítané účinnosti spalovacího zařízení množství tepla, které se získá spálením 1 tuny paliva. Poté bude vypočítána cena za 1 MJ tepla a paliva budou mezi sebou porovnána z hlediska účinnosti, množství spalin a množství produkovaného popela.

5.1 Hnědé uhlí

typ hnědého uhlí: kostka 2

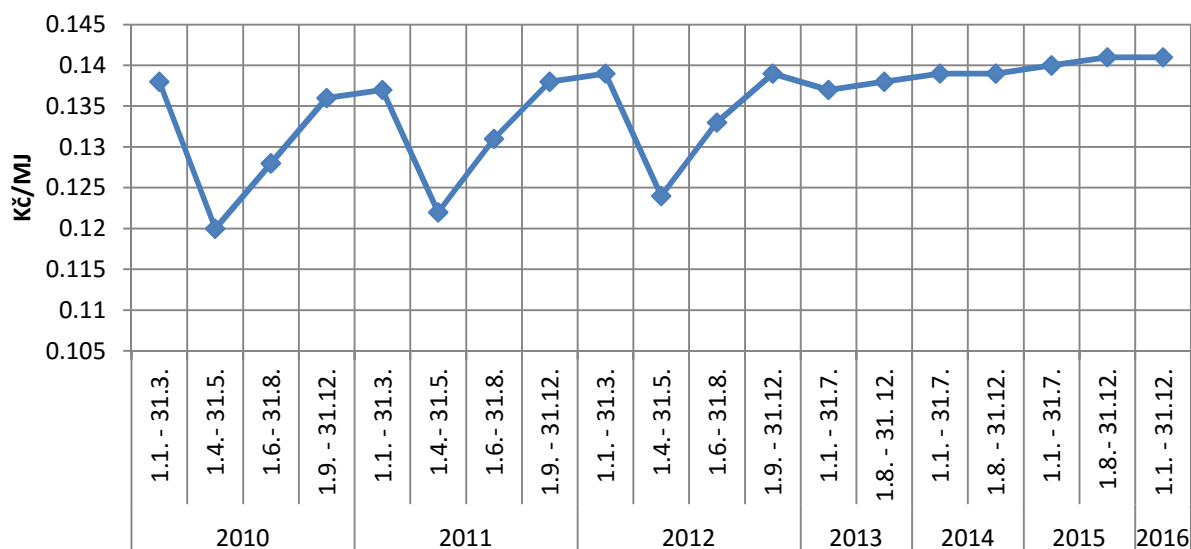
$$Q_{pal} = Q_i \cdot n = 17\,600 \cdot 1\,000 = 17\,600\,000 \text{ kJ/t}$$

$$Q_v = Q_{pal} \cdot \eta = 17\,600\,000 \cdot 0,885 = 15\,576\,000 \text{ kJ/t} = 15\,576 \text{ MJ/t}$$

cena pro rok 2016

$$cena \text{ za } 1 \text{ MJ} = \frac{cena \text{ } 1 \text{ t}}{množství \text{ MJ v } 1 \text{ t}} = \frac{2\,190}{15\,576} = 0,141 \text{ Kč/MJ}$$

Na obr. 5 je graf vývoje cen za 1 MJ tepelné energie. Kompletní přehled cen je uveden v příloze 5.



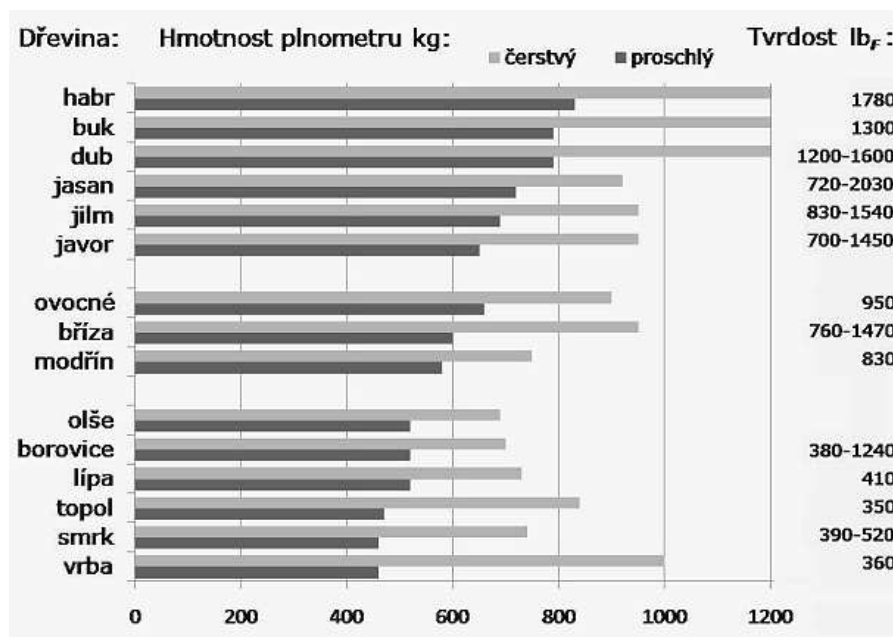
Obr. 5: Graf vývoje cen za 1 MJ tepla pro hnědé uhlí druh kostka 2

5.2 Palivové dřevo

$$Q_{pal} = Q_i \cdot n = 12\,855 \cdot 1\,000 = 12\,855\,000 \text{ kJ/t}$$

$$Q_v = Q_{pal} \cdot \eta = 12\,855\,000 \cdot 0,888 = 11\,415\,240 \text{ kJ/t} = 11\,415 \text{ MJ/t}$$

Pro přepočítání objemu na hmotnost dřeva bude uvažováno dubové a smrkové proschlé dřevo z obr. 6.



Obr. 6: Hmotnost 1 m³ různých druhů dřevin [29]

dubové dřevo: $1 \text{ m}^3 = 790 \text{ kg}$

$1 \text{ t} = 1,27 \text{ m}^3$

cena pro 1. čtvrtletí roku 2016

$\text{cena } 1 \text{ t} = \text{cena } 1 \text{ m}^3 \cdot 1,27 = 1\,037 \cdot 1,27 = 1\,317 \text{ Kč}$

$\text{cena za } 1 \text{ MJ} = \frac{\text{cena } 1 \text{ t}}{\text{MJ/t}} = \frac{1\,317}{11\,415} = 0,115 \text{ Kč/MJ}$

smrkové dřevo: $1 \text{ m}^3 = 430 \text{ kg}$

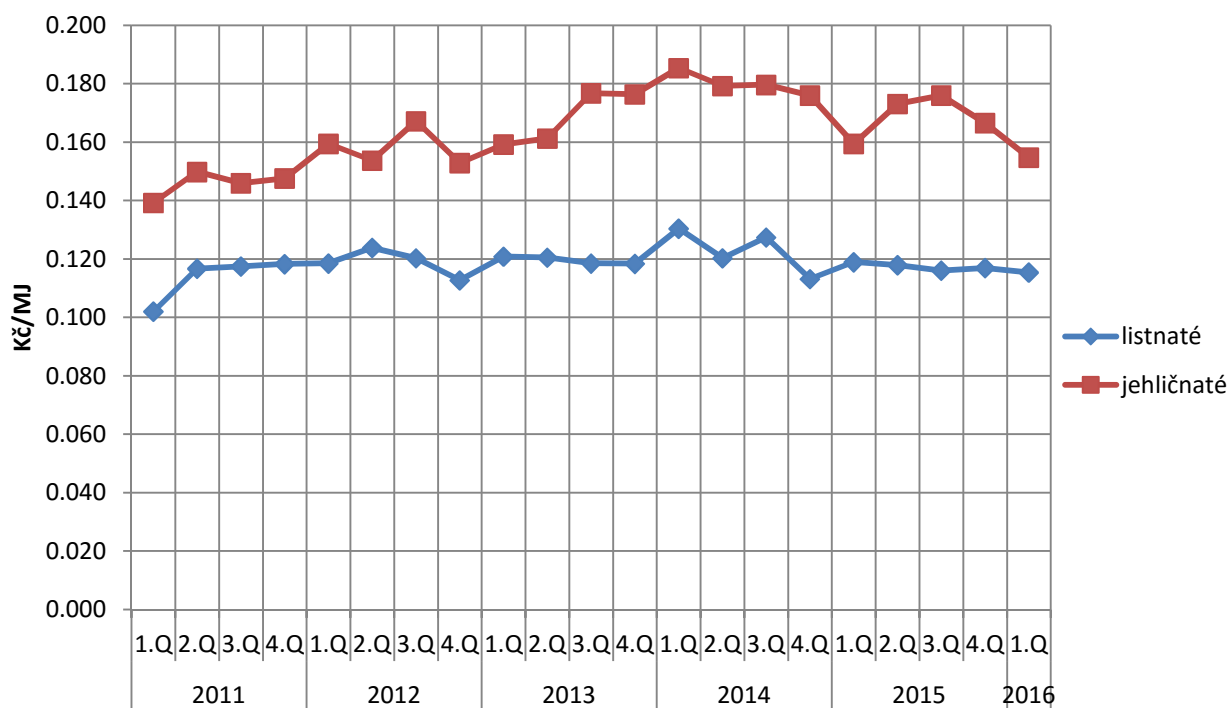
$1 \text{ t} = 2,33 \text{ m}^3$

cena pro 1. čtvrtletí roku 2016

$\text{cena } 1 \text{ t} = \text{cena } 1 \text{ m}^3 \cdot 2,33 = 758 \cdot 2,33 = 1\,766 \text{ Kč}$

$\text{cena za } 1 \text{ MJ} = \frac{\text{cena } 1 \text{ t}}{\text{MJ/t}} = \frac{1\,766}{11\,415} = 0,155 \text{ Kč/MJ}$

Na obr. 7 je graf vývoje cen za 1 MJ tepelné energie. Kompletní přehled cen je uveden v příloze 6.



Obr. 7: Graf vývoje cen za 1 MJ tepla pro dřevo

5.3 Zemní plyn

$$Q_{pal} = Q_i \cdot n = 34\,200 \cdot 1\,449,3 = 49\,565\,217 \text{ kJ/t}$$

$$Q_v = Q_{pal} \cdot \eta = 49\,565\,217 \cdot 0,922 = 45\,699\,130 \text{ kJ/t} = 45\,699 \text{ MJ/t}$$

hustota zemního plynu $\rho = 0,69 \text{ kg/m}^3$

$$1 \text{ m}^3 = 10,55 \text{ kWh}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1000}{0,69} = 1\,449,3 \text{ m}^3 \rightarrow 1 \text{ t} = 1\,449,3 \text{ m}^3 \text{ zemního plynu}$$

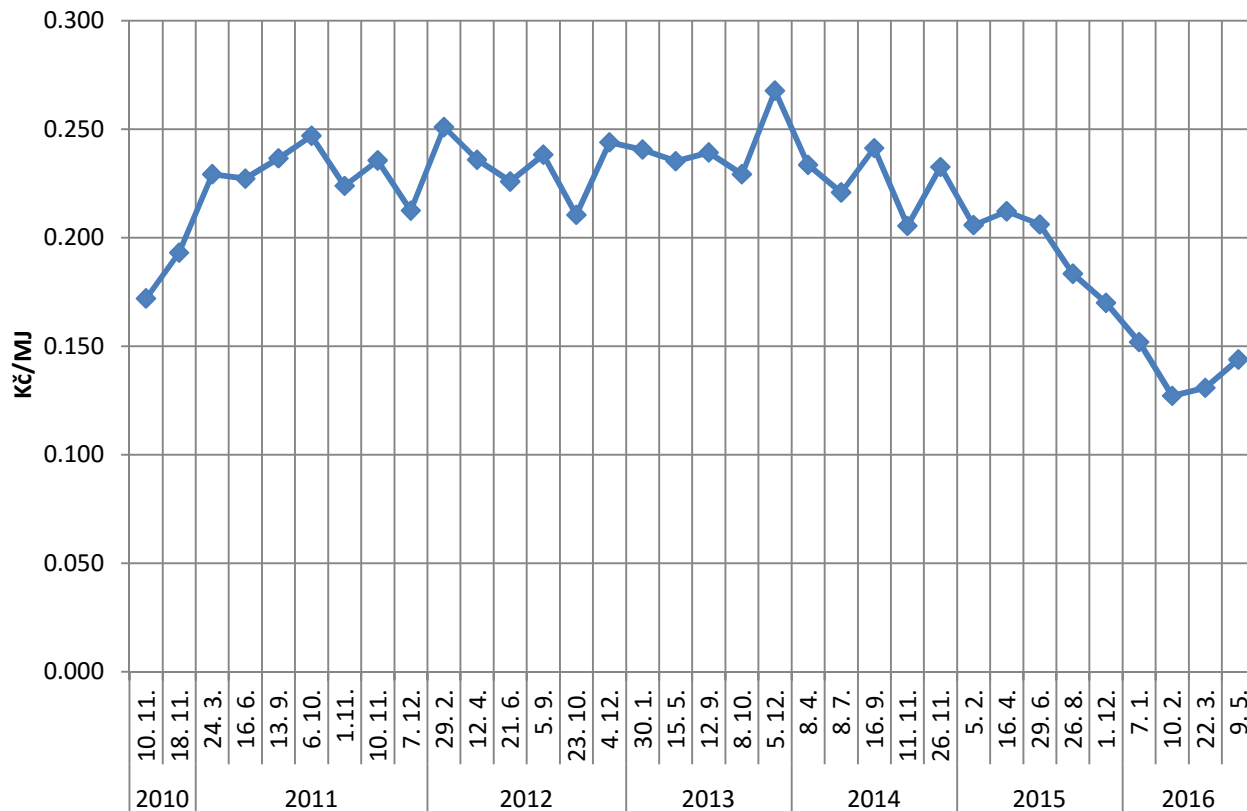
cena pro velkooběratele pro 7. 1. 2016

$$1 \text{ t} = 1449,3 \text{ m}^3 = 15,29 \text{ MWh}$$

$$\text{cena } 1 \text{ t} = \text{cena } 1 \text{ MWh} \cdot 15,29 = 454 \cdot 15,29 = 6\,942 \text{ Kč}$$

$$\text{cena za } 1 \text{ MJ} = \frac{\text{cena } 1 \text{ t}}{\text{MJ/t}} = \frac{6\,942}{45\,699} = 0,152 \text{ Kč/MJ}$$

Na obr. 7 je graf vývoje cen za 1 MJ tepla. Kompletní seznam cen je uveden v příloze 7.



Obr. 8: Graf vývoje cen zemního plynu za 1 MJ tepla pro velkooběh

cena pro maloodběratele pro rok 2016 v pásmu do 1,89 MJ/rok

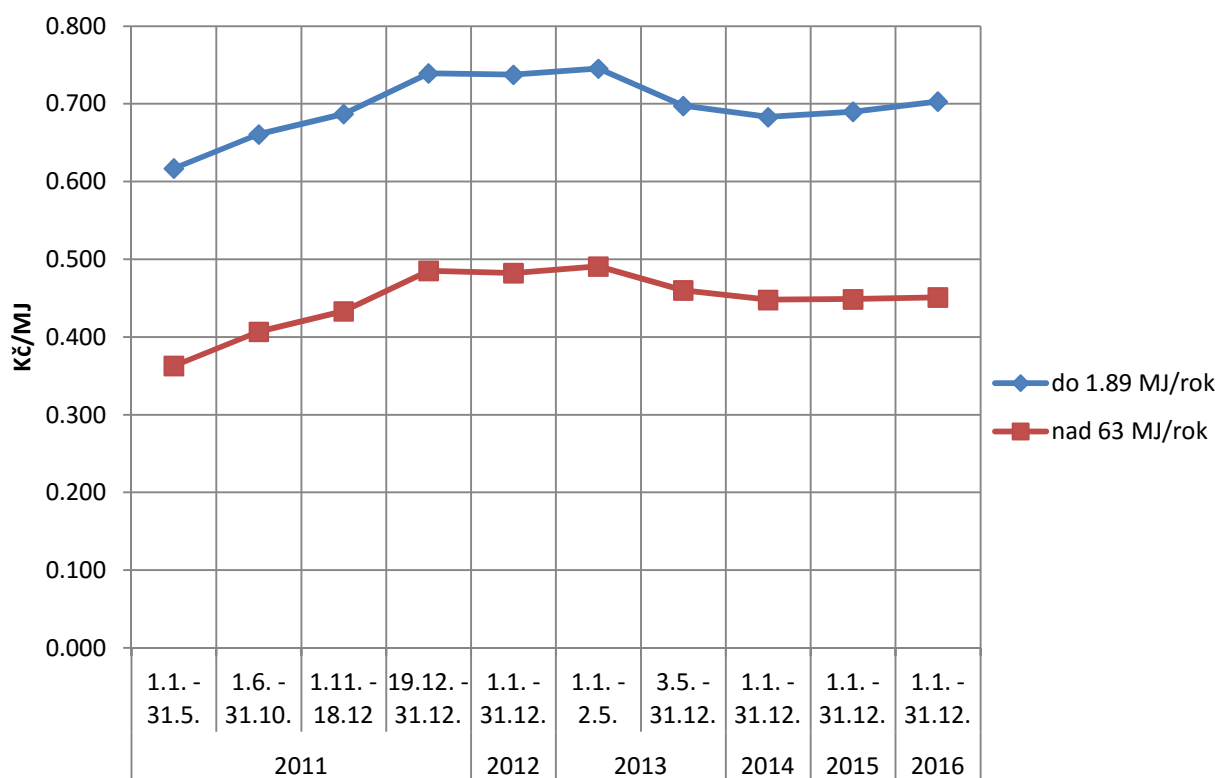
$$1 \text{ t} = 1449,3 \text{ m}^3 = 15,29 \text{ MWh}$$

$$\text{cena } 1 \text{ t} = \text{cena } 1 \text{ MWh} \cdot 15,29 = 2\,101,36 \cdot 15,29 = 32\,130 \text{ Kč}$$

$$\text{cena za } 1 \text{ MJ} = \frac{\text{cena } 1 \text{ t}}{\text{MJ/t}} = \frac{32\,130}{45\,699} = 0,703 \text{ Kč/MJ}$$

Na obr. 8 je uveden vývoj cen za 1 MJ tepelné energie pro dvě roční pásma spotřeby.

Kompletní seznam cen je uveden v příloze 8.



Obr. 9: Graf vývoje cen zemního plynu za 1 MJ pro maloodběr

V tab. 3 jsou uvedeny konečné výsledky výpočtů.

Tab. 3: Souhrn výsledků

	hnědé uhlí kostka 2	palivové dřevo		zemní plyn	
		listnaté	jehličnaté	velkoodběr	maloodběr
účinnost [%]	88,5	88,8	88,8	92,2	92,2
množství spalin [Nm ³ /kg] [Nm ³ /Nm ³]	7,246	6,047	6,047	13,645	13,645
množství spalovacího vzduchu [Nm ³ /kg] [Nm ³ /Nm ³]	6,583	5,21	5,21	12,595	12,595
cena za 1 MJ rok 2016 [Kč/MJ]	0,155	0,115	0,155	0,152	0,703

Cena 1 MJ tepelné energie získaného spalováním listnatého dřeva vychází nejnižší. V roce 2016 to je 0,115 Kč. Pro hnědé uhlí a jehličnaté dřevo je cena za 1 MJ energie 0,155 Kč. U zemního plynu je cena pro největší odběry 0,152 Kč/MJ. Se snižující se spotřebou se cena zvyšuje až na 0,703 Kč/MJ v pásmu ročního odběru do 1,89 MWh/rok pro rok 2016. Nejnižší účinnost má hnědé uhlí, nejvyšší zemní plyn. Hnědé uhlí produkuje vyšší množství spalin než dřevo a množství vzduchu potřebné pro spálení 1 kg paliva je 6,583 Nm³/kg. U dřeva to je 5,21 Nm³/kg. Výhodou dřeva je tedy vyšší účinnost, nižší množství spalin, spalovacího vzduchu a nižší cena za 1 MJ/kg, avšak množství tepla získané z 1 t paliva je menší než u hnědé uhlí. Zemní plyn má účinnost 92,2 % a získané množství tepla z 1 t je 45 699 MJ. Těmito hodnotami výrazně převyšuje ostatní uvedená paliva. Má však vyšší množství spalin a spalovacího vzduchu a i ceny jsou ve většině případů vyšší.

Závěr

Cílem práce bylo vytvořit rešerši vývoje cen paliv a dále zjistit vlastnosti paliv z hlediska jejich spalování a výroby tepelné energie. Vybrány byly hnědé uhlí, palivové dřevo a zemní plyn.

Hnědé uhlí během let 2010, 2011 a 2012 zaznamenalo v každém z těchto roků mírný pokles a opětovný nárůst ceny. Od roku 2013 dosud nedocházelo k výrazným výkyvům a cena nepatrně, ale plynule stoupala. Cena palivového dřeva, ať jehličnatého tak listnatého, se od roku 2011 příliš neměnila až na nepatrné zdražení v řádu stokorun za 1 m³ v roce 2014. Ceny zemního plynu pro velkoobchodce po citelném zdražení na začátku roku 2011 se v dalších letech pohybovaly mezi 600 - 800 Kč/MWh. Na začátku roku 2015 došlo k propadu cen až na hodnotu 380 Kč/MWh. Pokles byl zastaven až v 1. čtvrtletí roku 2016. Avšak pokles cen plynu na světových burzách se příliš nepromítl do maloobchodních cen, které se za celé období pohybovaly v rozmezí 1 000 - 1 500 Kč/MWh v pásmu ročního odběru nad 63 MWh/rok. Při nižších spotřebách byly ceny vyšší.

Z hlediska spalování a výroby tepelné energie má nejvyšší účinnost, a to 92,2 %, zemní plyn, který má u velkooběru velice výhodnou cenu za vyrobený 1 MJ tepla. V roce 2016 to je kolem 0,15 Kč/MJ. Čím se spotřeba za rok snižuje, tím je cena vyšší. Pro nejmenší spotřebu do 1,89 MWh/rok dosahuje cena v roce 2016 hranice 0,7 Kč/MJ. Výhodou tohoto paliva je, že na rozdíl od hnědé uhlí, které má obsah popela až 30 % a palivového dřeva (obsah popela v intervalu 1 - 4 %), nedochází k produkci popela a není potřeba se starat o jeho likvidaci. Pro spotřebitele je výhodnější zemní plyn také z hlediska dopravy, která je podstatně jednodušší než u tuhých paliv. Hnědé uhlí má účinnost 88,5 %. Podobně je na tom také dřevo, které má účinnost 88,8 %. Ceny za 1 m³ listnatého dřeva jsou vyšší než jehličnatého, avšak po přepočtu ceny na 1 MJ vyrobené energie vychází jako výhodnější právě dřevo listnaté, jehož cena je v roce 2016 0,115 Kč/MJ. Naproti tomu cena dřeva jehličnatého je 0,155 Kč/MJ. Hnědé uhlí je na tom s cenami podobně jako jehličnaté dřevo, ale má vyšší množství spalin. Dlouhodobě nejvýhodnějším palivem je listnaté palivové dřevo, které má v přepočtu nejnižší cenu za 1 MJ tepelné energie a má nižší obsah popela než hnědé uhlí. Zemní plyn se snadněji dopravuje ke spotřebiteli a také neprodukuje žádný popel, ale jeho cena při nižších spotřebách významně přesahuje ostatní dvě paliva.

Seznam použité literatury

1. Knižní publikace

[1] Landa, S. *Paliva a jejich použití*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1951.

[2] Kameš, J. *Fosilní paliva*. Praha: ČZU, 2012. ISBN 978-80-260-3499-5

[3] Jeníček, V., Foltýn J. *Globální problémy světa - v ekonomických souvislostech*. Praha: C. H. Beck, 2010. ISBN 978-80-7400-326-4

[4] Vošta, J., Macák, J., Matějka, Z. *Energetika*. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-358-5

[5] Blažek J., Rábl V.: *Základy zpracování a využití ropy*. Praha: VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-619-2

[6] Dlouhý, T. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-03757-7

2. internetové zdroje

[7] Výzkumné energetické centrum, Technická univerzita Ostrava [online].[cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/spalovani-tuhych-paliv.pdf>

[8] Výzkumné energetické centrum, Technická univerzita Ostrava [online].[cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://vec.vsb.cz/cs/doc/charakteristiky.pdf>

[9] ČEZ, a.s. [online].[cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/pro-media-2014/05-kveten/encyklopedie_fosilni-paliva_e.pdf

[10] Topimeraselinou.cz [online].[cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.topeniraselinou.cz/>

[11] Topimeraselinou.cz [online].[cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.topeniraselinou.cz/vyhrevnost-paliv/>

[12] Geologická encyklopedie [online].[cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?uhli>

[13] transformacni-technologie.cz. [online].[cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/fosilni-paliva-jejich-vyuziti-v-energetice-a-ekologicke-dopady.html>

[14] OKD a.s. [online].[cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.okd.cz/cs/tezime-uhli/jak-uhli-vzniklo/vznik-ostravsko-karvinskeho-uhli>

- [15] OKK koksovny a.s. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [16] energetika.cvut.cz [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/files/D%20-%20Kotel-ucinnost.pdf>
- [17] petroleum.cz [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=117>
- [18] tezba-a-vyuziti-cerneho-uhli.webnode.cz [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://tezba-a-vyuziti-cerneho-uhli.webnode.cz/uhli/rozdeleni/>
- [19] drevomorava.cz [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.drevomorava.cz/inpage/vse-o-palivovem-drivi/>
- [20] stavebniklub.cz [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: http://www.stavebniklub.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjhvhWt6GT3USXlrOJOsxxwBR3d1XzoplWXs7jrjz_st-3-A4fw
- [21] RWE [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.rwe.cz/o-rwe/vlastnosti-zp/>
- [22] Tomegas s.r.o. [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.tomegas.cz/co-je-propan-butan/>
- [23] petroleum.cz [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/topne-oleje.aspx>
- [24] Severočeské doly a.s. [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.sd-bilinskeuhli.cz/aktivity/prodej-uhli/cenik.aspx>
- [25] Český statistický úřad [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&zo=N&pvo=CEN12C&nahled=N&sp=N&katalog=31787&verze=1&z=T&f=TABULKA&filtr=G~F_M~F_Z~F_R~F_P~_S~_null_null_&str=v125&c=v143~3__RP2011
- [26] Českomoravská komoditní burza Kladno [online]. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <https://www.cmkbk.cz/energeticka-burza/aktualni-grafy/grafy-zemni-plyn/?se=VO1R&re=&od=2010-01-01&do=2016-05-28>
- [27] pentaco.cz [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.pentaco.cz/files/upload/file/Katalog_SD_2011_12.pdf
- [28] RWE [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.rwe.cz/o-rwe/zemni-plyn/>

[29] bspholding.cz [online].[cit. 2016-05-28]. Dostupné z:
<http://www.bspholding.cz/hmotnost.html>

[30] tzb-info.cz [online].[cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

[31] Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně [online].[cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://ldf.mendelu.cz/ugp/wp-content/ugp-files/attachment/raseliny.pdf>

[32] tzb-info.cz [online].[cit. 2016-06-04]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2040-porovnani-spalovacich-vlastnosti-jednotlivych-druhu-paliv-a-energi>

Seznam příloh

Příloha 1: Vývoj cen palivového dřeva

Příloha 2: Vývoj cen hnědého uhlí

Příloha 3: Vývoj cen zemního plynu pro velkoodběratele

Příloha 4: Vývoj cen zemního plynu pro maloobtěratele

Příloha 5: Vývoj cen hnědého uhlí kostka 2 za 1 MJ vyrobené energie

Příloha 6: Vývoj cen palivového dřeva za 1 MJ vyrobené energie

Příloha 7: Vývoj cen zemního plynu pro velkoodběr za 1 MJ vyrobené energie

Příloha 8: Vývoj cen zemního plynu pro maloobtěr za 1 MJ vyrobené energie

Přílohy

Příloha 1: Vývoj cen palivového dřeva [25]

platnost cen		druhy dřeva	
		listnaté [Kč/m ³]	jehličnaté [Kč/m ³]
2011	1. Q	917	682
	2. Q	1 049	734
	3. Q	1 056	715
	4. Q	1 063	723
2012	1. Q	1 065	781
	2. Q	1 113	753
	3. Q	1 081	819
	4. Q	1 013	749
2013	1. Q	1 086	780
	2. Q	1 083	790
	3. Q	1 065	866
	4. Q	1 064	864
2014	1. Q	1 172	908
	2. Q	1 081	878
	3. Q	1 145	880
	4. Q	1 017	862
2015	1. Q	1 069	781
	2. Q	1 060	848
	3. Q	1 043	862
	4. Q	1 051	816
2016	1. Q	1 037	758

Příloha 2: Vývoj cen hnědého uhlí [24]

platnost cen		druhy paliv		
		kostka2 [Kč/t]	ořech1 [Kč/t]	ořech2 [Kč/t]
2010	1. 1. - 31. 3.	2 143	1 937	1 782
	1. 4. - 31. 5.	1 868	1 742	1 461
	1. 6. - 31. 8.	1 999	1 810	1 608
	1. 9. - 31. 12.	2 124	1 937	1 782
2011	1. 1. - 31. 3.	2 130	1 940	1 790
	1. 4. - 31. 5.	1 900	1 730	1 470
	1. 6. - 31. 8.	2 040	1 820	1 610
	1. 9. - 31. 12.	2 150	1 950	1 790
2012	1. 1. - 31. 3.	2 160	1 950	1 800
	1. 4. - 31. 5.	1 930	1 730	1 490
	1. 6. - 31. 8.	2 070	1 850	1 620
	1. 9. - 31. 12.	2 170	1 960	1 810
2013	1. 1 - 31. 7.	2 135	1 800	1 700
	1. 8. - 31. 12.	2 150	1 850	1 800
2014	1. 1 - 31. 7.	2 165	1 910	1 870
	1. 8. - 31. 12.	2 170	1 920	1 900
2015	1. 1 - 31. 7.	2 185	1 950	1 985
	1. 8. - 31. 12.	2 190	1 970	2 020
2016	1. 1 - 31. 12.	2 190	1 970	2 020

Příloha 3: Vývoj cen zemního plynu pro velkoodběratele [26]

platnost cen		cena zemního plynu [Kč/MWh]
2010	10. 11.	514
	18. 11.	577
2011	24. 3.	685
	16. 6.	679
	13. 9.	707
	6. 10.	738
	1. 11.	669
	10. 11.	704
	7. 12.	635
2012	29. 2.	750
	12. 4.	705
	21. 6.	675
	5. 9.	712
	23. 10.	629
	4. 12.	729
2013	30. 1.	719
	15. 5.	703
	12. 9.	715
	8. 10.	685
	5. 12.	800
2014	8. 4.	698
	8. 7.	660
	16. 9.	721
	11. 11.	614
	26. 11.	695
2015	5. 2.	615
	16. 4.	634
	29. 6.	616
	26. 8.	548
	1. 12.	508
2016	7. 1.	454
	10. 2.	380
	22. 3.	391
	9. 5.	430

Příloha 4: Vývoj cen zemního plynu pro malooběratele [30]

pásma ročního odběru [MWh/rok]	cena za odebraný plyn [Kč/MWh]												
	2011				2012				2013				2014
	1. 1. - 31. 5.	1. 6. - 31. 10.	1. 11. - 18. 12.	19. 12. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 2. 5.	3. 5. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 2. 5.	3. 5. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	
do 1,89	1844,11	1 975,1	2 053,76	2 209,64	2 204,5	2 227,71	2 084,68	2 204,5	2 227,71	2 084,68	2 041,52	2 041,52	
1,89 - 7,56	1 286,99	1 417,98	1 496,64	1 652,52	1 640,23	1 660,48	1 517,46	1 640,23	1 660,48	1 517,46	1 509,63	1 509,63	
7,56 - 15	1 196,86	1 327,85	1 406,51	1 562,39	1 553,45	1 575,14	1 432,12	1 553,45	1 575,14	1 432,12	1 442,54	1 442,54	
15 - 20	1 191,16	1 322,15	1 400,81	1 556,69	1 546,87	1 566,07	1 423,04	1 546,87	1 566,07	1 423,04	1 424,73	1 424,73	
20 - 25	1 185,92	1 316,92	1 395,58	1 551,46	1 539,9	1 559,73	1 416,7	1 539,9	1 559,73	1 416,7	1 415,48	1 415,48	
25 - 30	1 181,36	1 312,36	1 391,02	1 546,90	1 533,46	1 553,77	1 402,79	1 533,46	1 553,77	1 402,79	1 402,79	1 402,79	
30 - 35	1 175,53	1 306,52	1 385,18	1 541,06	1 531,67	1 553,48	1 393,22	1 531,67	1 553,48	1 393,22	1 393,22	1 393,22	
35 - 40	1 173,79	1 304,78	1 383,44	1 539,32	1 530,34	1 550,68	1 384,91	1 530,34	1 550,68	1 384,91	1 384,91	1 384,91	
40 - 45	1 170,83	1 301,82	1 380,48	1 536,36	1 524,25	1 546,46	1 378,41	1 524,25	1 546,46	1 378,41	1 378,41	1 378,41	
45 - 50	1 167,47	1 298,46	1 377,12	1 533	1 523,74	1 543,88	1 372,66	1 523,74	1 543,88	1 372,66	1 372,66	1 372,66	
50 - 55	1 165,92	1 296,91	1 375,57	1 531,45	1 522,09	1 542,88	1 366,25	1 522,09	1 542,88	1 366,25	1 366,25	1 366,25	
55 - 63	1 163,72	1 294,72	1 373,38	1 529,26	1 519,91	1 540,83	1 360,46	1 519,91	1 540,83	1 360,46	1 360,46	1 360,46	
nad 63	1 084,97	1 215,96	1 294,62	1 450,5	1 441,93	1 466,87	1 338,62	1 441,93	1 466,87	1 338,62	1 338,62	1 338,62	
	2015	2016											
[MWh/rok]	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.											
do 1,89	2 062,35	2 101,36											
1,89 - 7,56	1 526,03	1 537,10											
7,56 - 15	1 459,09	1 468,77											
15 - 25	1 437,19	1 445,78											
25 - 45	1 405,72	1 412,89											
45 - 63	1 368,98	1 373,82											
nad 63	1 341,21	1 348,23											

Příloha 5: Vývoj cen hnědého uhlí kostka 2 za 1 MJ vyrobené energie

	platnost cen	kostka 2 [Kč/MJ]
2010	1. 1. - 31. 3.	0,138
	1. 4. - 31. 5.	0,12
	1. 6. - 31. 8.	0,128
	1. 9. - 31. 12.	0,136
2011	1. 1. - 31. 3.	0,137
	1. 4. - 31. 5.	0,122
	1. 6. - 31. 8.	0,131
	1. 9. - 31. 12.	0,138
2012	1. 1. - 31. 3.	0,139
	1. 4. - 31. 5.	0,124
	1. 6. - 31. 8.	0,133
	1. 9. - 31. 12.	0,139
2013	1. 1 - 31. 7.	0,137
	1. 8. - 31. 12.	0,138
2014	1. 1 - 31. 7.	0,139
	1. 8. - 31. 12.	0,139
2015	1. 1 - 31. 7.	0,14
	1. 8. - 31. 12.	0,141
2016	1. 1 - 31. 12.	0,141

Příloha 6: Vývoj cen palivového dřeva za 1 MJ vyrobené energie

platnost cen		druhy dřeva	
		jehličnaté [Kč/MJ]	listnaté [Kč/MJ]
2011	1. Q	0,139	0,102
	2. Q	0,15	0,117
	3. Q	0,146	0,117
	4. Q	0,148	0,118
2012	1. Q	0,159	0,118
	2. Q	0,154	0,124
	3. Q	0,167	0,12
	4. Q	0,153	0,113
2013	1. Q	0,159	0,121
	2. Q	0,161	0,12
	3. Q	0,177	0,118
	4. Q	0,176	0,118
2014	1. Q	0,185	0,13
	2. Q	0,179	0,12
	3. Q	0,18	0,127
	4. Q	0,176	0,113
2015	1. Q	0,159	0,119
	2. Q	0,173	0,118
	3. Q	0,176	0,116
	4. Q	0,167	0,117
2016	1. Q	0,155	0,115

Příloha 7: Vývoj cen zemního plynu pro velkoobtěř za 1 MJ vyrobené energie

platnost cen		cena zemního plynu [Kč/MWh]
2010	10. 11.	0,172
	18. 11.	0,193
2011	24. 3.	0,229
	16. 6.	0,227
	13. 9.	0,237
	6. 10.	0,247
	1. 11.	0,224
	10. 11.	0,236
	7. 12.	0,212
2012	29. 2.	0,251
	12. 4.	0,236
	21. 6.	0,226
	5. 9.	0,238
	23. 10.	0,21
	4. 12.	0,244
2013	30. 1.	0,241
	15. 5.	0,235
	12. 9.	0,239
	8. 10.	0,229
	5. 12.	0,268
2014	8. 4.	0,234
	8. 7.	0,221
	16. 9.	0,241
	11. 11.	0,205
	26. 11.	0,233
2015	5. 2.	0,206
	16. 4.	0,212
	29. 6.	0,206
	26. 8.	0,183
	1. 12.	0,17
2016	7. 1.	0,152
	10. 2.	0,127
	22. 3.	0,131
	9. 5.	0,144

Příloha 8: Vývoj cen zemního plynu pro maloobtěř za 1 MJ vyrobené energie

pásmo ročního odběru [MWh/rok]	cena plynu [Kč/MJ]												
	2011						2012			2013			2014
	1. 1. - 31. 5.	1. 6. - 31. 10.	1. 11. - 18. 12.	19. 12. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 2. 5.	3. 5. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.	
do 1,89	0,617	0,661	0,687	0,739	0,738	0,745	0,556	0,697	0,683	0,505	0,483	0,477	
1,89 - 7,56	0,431	0,474	0,501	0,553	0,549	0,527	0,479	0,483	0,505	0,483	0,477	0,474	
7,56 - 15	0,4	0,444	0,471	0,523	0,52	0,527	0,479	0,483	0,505	0,483	0,477	0,474	
15 - 20	0,399	0,442	0,469	0,521	0,518	0,524	0,476	0,477	0,474	0,469	0,466	0,463	
20 - 25	0,397	0,441	0,467	0,519	0,515	0,522	0,474	0,474	0,469	0,466	0,463	0,461	
25 - 30	0,395	0,439	0,465	0,518	0,513	0,52	0,469	0,469	0,459	0,457	0,455	0,455	
30 - 35	0,393	0,437	0,463	0,516	0,512	0,52	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
35 - 40	0,393	0,437	0,463	0,515	0,512	0,519	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
40 - 45	0,392	0,436	0,462	0,514	0,51	0,517	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
45 - 50	0,391	0,434	0,461	0,513	0,51	0,517	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
50 - 55	0,390	0,434	0,46	0,512	0,509	0,516	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
55 - 63	0,389	0,433	0,46	0,512	0,509	0,516	0,468	0,468	0,458	0,455	0,455	0,455	
nad 63	0,363	0,407	0,433	0,485	0,482	0,491	0,46	0,448	0,448	0,448	0,448	0,448	
	2015	2016											
[MWh/rok]	1. 1. - 31. 12.	1. 1. - 31. 12.											
do 1,89	0,69	0,703											
1,89 - 7,56	0,511	0,514											
7,56 - 15	0,488	0,491											
15 - 25	0,481	0,484											
25 - 45	0,47	0,473											
45 - 63	0,458	0,46											
nad 63	0,449	0,451											