

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

NÁHRADA FOSILNÍCH PALIV VE VELKÝCH ENERGETICKÝCH ZDROJÍCH

FOSSIL FUELS SUBSTITUTION IN LARGE COMBUSTION PLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ZDENĚK HÁJEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL TOUŠ

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Zdeněk Hájek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Náhrada fosilních paliv ve velkých energetických zdrojích

v anglickém jazyce:

Fossil fuels substitution in large combustion plant

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na aktuální problematiku energetického využití obnovitelných zdrojů – spalování biomasy a fosilních paliv ve velkých energetických zdrojích. Předmětem práce je analýza možností integrace biomasových paliv do stávajících zařízení a plánování provozu takového zařízení. Jedná se o rozhodovací proces, který musí být z ekonomického hlediska výhodný. Proto se při rozhodování aplikují metody matematické optimalizace. Diplomant vypracuje dílčí úkoly související s návrhem optimalizační úlohy v systému GAMS. Připraví uživatelské rozhraní pro import, resp. export, dat do, resp. ze, systému GAMS a zpracování výsledků optimalizace v prostředí MS Excel. S využitím tohoto rozhraní pak vypracuje případovou studii.

Cíle diplomové práce:

Zhodnotit současný stav v problematice spalování biomasy a fosilních paliv.

Připraví uživatelské rozhraní pro komunikaci s optimalizačním systémem GAMS a zpracovat výsledky optimalizace v prostředí MS Excel.

S použitím uživatelského rozhraní vypracovat případovou studii integrace paliv na bázi biomasy do vybraného energetického provozu.

Seznam odborné literatury:

McCarl B., 2009, McCarl GAMS User Guide

Walkenbach J. Excel 2007, Power Programming with VBA, Wiley Publishing, Inc., 2007

De, S., and Assadi M., 2009, Impact of cofiring biomass with coal in power plants - A techno-economic assessment, Biomass and Bioenergy, 33(2), 283-293.

Loo v. S., Koppejan J., The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing, Earthscan, London, 2008

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Touš

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 9.10.2009

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na aktuální problematiku energetického využití obnovitelných zdrojů v podmínkách ČR, a to převážně na spalování biomasy a fosilních paliv ve velkých energetických zdrojích. V úvodní části je uveden přehled systémů pro spalování. Dále je představeno využití optimalizace pro řešení problému integrace biomasových paliv do stávajících zařízení a pro plánování provozu těchto zařízení. Hlavním bodem práce je vytvoření uživatelského rozhraní pro modelovací a optimalizační nástroj. Jeho funkčnost je ověřena při řešení případové studie zahrnující analýzu možností náhrady fosilních paliv při omezené dostupnosti uhlí na trhu.

Klíčová slova: biomasa, spalování, obnovitelné zdroje energie, OZE, výroba elektrické energie, optimalizace.

ABSTRACT

The thesis aims at current issues of using renewable resources here in the Czech Republic, mainly on biomass co-firing with fossil fuels in large combustion plant. The introduction provides an overview of systems for biomass co-firing. Further the using of optimization for solution problem of integration biomass fuels into existing large combustion plants and planning its operation conditions is presented. The main point of this thesis lies in creating of a user interface for modeling and optimization tool. Its functionality will be proved by solving a case study involving the analysis of possibilities for replacing fossil fuels due to the limited availability of coal in the market.

Keywords: biomass, co-firing, renewable energy sources, electricity production, optimization.

HÁJEK, Z. *Náhrada fosilních paliv ve velkých energetických zdrojích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 92 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Touš.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovával sám, s pomocí vedoucího diplomové práce, literatury a ostatních materiálů, které mi byly poskytnuty a které jsou uvedeny v závěru práce.

V Brně, dne 20. 5. 2010

.....
Podpis

Děkuji svému školiteli Ing. Michalu Toušovi za vedení mé diplomové práce, za ochotu a vstřícnost a hlavně za styl vysvětlování a konzultací nejasností týkajících se problematiky matematické optimalizace a programování ve VBA.

OBSAH

1. ÚVOD	10
1.1 Využití OZE v ČR a indikativní podíl.....	10
1.2 Spoluspalování jako jedna z cest	13
1.3 Potenciál spoluspalování v ČR.....	14
2. SYSTÉMY PRO SPOLUSPALOVÁNÍ	15
2.1 Technická řešení systémů spoluspalování.....	15
2.1.1 Rozdělení	15
2.1.2 Nakládání s přídatnými palivy	18
2.1.3 Předúprava paliv	19
2.1.4 Vlastní spalování	25
2.1.5 Technické výhody a nevýhody	25
2.1.6 Zkušenosti se spoluspalováním	26
2.2 Ekonomická stránka systémů spoluspalování	29
2.2.1 Zelená elektřina	30
2.2.2 Podpora kogenerační výroby	32
2.2.3 Obchodování s emisemi	33
2.2.4 Odsíření spalin.....	36
2.2.5 Výhody a nevýhody z pohledu ekonomiky	37
2.3 Paliva	37
2.3.1 Základní paliva	37
2.3.2 Přídatná paliva	41
2.3.3 Výhledy výroby elektřiny podle energetických zdrojů	43
3. OPTIMALIZACE PROVOZŮ VYUŽÍVAJÍCÍCH BIOMASU.....	45
3.1 Úvod	45
3.2 Model.....	46
3.3 Import/export dat	48
3.3.1 Nástroje GAMS	50
3.3.2 Import	52
3.3.3 Export	54
3.3.4 Typické struktury potřebné pro import.....	57
3.3.5 Uživatelské rozhraní	58
4. PŘÍPADOVÁ STUDIE	63
4.1 Popis řešených případů	63
4.1.1 Vstupní parametry paliv	63
4.1.2 Vstupní omezení kotlů.....	65
4.2 Příklad č. 1	65
4.3 Příklad č. 2	67
4.4 Příklad č. 3	69
4.5 Příklad č. 4	70
5. ZÁVĚR	72

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
PŘÍLOHY	79
Příloha č. 1	80
Příloha č. 2.....	81
Příloha č. 3.....	91
Tlačítka	91
Práce s názvy	92

1. ÚVOD

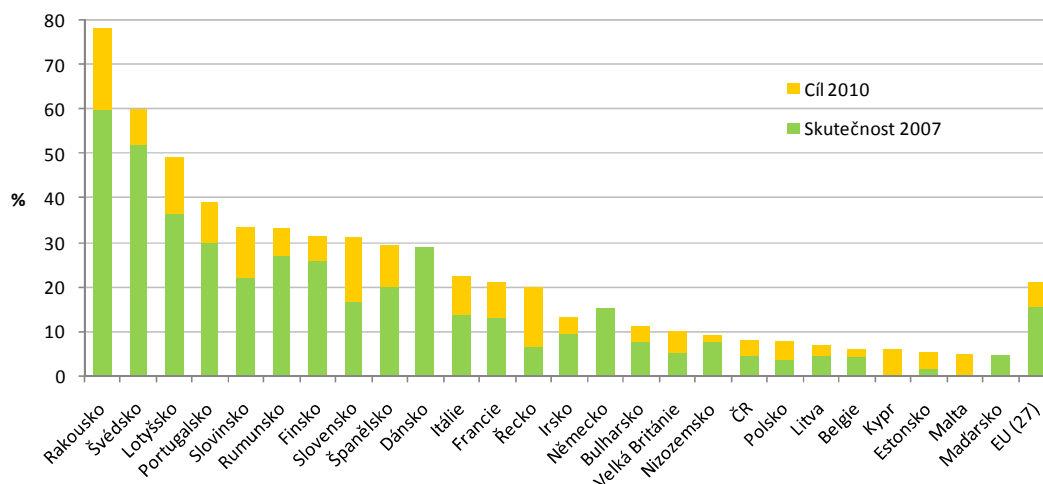
V současné době řeší vyspělé státy nejenom v Evropské unii (EU) několik energetických problémů. Jedním z nich je skutečnost, že fosilní energetické zdroje budou v nedaleké budoucnosti vyčerpány. Dalším významným tématem je globální oteplování způsobené skleníkovými plyny. Řada zemí se v rámci Kjótského protokolu zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů. Jedním ze způsobů, jak snížit emise a částečně nahradit fosilní paliva, je využití obnovitelných a alternativních zdrojů energie.

1.1 Využití OZE v ČR a indikativní podíl

Využití obnovitelných zdrojů energie (OZE) v České republice v posledních letech stále vzrůstá. Důvodem je současný závazek České republiky ke splnění indikativního cíle (vysvětlení viz níže) ve výši 8 % v roce 2010. Nový cíl na následující desetiletí (do roku 2020) je pro ČR 13 % [1]. Důvodem tohoto zvyšování je snaha EU o snížení objemu vypouštěných emisí skleníkových plynů o pětinu, než produkovala v roce 1990 [1], [2]. ČR se jako členský stát EU na tomto závazku musí podílet. Přestože CO₂ není jediným skleníkovým plynem, hlavní pozornost je zaměřena na redukci emisí oxidu uhličitého (CO₂).

Jednou z možných cest ke snížení emisí skleníkových plynů je využívání OZE. EU a její členské státy si pro splnění cílů souvisejících se snižováním emisí kladou tzv. indikativní cíle. Indikativní cíle jsou definovány jako procentuální podíly výroby elektřiny z OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny v jednotlivých členských státech EU [4]. Indikativní cíle pro jednotlivé členské státy EU definuje směrnice 2001/77/EC [5] a nově na následující desetiletí směrnice 2009/28/EC [1].

Konkrétní cíle jednotlivých členských států EU jsou zobrazeny na obr. 1.1. V roce 2010 je to pro EU jako celek 22,1% a pro ČR 8 %. Protože nejsou k dispozici novější data pro všechny státy, je uvedeno přiblížení k cílům jednotlivých států na základě dat z roku 2007 (viz obr. 1.1).

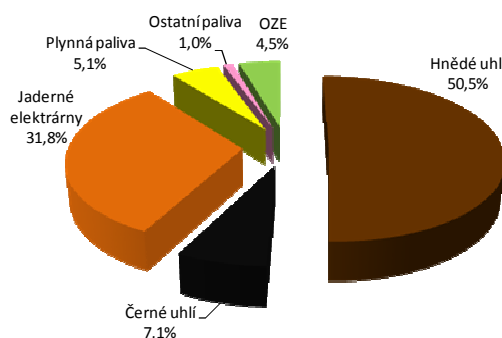


Obr. 1.1 Indikativní cíle členských států EU v oblasti výroby elektřiny z OZE do roku 2010 [6]

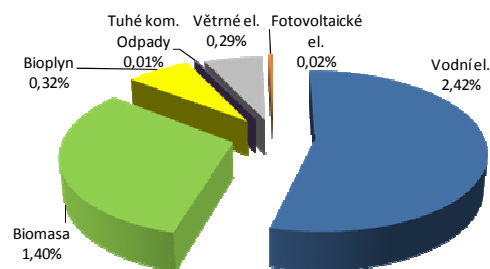
V roce 2008 byl podíl OZE na hrubé domácí spotřebě elektřiny ČR 5,2 % (viz obr. 1.1). ČR využívá k výrobě elektřiny energetický mix několika zdrojů. Hlavními zdroji jsou:

- hnědé uhlí
- černé uhlí
- jaderné palivo
- plynná paliva
- OZE (biomasa, vodní el., větrné el., solární el., aj.).

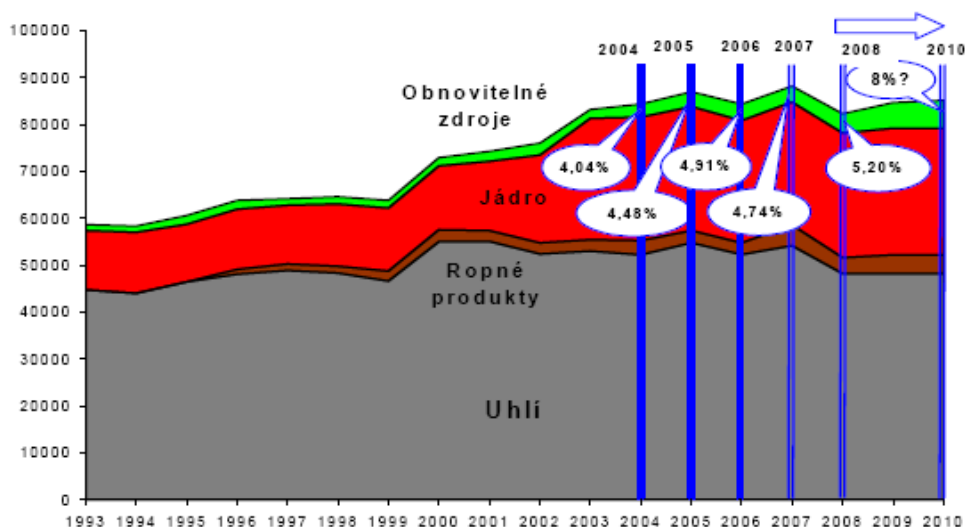
Zastoupení jednotlivých zdrojů na výrobě elektřiny v ČR v roce 2008 je znázorněno na obr. 1.2. Z toho výroba elektřiny z OZE je detailně zobrazena na obr. 1.3. Na obr. 1.4 je znázorněna výroba elektřiny podle zdrojů v letech 1993 až 2008 a je v něm detailně popsán podíl OZE.



Obr. 1.2 Výroba elektřiny podle zdrojů v ČR v roce 2008 [4]



Obr. 1.3 Výroba elektřiny z OZE v ČR v roce 2008 [4]



Obr. 1.4 Vývoj podílu výroby elektřiny v ČR podle zdrojů na hrubé domácí spotřebě elektřiny (1993 – 2008 s výhledem do roku 2010) [4]

V tab. 1.1 jsou uvedeny vybrané statistické údaje týkající se elektřiny v ČR. Některá data pro rok 2009 nejsou v tabulce uvedena, jelikož do května 2010 nebyla zatím publikována.

Tab. 1.1 Vybrané údaje o elektřině v ČR za r. 2008 a 2009 [4], [7], [8]

Ukazatel	Jednotka	2008	2009
Hrubá výroba elektřiny	GWh	83 518	82 250
Hrubá spotřeba elektřiny	GWh	72 049	68 600
Čistá spotřeba elektřiny	GWh	60 480	57 110
Saldo (dovoz-vývoz)	GWh	-11 470	-13 640
Hrubá výroba elektřiny z OZE	GWh	3 731	-
Podíl OZE na hrubé spotřebě elektřiny	%	5,18	6,8
Podíl OZE na hrubé výrobě elektřiny	%	4,47	-

Používané pojmy elektroenergetiky, které se vyskytují v tab. 1.1 jsou vysvětleny v tab. 1.2.

Tab. 1.2 Výběr z používaných pojmů elektroenergetiky [7]

Pojem	Význam
Hrubá výroba elektřiny	Celková domácí výroba elektřiny změřená na svorkách generátorů.
Čistá výroba elektřiny	Hrubá výroba elektřiny zmenšená o vlastní spotřebu na výrobu elektřiny. U tepelných elektráren je vlastní spotřeba kolem 10 % vyrobené elektřiny. Např. u vodních, větrných a fotovoltaických elektráren je vlastní spotřeba menší než 0,5 %.
Hrubá domácí spotřeba elektřiny	Součet hrubé výroby elektřiny a salda zahraničních výměn.
Čistá domácí spotřeba elektřiny	Součet čisté výroby elektřiny a salda zahraničních výměn a jejich rozdíl se součtem ztráty v sítích a spotřeby na přečerpání v přečerpávacích vodních elektrárnách.

Výroba elektřiny z OZE se v posledních letech neustále zvyšuje (viz obr. 1.4), avšak přírůstky ke splnění indikativního cíle, který je 8 % pro ČR v roce 2010, nejsou dostatečně velké. Lze tedy s největší pravděpodobností předpokládat, že indikativní cíl v roce 2010 nebude splněn [4].

1.2 Spoluspalování jako jedna z cest

Jednou z cest pro zvýšení podílu využívání biomasy je její spoluspalování s fosilními palivy ve stávajících výrobnách. To představuje poměrně jednoduché, rychlé, málo rizikové a poměrně levné řešení pro využívání biomasy [9]. Spoluspalování se tudíž v současné době jeví jako jedna z rychle realizovatelných možností zvýšení podílu biomasy na výrobě elektrické energie a s tím související redukcí emisí CO₂.

Spoluspalování je činnost, při které je se základním palivem spalováno i další palivo. Ve velkých energetických zdrojích jde tedy o spalování primárních (fosilních) paliv s příměsí přídatných (nefosilních) paliv. Přídatným palivem může být biomasa nebo alternativní palivo (AP). Přídatné palivo (např. biomasa) při spoluspalování nahrazuje část uhlí a je s ním společně spalováno v elektrárnách nebo teplárnách. Jedním z pozitivních dopadů spoluspalování je vytvoření trhu s komoditami, které by nebyly energeticky využity a skončily by na skládkách, vytvoření nových pracovních míst a další lokální ekonomické výhody (trh s biomasou, doprava, atd.). Naproti tomu některé komentáře uvádí, že spoluspalování lokální trh s biomasou ničí, protože velcí výrobci energií nabízí za biomasu vyšší ceny, než si mohou dovolit menší lokální spotřebitelé biomasy. Další výhodou spoluspalování biomasy s uhlím je možné snížení produkovaných emisí emisí SO_x [10].

Podíl spoluspalované biomasy závisí na způsobu spoluspalování a na technických parametrech zařízení. Obecně bývá tento podíl 3 až 20 %.

Za účelem odhadnutí potenciálu spoluspalování biomasy v elektrárnách nebo teplárnách, bylo ve světě sestaveno několik výzkumných týmů, které přinesly pilotní projekty systému spoluspalování. Různé druhy biomasových a alternativních paliv byly testovány v různých typech existujících uhelných kotlů. Tyto pilotní projekty přinesly různé výsledky v různých provozních podmínkách. Základní body a hlavní závěry jsou shrnuty v kap. 2.1.

Spoluspalování je uznávaný způsob využití OZE rovněž v akčním plánu Evropské komise z roku 2005 [11]. Dále ho uznává mnoho států a vlád, které pro zvýšení podílu výroby elektrické energie z biomasy zavedly specifické finanční nástroje (např. v ČR se jedná o systém zelených bonusů) pro podporu využití biomasy a její a spoluspalování v existujících a nově budovaných uhelných elektrárnách.

Detailněji se systémy spoluspalování zabývá kap. 2.

1.3 Potenciál spalování v ČR

Převážná část výroby elektřiny z biomasy je v současnosti realizována formou spalování s uhlím ve větších tepelárnách nebo elektrárnách kotlích (především s fluidním nebo roštovým ohništěm).

Biomasa má v podmínkách ČR největší technicky využitelný potenciál z obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny i tepla [4]. Potenciál spalování v ČR závisí hlavně na:

- ekonomických podmínkách
- dostupnosti biomasy a jiných přídatných paliv.

V ČR jsou již provozovány systémy spalující biomasu s fosilními palivy používány. Jsou jimi hlavně tepelárny a kondenzační tepelné elektrárny.

Rozvoj spalování závisí hlavně na ekonomických podmínkách nastavených státem prostřednictvím Energetického regulačního úřadu (ERÚ) a Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO). Bez těchto podmínek by nebyla produkce energií spalováním na trhu konkurenceschopná. MPO a ERÚ si uvědomují, že pro splnění indikativního cíle je nutná maximalizace využití stávajících kapacit pro spalování biomasy. Tyto dvě instituce spalování podporují, a proto se pro zajištění ekonomické výhodnosti investic snaží o [4]:

- zachování současné úrovně výkupních cen
- neomezování podpory ekonomicky reálných způsobů využití OZE (zejména spalování)
- investiční podporu na úrovni 30 % investičních nákladů
- stabilitu podpory v sektoru zemědělství.

Obecně se podporou výroby elektřiny z OZE zabývá zákon č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, který garantuje dlouhodobé a stabilní podpory nutné pro podnikatelská rozhodnutí. Základními znaky zákona jsou [4]:

- nárok na připojení zařízení na výrobu elektřiny z OZE do elektrizační soustavy
- garance výnosů z jednotky vyrobené elektřiny po dobu 15 let od uvedení do provozu
- možnost volby mezi dvěma systémy podpory
 - minimální výkupní ceny (tento způsob podpory není umožněn pro systém spalování)
 - zelené bonusy
- podpora elektřiny užitá pro ostatní vlastní spotřebu (nedodaná do elektrizační soustavy)
- zachování úrovně výkupních cen pro již provozovaná zařízení po dobu 15 let
- maximální meziroční pokles výkupních cen elektřiny pro nová zařízení 5 %.

Následující kapitola se zabývá podrobně systémy spalování.

2. SYSTÉMY PRO SPOLUSPALOVÁNÍ

Spoluspalování biomasy je považováno za nejjednodušší cestu k rychlému snížení emisí oxidu uhličitého (CO_2), které jsou při výrobě elektrické nebo tepelné energie vypouštěny do atmosféry. Výhody a nevýhody spoluspalování je možné rozdělit do dvou hlavních skupin:

- technické
- ekonomické.

V tab. 2.1 jsou uvedeny základní výhody a nevýhody systémů spalování přídatných paliv s uhlím. Podrobněji se jimi zabývá kap. 2.1.5 a kap. 2.2.5.

Tab. 2.1 Výhody a nevýhody systémů spoluspalování

Výhody +	Nevýhody -
Snížení emisí CO_2	Nekonstantní parametry biomasy
Malé investiční náklady	Vyšší náklady na údržbu zařízení
Úspora fosilních paliv	Vyšší náklady na výrobu energie
Zvýšení podílu biomasy na výrobě energií	Mírné snížení účinnosti kotle
Energetické využití nepotřebných materiálů	Fluktuace cen biomasy a AP
Vytvoření lokálního trhu s biomasou	Možné problémy s odbytem popelovin
Vytvoření nových pracovních míst	Omezená nabídka biomasy na trhu
Možné snížení emisí NO_x a SO_x	Možné výpadky provozu výroby energie
Podpora státu výroby elektřiny z OZE	

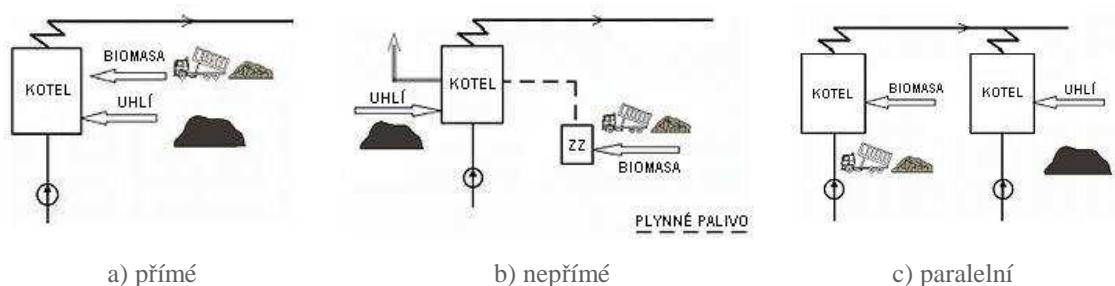
2.1 Technická řešení systémů spoluspalování

Spoluspalování primárních a přídatných paliv je možné několika způsoby.

2.1.1 Rozdělení

Obecně se rozlišují tři způsoby spalování přídatných paliv (viz obr. 2.1) [11]:

- přímé spoluspalování
- nepřímé spoluspalování
- paralelní spalování.



Obr. 2.1 Způsoby spoluspalování (pozn. ZZ – zplyňovací zařízení)

Stručné shrnutí výhod jednotlivých způsobů spalování je uvedeno v tab. 2.2.

Tab. 2.2 Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů spalování přídavných paliv

Výhody +	Nevýhody -
Přímá metoda	
nízká cena jednoduchost	společné popeloviny náklady na údržbu menší poměr přídavných paliv
Nepřímá metoda	
oddělené popeloviny možnost použití různých druhů biomasy	vyšší investiční náklady
Paralelní metoda	
oddělené popeloviny možnost použití různých druhů paliv	vysoké investiční náklady

Přímé spalování

Přímé spalování spočívá ve společném spálení biomasy a fosilního paliva ve spalovacím prostoru kotle. Tento způsob spalování je nejjednodušší a vyžaduje nejmenší investiční náklady. Biomasu lze spalovat na kotlích s [12]:

- roštovým ohništěm
- fluidním ohništěm
- granulačním ohništěm.

Na kotlích s roštovým ohništěm lze biomasu společně s uhlím spalovat poměrně snadno. Kotle s roštovým ohništěm jsou používány do výkonu 150 MW_t [12].

Kotle s fluidním ohništěm umožňují spalovat poměrně široký rozsah paliv. U fluidních kotlů bylo přídavné spalování vyzkoušeno a ověřilo se, že tyto kotle jsou pro přídavné spalování velmi dobře použitelné.

Nepřímé spalování

Nepřímé spalování je založeno na odděleném zplyňování biomasy a následném přímém spálení vzniklého plynu v hořáku kotle. Plyn, který je hlavním produktem zplyňování je někdy nutné před jeho spálením vyčistit na určitý stupeň čistoty, což může zvýšit provozní náklady. Výhodou je, že je možné použít různé druhy biomasy o různém fyzikálním a chemickém složení. Další výhodou je to, že vzniklé popeloviny jsou oddělené od popelovin z uhlí.

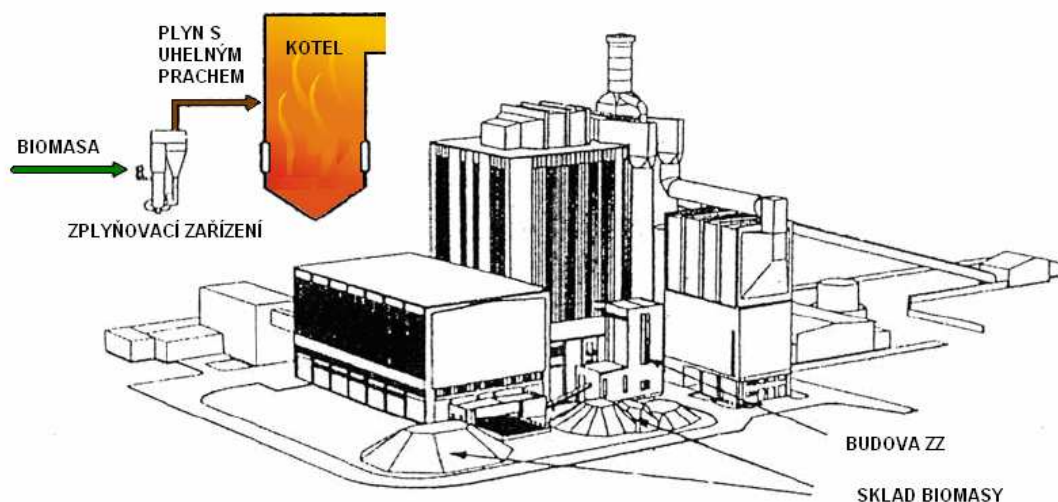
Vzniklý plyn má nízkou výhřevnost [11]. Výhřevnost závisí hlavně na vlhkosti obsažené v palivu. Při zplyňování dochází k téměř úplné přeměně organických složek paliva na plynné produkty za pomoci zplyňovacího média (vzduch, vodní pára nebo O₂) [13]. Dalšími významnými produkty zplyňování jsou [11]:

- popeloviny ze všech druhů biomasy, alkalické a stopové kovy
- dehty a další kondenzující organické látky

- látky Cl, N, S.

Pro využití zplyňování biomasy u práškových kotlů výrobních bloků lze využít i koncepce, kdy zplyňovací reaktor je umístěn u práškového kotle a vzniklý plyn je bez čištění spalován v samostatném hořáku v ohništi práškového kotle. Na obr. 2.2 je ukázána koncepce, kde je zplyňovací reaktor umístěn u práškového kotle a vzniklý plyn je dopravován společně s uhlým prachem do hořáku kotle.

Pokud jde o charakter a výši nákladů na instalaci zařízení nepřímého spalování, tak náklady odpovídají náhradě drtícího zařízení za zplyňovací zařízení. Zplyňování může být považováno za formu přípravy biomasových paliv. Upřednostňované systémy pro zplyňování biomasy jsou fluidní s bublajícím ložem, fluidní s cirkulujícím ložem, tlakový fluidní [14]. Na trhu je mnoho zplyňovacích technologií od mnoha výrobců.



Obr. 2.2 Zplyňovací reaktor připojený na práškový granulační kotel [12]

Paralelní spalování

Paralelní spalování spočívá v oddělené produkci páry, která je posléze využita ve společném parním okruhu uhlé elektrárny nebo teplárny. Tato metoda obnáší instalaci samostatného spalovacího zařízení a kotle na biomasu, který produkuje páru. Přestože paralelní spalování obnáší vyšší investiční náklady než systémy s přímým spoluspalováním, přináší však řadu výhod, které jsou [11]:

- možnost použití relativně náročných druhů paliva s vysokým obsahem alkalických kovů a obsahem chloru
- vyprodukované popeloviny z biomasy jsou odděleny od popelovin z uhlí.

Paralelní spalování je často využíváno v papírenském, dřevozpracujícím a cukrovarském průmyslu, kde firmy využívají své odpadní suroviny k výrobě energie [10].

2.1.2 Nakládání s přídatnými palivy

S přídatnými palivy, které jsou určeny pro systém spoluspalování, lze nakládat čtyřmi způsoby [10]. Těmito způsoby jsou:

- předmísení
- přímé dávkování
- oddělené spalování přídatného paliva a uhlí
- spálení přídatného paliva v dohořivací komoře.

Předmísení

Když je podíl přídatných paliv nízký, mohou být v daném poměru přidána do uhlí, společně s ním dopravována do uhelných mlýnů a poté společně spálena na hořácích. V zásadě je to nejjednodušší možnost, která vyžaduje zároveň nejmenší investice. Na druhou stranu, tato technologie s sebou nese nejvyšší riziko selhání systémů dopravy paliva. Předmísení je spojeno s přímým spoluspalováním. Přídatné palivo může být do uhlí přidáno [12]:

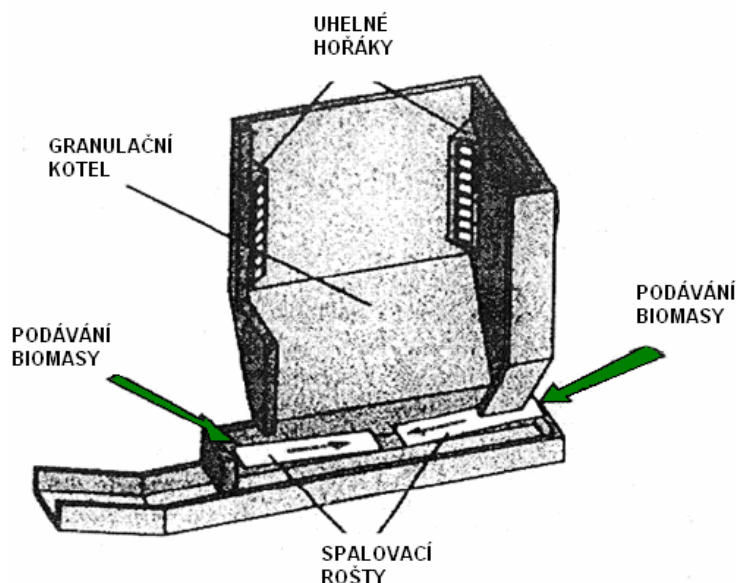
- ve vnějším zauhlovacím systému
- přidáním do uhelného bunkru
- přidáním na konec vynašeče z bunkru
- do uhelné svodky do mlýna.

Tento způsob nakládání s přídatnými palivy byl aplikován v široké škále projektů spoluspalování v uhelných kotlích (s přídatným palivem ve formě granulované, peletizované a práškové).

Přímé dávkování

Tato možnost vyžaduje pro přídatná paliva oddělenou manipulaci, odměřování množství, rozmělnování a jejich následné dávkování v práškové podobě před hořáky, nebo přímo do hořáků. Tato možnost vyžaduje pro dopravu rozemletého přídatného paliva do kotle instalaci samostatných dopravních tras. U granulárních kotlů jsou tyto možnosti spálení přídatných paliv [12]:

- v samostatné hubici, která je součástí práškového hořáku kotle
- v samostatném hořáku kotle
- na samostatném spalovacím roštu, který je integrován na výsypce granulárního kotle (viz obr. 2.3).



Obr. 2.3 Pohled na spalovací rošt umístěný ve výsypce granulačního kotle [12]

Tento způsob nakládání s přídatnými palivy vyžaduje značnou úpravu spalovacího zařízení, a tudíž vyžaduje i vysoké investiční náklady. Jeví se jako náročnější na provoz hořáku a udržování jeho provozních podmínek, než které odpovídají běžným křivkám zatížení kotle. S přímým dávkováním je spojeno přímé spoluspalování.

Oddělené spalování přídatného paliva a uhlí

Třetí možností nakládání s přídatnými palivy je spalování přídatného paliva v samostatném spalovacím zařízení, které je na straně spalin připojené ke spalovací komoře práškového granulačního kotle [12]. Tato možnost je spojena s paralelním spalováním.

Spálení přídatného paliva v dohořivací komoře

Poslední varianta spočívá ve využití přídatného paliva jako paliva pro dohořivací pec, kde dochází k redukci emisí oxidů dusíku (NO_x). Tj. pro spalování přídatného paliva je speciálně navržen systém dohořivací komory. Tento systém je stále ve fázi vývoje, avšak zkušební provoz již byl proveden. Tato metoda je spojena s přímým nebo nepřímým spoluspalováním

2.1.3 Předúprava paliv

Pro systém spoluspalování je možné využívat širokou škálu biomasových a alternativních paliv. Základním požadavkem na přídatná paliva je dostatečná výhřevnost a nízký obsah síry, chlóru a popelovin. Přídatná paliva se v jejich

základním stavu (tak jak se expedují od producenta) liší v mnoha parametrech. Jsou jimi např.:

- vlhkost
- granulometrie
- sypná hmotnost
- výhřevnost.

Ideálním palivem je materiál, který má nízkou vlhkost, vysokou výhřevnost a svými mechanickými vlastnostmi se blíží primárnímu palivu (uhlí). Jelikož přídatná paliva nejsou ideální, musí se před jejich použitím pro systém spalování předupravit. Způsoby předúpravy jsou:

- odvodnění
- sušení
- peletizování.

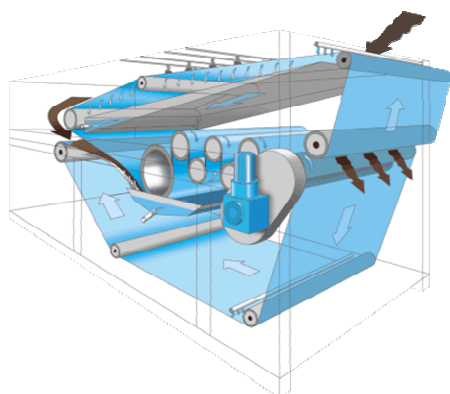
I. Odvodnění

Odvodnění je proces, při kterém je z velmi vlhkého materiálu (např. 80 % vlhkosti) mechanickou cestou odstraněno co nejvíce obsahu vody. Netradičním zástupcem paliv s vysokou vlhkostí je např. pivovarské mláto nebo čistírenský kal. Z původního mláta o vlhkosti 80 % lze dosáhnout odvodněním vlhkosti 50 až 60 %. Tato hodnota cílové vlhkosti je postačující pro využití v některých spalovacích technologiích (např. speciální technologie Wärsila pro spalování pivovarského mláta [15]).

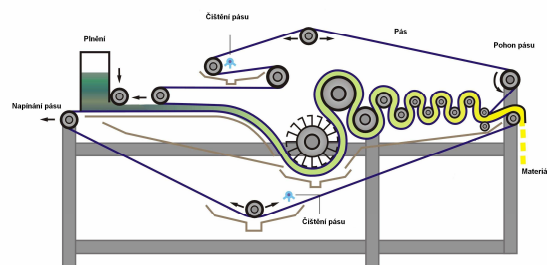
Typy odvodňovacích zařízení jsou:

- pásový lis
- šnekový lis
- rotační buben
- vakuový rotační buben
- odvodňovací dopravník.

Volba typu odvodňovacího zařízení záleží na parametrech odvodňovaného materiálu. Literatura udává pásový lis jako velmi vhodný typ pro odvodnění mnoha druhů materiálů (např. výše zmíněného pivovarského mláta). Pásové lisy jsou zobrazeny na obr. 2.4 a obr. 2.5.



Obr. 2.4 Pásový lis [16]



Obr. 2.5 Řez pásovým lisem [17]

II. Sušení

Sušení je proces, jehož účelem je co největší snížení vlhkosti. Proces sušení je charakteristický vysokou energetickou náročností. Nalezení vhodné a zároveň nejvíce ekonomické metody sušení závisí na typu sušeného materiálu a je stále předmětem studií. Pokud bude nutno materiál následně peletizovat je vhodná vlhkost 13 až 15 %.

Proces sušení je v praxi velmi důležitý. Při sušení např. dřevní štěpky dochází k její lepší homogenizaci, zamezuje se problémům s ucpáním dopravních tras, dochází ke třídění a v zimě k rozmrzání ledových hrud.

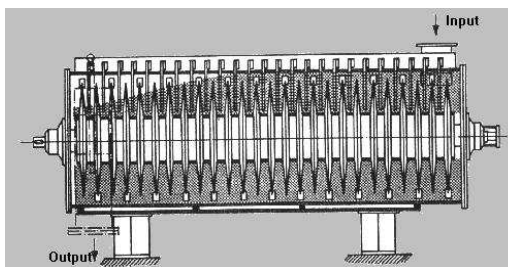
Typy sušících zařízení jsou následující:

- bubnová sušárna
- pásová sušárna
- rotační disková sušárna
- šnekový parou vyhřívaný
- sušení vymrznutím
- membránový filtr.

Z uvedených typů sušících zařízení jsou v praxi nejvíce používány bubnové sušárny (viz obr. 2.6) a rotační diskové sušárny (viz obr. 2.7).



Obr. 2.6 Bubnová sušárna [18]



Obr. 2.7 Rotační disková sušárna [19]

III. Peletizace

Pokud mají materiály určené pro spoluspalování jemnou až prachovou frakci, je nutné tyto materiály tvarově upravit - peletizovat. Peletizace je extrusní aglomerační proces (spojování jednotlivých částic), kde produkt, který má být zpracován, je v zrnité formě, tj. různých tvarů a velikostí. Za působení velkého vnějšího tlaku je zpracovávaný pevný materiál aglomerován a kompaktován do formy odolné proti lámání a abrazi bez použití pojiv. Při peletizaci je možné změnou procesních parametrů (tlak, teplota, zadržná doba), konstrukcí stroje nebo přidáním pomocných činidel výrazně ovlivnit specifické hodnoty pelet, jako jsou např. hustota nebo kalorická hodnota.

Výhody materiálu ve formě pelet jsou:

- snazší manipulace (doprava, skladování)
- zhutnění materiálu – zvýšení mechanické stability
- omezení jemných podílů
- snížení prašnosti
- snížení případného nalepování na dopravní pásy.

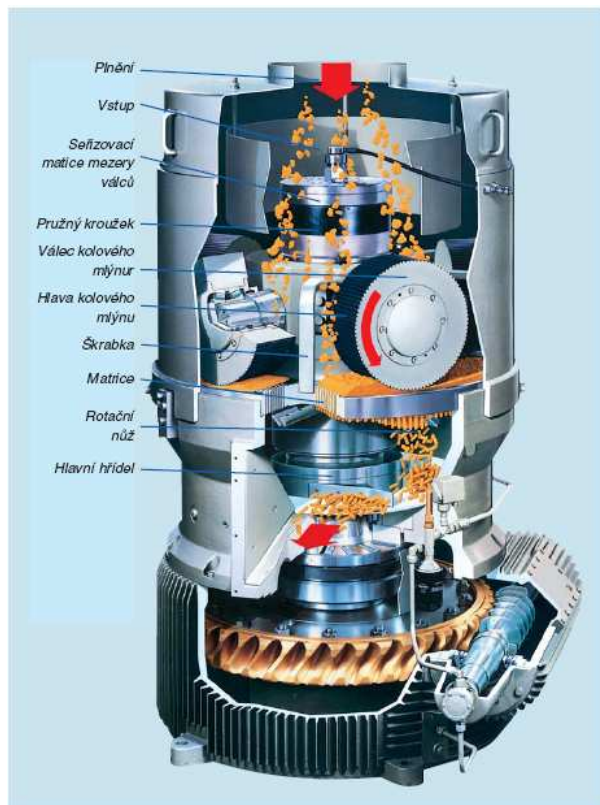
Možné aplikace peletizačního procesu jsou:

- úprava surovin
- tvarování
- míchání s plnicími materiály
- úprava odpadu pro recyklaci
- výroba a zlepšování finálních produktů.

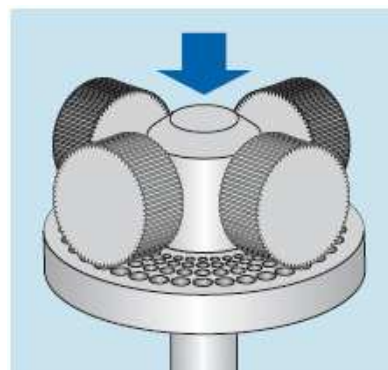
Peletovací stroj

Peletovací stroj je hlavní součástí peletovací linky. Jeho hlavními částmi jsou válce kolového mlýna a perforovaná matrice (viz obr. 2.8). Velikost otvorů v matici určuje průměr pelet. Popis hlavních částí peletovacího stroje je na obr. 2.9. Zhutňování materiálu probíhá jeho protlačováním přes matici (viz obr. 2.10). Aby bylo protlačování úspěšné, nesmí třecí síly mezi peletami a vnitřními stěnami děr přesáhnout tlakovou sílu od válců. Mezi válci a maticí je záměrně ponechávána

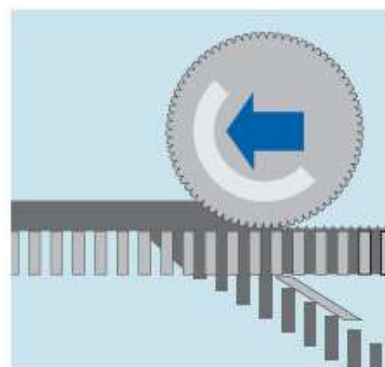
malá vrstva materiálu, aby se zabránilo kontaktu kov na kov a aby se dosáhlo předzhuštění a lepšího spojení produktu. Jednotlivé vrstvičky materiálu jsou vtlačovány do činných otvorů matrice a tvoří nekonečné „špagety“, jejichž délku lze ovlivnit seřizitelným nožem [20].



Obr. 2.9 Hlavní části peletovacího stroje [20]



Obr. 2.8 Válec s plochou matricí [20]



Obr. 2.10 Protlačování materiálu [20]

Záměrem peletování je vyrobit stabilní homogenní peletu odolnou proti mechanickému namáhání.

Faktory ovlivňující vlastnosti pelet jsou [20]:

- drtící poměr materiálu pro peletizaci
- složení směsi
- vlhkost materiálu
- přidaná pojiva, pára a úpravy materiálu před peletizací
- počet a rozměr válců kolového mlýnu
- průměr matrice
- počet činných otvorů, jejich délka, průměr a tvar
- vzdálenost mezi matricí a válci
- sušení pelet
- chlazení pelet.

Peletizační linky

Peletizační linky slouží k úpravě sypkého materiálu do kompaktního tvaru (pelet, granulí). Technologie peletování využívá mechanických a chemických vlastností materiálů, které lze při použití tlaku v lisovací komoře zhutnit do požadovaného

kompaktního tvaru. Peletuje se většinou bez pojiv, avšak někdy pojiva bývají použita. Při peletování bez pojidel proběhne zhutnění přiblížením jednotlivých částíček na minimální molekulovou vzdálenost. Tyto pohyby molekul probíhají jen za velmi vysokých tlaků. Výroba pelet je kontinuální proces.



Obr. 2.11 Peletizační linka Ekover [21]

Části peletovací linky se mohou lišit podle použité technologie, zpracovávaného materiálu nebo požadavků zákazníka. Základním vstupním parametrem je vlhkost, která je důležitá pro lisování pelet. Ideální vlhkost pro peletování je 13 až 15%. Pokud je vlhkost vyšší než 20%, tak se materiál nezhutní do požadovaného tvaru. Velikost částic určených k peletování je doporučována v jednotkách mm. Pokud jsou částice větší, musí se dezintegrovat na menší rozměry.

Vlhčení vs. napařování

Pokud je materiál příliš suchý je potřeba ho navlhčit. Někteří výrobci preferují napařování místo vlhčení a uvádějí, že při napařování je výkon linky o 40 až 50% vyšší než při vlhčení vodou [22]. Někteří výrobci mají technologii pro výrobu pelet, kde není potřeba materiál vlhčit (např. firma Ekover) [21].

Požadavky na pelety

Pelety určené k prodeji musejí splňovat určité parametry, aby mohli být certifikované. Sledované vlastnosti pelet jsou [23]:

- rozměry
- hustota
- sypná hmotnost
- obsah vody
- obsah popele
- obsah dalších prvků (S, N, Cl, As, Cd, Cr, Hg, Cu, Pb, Zn)
- pojivo
- vlhkost
- výhřevnost
- mechanická odolnost.

V České republice zatím neexistuje (ale připravuje se) česká norma, která by se konkrétně zabývala požadavky na jakost pelet [24]. Z hlediska dlouhodobého udržení kvality pelet, které jsou určeny pro spalování, je nezbytné znát jejich kvalitu

a složení. Tyto požadavky je nutné definovat a poté provádět kontrolu kvality. Nyní jsou k dispozici předběžné české technické normy označované jako ČSN P CEN/TS. Tyto normy budou převáděny na české technické normy, jež budou obsahovat evropské technické normy. V současné době se zkoušky provádějí dle české normy ČSN P CEN/TS, německé DIN 51731, rakouské ÖNORM M 7135 [24].

O propagaci pelet a jejich využití k energetickým účelům se v ČR věnuje organizace České sdružení pro biomasu CZ BIOM. Výzkum technologie výroby a spalování topných pelet spadá do kompetencí Výzkumného ústavu zemědělské techniky. Analýzou tuhých paliv se zabývá Ústav pro výzkum a využití paliv, který uděluje atest na výrobu pelet.

2.1.4 Vlastní spalování

S vlastním spalováním nebývá v systémech spoluspalování problém, pokud je palivová směs správně připravena a poměr spoluspalovaného přídavného paliva je menší nebo roven maximálnímu poměru, který umožňují kotle. Největší problémem u spoluspalování bývá fáze nakládání s palivy před jejich spalováním (příprava, doprava). Při spoluspalování biopaliv vzniká méně škodlivých emisí, ale bývá nepatrně snížena účinnost kotlů.

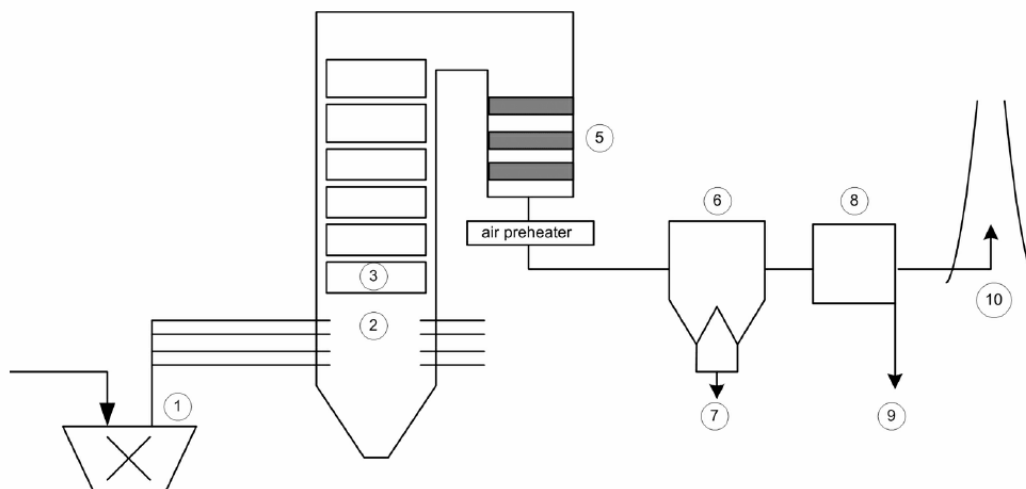
2.1.5 Technické výhody a nevýhody

Z technického pohledu převažují u systému spoluspalování nevýhody nad výhodami.

Hlavní technologické nevýhody jsou [25], [11]:

- příprava, zpracování a manipulace s přídavným palivem
- problémy se spalováním (stabilita plamene, vyhoření, atd.), které ovlivňují provoz a řízení výroby
- problémy s popelem (ztruskování, zanášení, koroze, atd.)
- nízkoteplotní a vysokoteplotní koroze
- chlorová koroze
- transportní cesty (požární bezpečnost, eroze)
- změny parametrů kotlů
- emise a další ekologické aspekty.

Technologické problémy jsou znázorněny na obr. 2.12.



- | | |
|--|---|
| 1. Mlecí zařízení – pokles kapacity a životnosti | 6. Elektrostatický odlučovač – kapacita |
| 2. Spalovací komora – struskování | 7. Popel – využití, likvidace |
| 3. Přeřívák – vysokoteplotní koroze | 8. De-SO _x zařízení – kapacita |
| 4. Tepelný výměník – zanášení a eroze | 9. Využití zbytků z odsíření |
| 5. De-Nox zařízení – kapacita, deaktivace
v důsledku přítomnosti katalytických jedů | 10. Spaliny – emise |

Obr. 2.12 Schématické znázornění technologických problémů při spoluspalování [11]

Dalšími technologickými nevýhodami jsou:

- snížení účinnosti kotle (je poměrně malé)
- nekonstantní parametry biomasových paliv (výhřevnost, velikost, atd.).

Spoluspalování přídavných paliv přináší rizika ve zvýšených výpadech výroby, možné výpadky v provozu hořáků, pecí, oblasti přestupu tepla kotlů a možná ekologická rizika. Potencionální rizika zvýšených nákladů na údržbu zařízení souvisí především ve zvýšených nálepech uvnitř kotle, možná je i zvýšená koroze vysokoteplotních částí kotle, dopad na zařízení pro snižování emisí škodlivin NO_x a SO_x a dopad na způsob likvidace popelovin (nemusel by být pro stavební průmysl tak kvalitní).

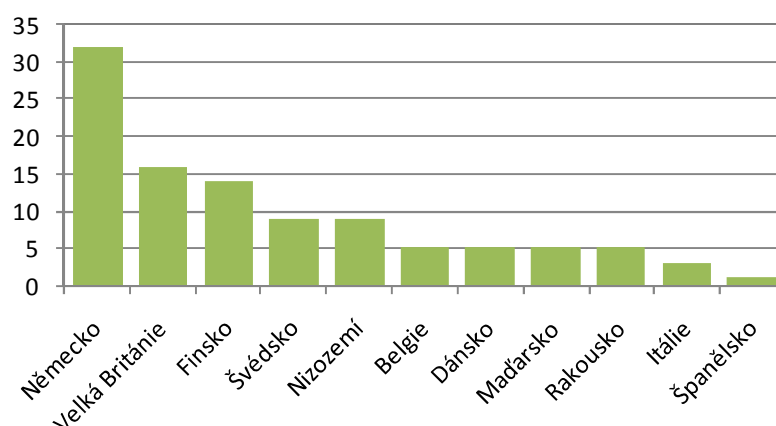
2.1.6 Zkušenosti se spoluspalováním

V oblasti spoluspalování přídavných paliv byl v uhelných výrobnách energie v posledních 10 letech zaznamenán značný nárůst.

Zkušenosti se spoluspalováním ve světě

Spoluspalování je v současné době běžně používaná technologie ve výrobnách elektrické a tepelné energie v mnoha zemích světa. Nejvíce zkušeností a komerčních aplikací mají USA, Finsko, Dánsko, Německo, Belgie, Nizozemí, Polsko, Španělsko,

Austrálie, Japonsko a Velká Británie. Počet výroben energií spalujících biomasu, které mají jednotlivé evropské státy je zobrazen na obr. 2.13.



Obr. 2.13 Počet evropských výroben energie spalujících biomasu v roce 2004 [10]

V roce 2004 bylo po celém světě provozováno kolem 150 uhelných elektráren, které měly zkušenosti se systémem spalování biomasy nebo odpadu [11]. Nyní v roce 2010 se dá odhadovat, že jich bude více. Většina z uvedených 150 elektráren má výkon 50 až 700 MWe [11]. Většina z nich má práškové kotle v různém uspořádání. Aplikace na roštových kotlích byly také použity. Systém spalování byl vyzkoušen se všemi na trhu běžně dostupnými druhy fosilních paliv (lignit, hnědé uhlí, černé uhlí, antracit a ropný koks). Tato paliva byla spalována s velmi širokou škálou druhů biomasy (včetně bylinných a dřevních materiálů, mokrých a suchých zemědělských zbytků a energetických plodin).

Zkušenosti provozovatelů ukázaly, že technologie spalující přídatná paliva musí být vhodné pro dodatečnou montáž do existujících uhelných výroben energie nebo do nově budovaných výroben. Technologie spalování musí být jednoduchá na ovládání a řízení. Musí přinášet minimální rizika pro běžný provoz a výkon výroby, jak z pohledu technologického, tak z pohledu environmentálního. Náklady na provoz uhelné výroby energie, která používá systém spalování, byly shledány pravděpodobně vyšší ve srovnání s dalšími příjmy ze spalování. Aby bylo spalování ekonomicky atraktivní, tak jednotlivé státy motivují výrobce energií specifickými finančními nástroji (např. zelené bonusy, emisní povolenky).

Z pilotních projektů systémů spalování, při kterých byly testovány různé druhy přídatných paliv, vyplynuly tyto zkušenosti a závěry [2], [26]:

- Spalování biomasy s uhlím je velmi vhodné pro redukci emisí CO_2 ve stávajících uhelných elektrárnách a teplárnách. V budoucnu se tato metoda uplatní ve většině provozů, protože není potřeba vynaložit velké investiční náklady na přechod na systém spalování.
- Emise NO_x a SO_x se spalováním biomasy snižují. Rozsah snížení emisí závisí na druhu použité biomasy a na provozních podmínkách.

- Investiční náklady většinou závisí na tom, zda-li biomasa může být do kotle dopravována stávajícími dopravními cestami nebo jestli je potřeba vybudovat nové dopravní cesty. Ve druhém případě jsou investiční náklady vyšší.
- Maximální procento biomasy, které může být spáleno s uhlím, závisí hlavně na typu kotle.
- Účinnost kotle při spalování klesá. Tento pokles účinnosti je však velice malý (jednotky procent).
- Koroze, struskování a zanášení se vyskytují převážně v případech použití biomasy s vysokým podílem alkalických kovů.
- Ekonomická proveditelnost spalování biomasy většinou závisí na cenách uhlí, cenách biomasy a alternativních paliv dostupné v blízkosti výroby. Ekonomické motivační nástroje (dotace, zelené bonusy, emisní povolenky) pro snížení emisí CO₂ mohou hrát rozhodující roli pro ekonomickou proveditelnost projektů spalování biomasy.

Zkušenosti se spalováním v ČR

Provozy spalující biomasu jsou hlavně tepelné elektrárny a teplárny vyrábějící elektřinu. Jsou jimi např. elektrárny Hodonín, Tisová, Poříčí, Opatovice, Kladno, teplárny Plzeň, Písek, Zlín, Dvůr Králové a další zařízení. Dále mezi výrobce elektřiny spalováním patří průmysl na výrobu papíru a celulózy, který spaluje odpad ze své výroby.

Největší zkušenosti se spalováním má Skupina ČEZ, která ve svých provozech v roce 2009 spálila spalováním 363 tisíc tun biomasy [27] a vyrobila z ní 328 GWh elektřiny. Zkoušky Skupiny ČEZ ukázaly, že je možné spalovat biomasu ve fluidních kotlích přibližně na úrovni 20 % energetického obsahu směsi a v roštových kotlích i při větším podílu. Problémem je určit optimální roční množství biomasy tak, aby bylo ekonomicky výhodné dlouhodobě investovat do úprav dopravních cest paliva a do dalších opatření pro realizaci kontinuálního spalování. K řešení vhodného poměru dávkovaného uhlí a přídavných paliv přispívá pracoviště ÚPEI, které se v současné době, mimo jiné, zabývá možnostmi integrace biomasových paliv do stávajících zařízení a plánování provozu těchto zařízení.

Bylo také zjištěno, že v ČR chybí rozvinutá infrastruktura pro pěstování, sklizeň ve velkém, svážení, skladování a zpracování biomasy pro energetické použití. Výroba elektřiny je regionálně vázána především na velké elektrárenské bloky [27].

Výroba elektřiny z biomasy v ČR od roku 2004 podstatně narůstá, zejména díky spalování. Dnes je více než 50 % elektřiny z biomasy vyrobeno spalováním (převážně ve velkých energetických společnostech). Vyrobená elektřina z biomasy v letech 2005 až 2008 je uvedena v tab. 2.3.

Tab. 2.3 Výroba elektřiny z biomasy v ČR [25], [4]

Rok	GWh
2005	560
2006	731
2007	930
2008	1 171

Historie spalování a zásadní změny v ČR jsou uvedeny v tab. 2.4.

Tab. 2.4 Události v historii spalování v ČR [25]

Rok	Popis	Poznámka
1993 až 1998	Rekonstrukce uhelných zdrojů	Instalace fluidních kotlů v některých zdrojích ČEZ – zkoušky spalování biomasy od roku 1999
2002 až 2004	Výkupní cena pro spalování byla stejná jako pro výrobu elektřiny ze 100 % biomasy	Velký impuls pro spalování
Od 2005	Diverzifikovány výkupní ceny pro spalování a 100 % spalování	Dočasný pokles spalování (nižší podpora)
Od 2007	Dále diverzifikována podpora	Podporováno zejména spalování energetických rostlin a odpadů ze zemědělství a z lesa

V ČR se časem vyprofilovaly čtyři hlavní skupiny výrobců elektřiny spalující biomasu, kterými jsou:

- ČEZ – dominantní hráč – 4 elektrárny + 1 teplárna v ČR
- průmysl papíru a celulózy – (odpad z výroby) – Štětí, Paskov
- teplárenské společnosti (Plzeň, Krnov, Olomouc, Otrokovice, aj.)
- investoři do nových zdrojů – 100% využívání biomasy.

Přestože po technické stránce spalování z pohledu provozovatele převažují nevýhody, rozhodující je ekonomická stránka.

2.2 Ekonomická stránka systémů spalování

Ekonomická stránka hraje v systémech spalování důležitou roli. Z realizací a výpočtů je patrné, že přechod výroby energie na systém spalování je spojen s vyššími náklady na výrobu energie.

Jak již bylo uvedeno, ČR se jako členský stát Evropské unie zavázala ke zvýšení výroby elektrické energie z OZE, a to na 8 % hrubé domácí spotřeby do r. 2010. K dosažení tohoto cíle byl vytvořen zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Tím byly vytvořeny stabilní podmínky pro podnikatelské rozhodování tím, že zákon definuje systém podpory formou pevných výkupních cen, případně příplatků (zeleným bonusům) k tržním cenám elektřiny. Zákon zároveň garantuje výši výnosů z jednotky vyrobené elektřiny po dobu 15 let.

Stát tedy motivuje výrobce energií (dnes dominantně vyrábějící energie z fosilních paliv) k využívání biomasových paliv specifickými finančními nástroji. S rostoucím využíváním biomasových paliv souvisí i přechod na systémy spalování. Výrobce může požádat i o podporu ze strukturálních fondů EU [4].

Na splnění stanoveného 8 % podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů má velký vliv samostatná hrubá domácí spotřeba.

2.2.1 Zelená elektřina

Energetický regulační úřad je nástrojem státu pro plnění stanovených indikativních cílů. ERÚ má dle zákona povinnost určovat výkupní ceny elektřiny z OZE a zelené bonusy na kalendářní rok dopředu a má za úkol motivovat výši těchto cen a bonusů investory k výstavbě nebo modernizaci výroben energií využívajících OZE.

Výrobce elektřiny z OZE si může vybrat jeden ze dvou systémů podpory:

- systém pevných výkupních cen
- systém zelených bonusů.

Pro kompletnost informací o systémech podpory výroby energií z OZE v ČR jsou níže blíže popsány oba systémy, avšak výrobny využívající spalování si mohou zvolit jen systém zelených bonusů. Systém pevných výkupních cen není možno při spalování využívat.

Systém pevných výkupních cen lze uplatnit jen pro spalování čisté biomasy. V případě že si výrobce zvolí tuto podporu, má provozovatel distribuční soustavy (PDS) nebo provozovatel přenosové soustavy (PPS) povinnost od výrobce elektřiny z OZE veškerý objem vyrobené elektřiny vykoupit. Výkupní ceny elektřiny z OZE jsou dle zákona č. 180/2005 Sb. garantovány po dobu 15 let od data uvedení do provozu. Tím zaručuje návratnost investice do zařízení do 15 let s průměrným ziskem. Při navrhování cen na následující rok je zohledňován Index cen průmyslových výrobců (IC_{PV}). Výkupní ceny pro následující rok nesmí být nižší než 95 % hodnoty výkupních cen platných v roce, v němž je o novém stanovení rozhodováno [28].

V případě podpory systémem zelených bonusů si výrobce najde sám odběratele elektrické energie, kterému ji prodá za tržní cenu a navíc výrobce obdrží zelený bonus. Zelený bonus vyplácí PDS nebo PPS podle toho, ke které soustavě je výrobce připojen.

Přecházet ze systému výkupních cen do systému zelených bonusů lze jednou ročně a tyto dva systémy nelze kombinovat.

Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů podpory jsou uvedeny v tab. 2.5.

Tab. 2.5 Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů podpory pro výrobce elektřiny z OZE [29]

Pevné výkupní ceny	Zelené bonusy
Bez rizika, komfortnější	Vyšší riziko, vyšší výnos
Zelená elektřina je povinně vykupována PDS nebo PPS	Výrobce prodává elektřinu na trhu za tržní cenu a k tomu obdrží od PDS nebo PPS prémii (zelený bonus)
Výkupní ceny jsou regulované a pevné	Možné uplatnit i pro vlastní spotřebu
Výkupní ceny jsou valorizovány indexem cen průmyslových výrobců IC_{PV}	
Zaručená doba návratnosti investice do 15 let	

Kategorie biomasy

Jelikož se výše podpory liší podle způsobu využití biomasy i jejího druhu, jsou legislativou stanovené níže uvedené skupiny biomasy a způsoby jejího využití (viz tab. 2.6, tab. 2.7).

Tab. 2.6 Skupiny biomasy [30]

Skupina 1	Cíleně pěstovaná biomasa
Skupina 2	Biomasa nezařazená ve skupině 1, 3, 4
Skupina 3	Materiálově využitelná, jednoznačně určitelná biomasa, zejména piliny a tzv. bílá a hnědá štěpka
Skupina 4	Biomasa, kterou je možné využít pomocí procesů termické přeměny
Skupina 5	Biomasa využitelná v procesu zplyňování

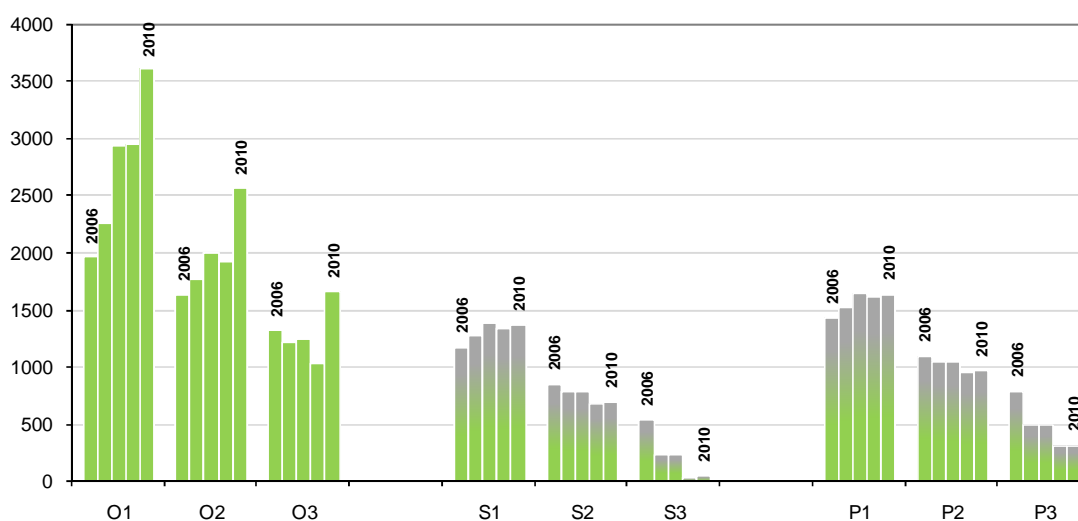
Tab. 2.7 Kategorie systémů pro spalování biomasy [30]

O	Spalování čisté biomasy
S	Společné spalování biomasy a fosilních paliv
P	Paralelní spalování biomasy a fosilních paliv

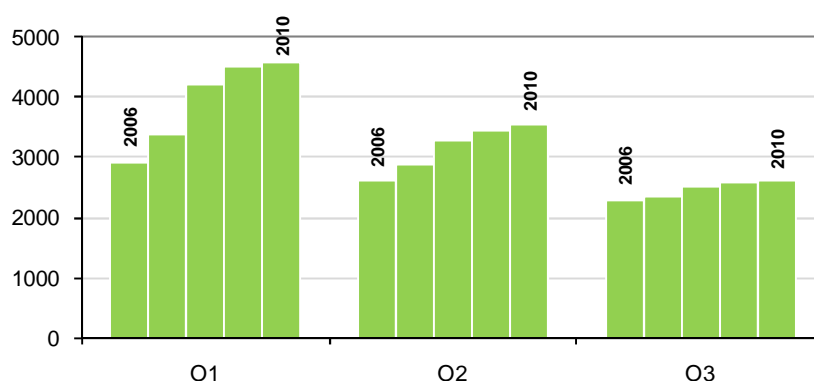
Označení např. S2 znamená společné spalování biomasy skupiny 2 a fosilních paliv.

Ceny zelené elektřiny a zelených bonusů

Každý rok koncem roku vydává ERÚ cenové rozhodnutí o výši výkupních cen a zelených bonusů na následující rok. Výše cen pro rok 2010 jsou uvedeny v příloze č.1. Vývoj zelených bonusů a výkupních cen pro jednotlivé druhy biomasy v letech 2006 až 2010 zobrazuje obr. 2.14 a obr. 2.15.



Obr. 2.14 Vývoj cen zelených bonusů za výrobu elektřiny z OZE podle jednotlivých kategorií [Kč/MWh] [31] až [35]



Obr. 2.15 Výkupní ceny zelené elektřiny vyrobené z OZE podle kategorií spalování čisté biomasy [Kč/MWh] [31] až [35]

V budoucnu lze čekat každoroční zvyšování výkupních cen elektřiny z OZE v závislosti na růstu cen elektřiny v ČR. Dále se očekává snižování zelených bonusů z důvodu nárůstu tržních cen elektřiny a tudíž nebude nutno zelenou elektřinu tolik dotovat. Z výše uvedených grafů je patrné, že nejvíce preferováno je spalování čisté biomasy skupiny 1.

2.2.2 Podpora kogenerační výroby

Pro elektřinu vyrobenou z kombinované výroby elektřiny a tepla využíváním OZE nebo druhotných zdrojů energie je stanoven příspěvek k ceně elektřiny ve výši 45 Kč/MWh (cena platí pro výroby s celkovým instalovaným výkonem vyšším než 5MW_e). Tato cena je již řadu let stejná. Výrobce účtuje tento příspěvek územně příslušnému PDS nebo PPS (pokud je k přenosové soustavě připojen) za každou vykázanou MWh vyrobené elektřiny [35].

2.2.3 Obchodování s emisemi

Evropská unie, která hraje vůdčí roli v mezinárodních jednáních o změnách klimatu, se zavázala, že do roku 2020 sníží objem emisí skleníkových plynů o pětinu, než produkovala v roce 1990 [1]. Pro splnění indikativních EU byl zaveden Evropský systém obchodování s emisními povolenkami (EU ETS), který určuje maximální objem emisí z elektrárenství a energeticky náročných průmyslových odvětví (hutnictví, rafinerie, cement). Princip obchodování s povolenkami vychází z Kjótského protokolu, jehož hlavním cílem je snížit emise skleníkových plynů, a tím zabránit globálním změnám klimatu. EU ETS má být klíčovým nástrojem, který ovlivňuje řízení každodenního provozu i plánování investic do čistých technologií.

Emisní povolenka znamená pro jejího majitele právo emitovat 1 tunu CO₂ do ovzduší. Povolenky jsou výrobcí přiděleny státem každý kalendářní rok. Pokud má podnik přebytek povolenek, může je prodat v aukci. Pokud jich má nedostatek, musí chybějící povolenky nakoupit. Za 1 vypuštěnou tunu CO₂ lze odevzdat 1 EUA povolenku, nebo 1 CER (ERU) povolenku. Vysvětlení zkratk (druhů emisních povolenek) je uvedeno dále. Povolenky EUA a CER (ERU) mají tedy shodnou užitnou hodnotu [36].

Systém obchodování s povolenkami je rozdělen do tří fází:

- první fáze (2005-2007)
- druhá fáze (2008-2012)
- třetí fáze (2013-2020).

První fáze bývá označována jako režim před Kjótským protokolem. V této fázi bylo rozdáno příliš mnoho emisních povolenek, nabídka převažovala nad poptávkou, a proto ceny povolenek klesly téměř k nule.

Druhá fáze je označována jako režim Kjótského protokolu. V této fázi bylo vydáno méně povolenek než v první fázi, aby byl průmysl motivován k investicím do nových technologií, které by produkovaly menší množství emisí CO₂. V první a druhé fázi povolenky dostávaly jednotlivé státy EU, které je poté zdarma rozdělovaly mezi průmyslové podniky (tzv. alokace).

Ve třetí fázi už nebudou podniky povolenky dostávat zdarma, ale budou si je muset nakupovat. Na počátku třetí fáze si budou muset podniky nakoupit zhruba 20 % povolenek. Tato úroveň se bude postupně navyšovat a v roce 2020 by měla dosáhnout 100 % [37].

Nyní v polovině druhé fáze (rok 2010) je patrné, že bylo rozdáno mnoho emisních povolenek a jejich cena klesla. Z tohoto důvodu existují obavy, že výrobci energií nebudou motivováni k investicím do nových technologií a k modernizaci svých zařízení pro snížení vypouštěných emisí CO₂ a bude pro ně výhodnější emisní povolenky nakupovat. Takové chování výrobců však ohrožuje smysl systému emisních povolenek.

Druhy emisních povolenek

Na burzách se obchoduje s dvěma druhy uhlíkových transakcí:

- transakce s povolenkami (EUA)
- projektové transakce (CER, ERU).

Transakce s povolenkami

Jsou uhlíkové jednotky, jež dávají „právo znečišťovat“. Jsou vytvářeny a přidělovány orgánem EU ETS. V tomto systému se obchoduje s evropskými emisními povolenkami EUA.

Projektové transakce

Jsou uhlíkové jednotky (uhlíkové kredity), jejichž cílem je potlačit nebo zneutralizovat emise skleníkových plynů vypouštěné omezením vypouštění emisí v jiném místě. V tomto systému se obchoduje s certifikačními emisními jednotkami CER a emisními redukčními jednotkami ERU [37]. Kredity CER mohou státy získat z projektů v rámci tzv. mechanismů čistého rozvoje Kjótského protokolu za investice do technologií, které sníží produkci emisí skleníkových plynů v zemích třetího světa. Kredity ERU získají investoři za stejnou činnost v rozvinutých zemích, v rámci společně zaváděných opatření podle Kjótské dohody [38].

Evropský systém obchodování s emisními povolenkami (EU ETS)

EU ETS je největší nadnárodní systém na světě pro obchodování s emisemi skleníkových plynů, který byl zahájen v roce 2005. Systému se účastní přes 10 000 společností, což představuje více než 2 miliardy tun emisí CO₂ ročně. Systém spočívá v principu „cap-and-trade“ (limituj-a-obchoduj), který byl navržen tak, aby reguloval průmyslové emise CO₂ v rámci Evropské unie za účelem splnění cílů stanovených Kjótským protokolem. Společnostem, které jsou v tomto systému je přidělena určitá kvóta emisních povolenek. Pokud jejich skutečné emise překročí přidělenou kvótu, mohou si na trhu koupit další povolenky, nebo je nahradit jednotkami CER nebo ERU [37].

Cena emisních povolenek

S povolenkami se obchoduje na burze, a proto se jejich cena mění v závislosti na nabídce a poptávce. EUA povolenky jsou obchodovány o několik procent draž než CER povolenky. Do budoucna lze očekávat, že se tyto ceny srovnají.

Průměrné ceny emisních povolenek z období první fáze jsou uvedeny v tab. 2.8. V tab. 2.9 jsou uvedeny ceny, které byly očekávány ve druhém období a jsou porovnány se skutečnými průměrnými cenami v tomto období. Povolenky EUA jsou v roce 2010 obchodovány průměrně za 13,4 € a povolenky CER za 12,1 €. Vývoj cen povolenek je detailně graficky znázorněn na obr. 2.16 a obr. 2.17.

Tab. 2.8 Průměrná cena emisních povolenek EUA v I. fázi [39]

Rok	Průměrná cena [Kč]
2005	613
2006	486
2007	42

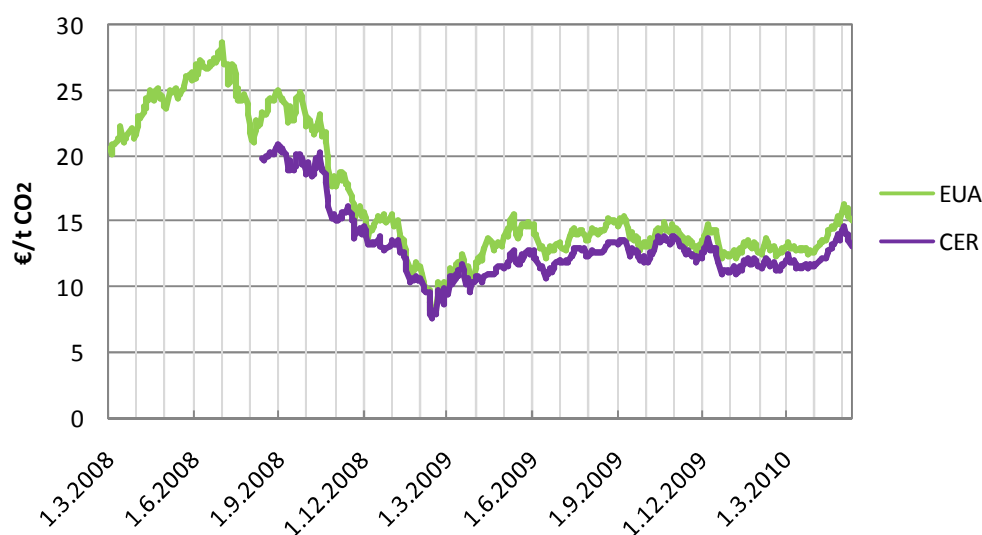
Tab. 2.9 Průměrné ceny povolenek ve II. fázi [40], [41]

Cena		2008	2009	2010	2011	2012	Průměr
		€/t CO ₂	€/t CO ₂	€/t CO ₂	€/t CO ₂	€/t CO ₂	€/t CO ₂
Předpokládaná	EUA	16	18	22	35	38	25,8
	CER	15	17	20	34	37	24,6
Skutečná	EUA	22,3	13,2	13,4 *	-	-	16,3
	CER	18	11,9	12,1 *	-	-	14,0

* Průměrná cena povolenek roku 2010 (k datu 10. 5. 2010)



Obr. 2.16 Vývoj cen emisních povolenek EUA v I. a II období [40]



Obr. 2.17 Vývoj cen emisních povolenek EUA a CER ve II. období [41]

2.2.4 Odsíření spalin

Dalším ekonomickým faktorem ukazující ve prospěch spoluspalování je úspora sorbentů na odsiřování spalin. Oxidy síry (SO_x) vznikají hlavně při spalování paliv obsahujících síru. Fosilní paliva mají poměrně velký obsah síry, tudíž se jejich nahrazením přídavnými palivy (převážně biomasovými) dosáhne snížení produkovaných emisí SO_x a s nimi souvisejících nákladů na nákup sorbentů k jejich odstranění. Emise SO_x se většinou redukuje jejich absorpcí ve vápně (CaO) nebo vápenci (CaCO_3). Podíl síry v uhlí bývá uváděn 0,5 až 2,0 %. Záleží hlavně na typu uhlí a místě jeho původu.

Mezi oxidy síry vznikající při spalování patří hlavně oxid siřičitý (SO_2) a v menší míře (SO_3). Jejich vybrané vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2.10.

Tab. 2.10 Vybrané oxidy síry a jejich vlastnosti [42]

	Název	Hustota	Teplota varu	Vlastnosti
SO₂	oxid siřičitý	2,926 kg·m ⁻³	-10°C	bezbarvý, jedovatý, štiplavý
SO₃	oxid sírový	1,92 kg·m ⁻³	44,8°C	zapříčiňuje nízkoteplotní korozi

Odsiřovací procesy se dělí dle způsobu zachycování SO_2 na regenerační (s regenerací aktivní látky) a neregenerační (bez regenerace aktivní látky). Dále se dělí podle fáze, při které se SO_2 zachycuje na metody [42]:

- suché
- polosuché
- mokré
- kombinované.

U suchých metod odsíření spalin může být sorbent dávkován do [42]:

- paliva
- topeniště
- kouřovodu
- kombinovaně.

Cena vápna nebo vápence pro účely odsíření spalin se pohybuje kolem 1500 Kč/t. Spotřeba sorbentů závisí zejména na [42]:

- obsahu síry v palivu
- požadované účinnosti odsíření
- použitém poměru Ca/S
- typu sorbentu, jeho čistotě a specifických vlastnostech
- hmotnostním poměru sorbent/vápník
- vhodných podmínkách pro průběh příslušných reakcí.

Pro zajištění uspokojivé ekonomie odsiřování vápencovými sorbenty je potřeba správně zvolit typ sorbentu a definovat požadavky na jejich kvalitu.

2.2.5 Výhody a nevýhody z pohledu ekonomiky

Systémy spoluspalování mají z ekonomického pohledu své výhody i nevýhody.

Výhody

Ekonomické výhody pro provozovatele jsou:

- snížení závislosti na dodávkách uhlí
- možnost dotace při modernizaci na systém spoluspalování
- státní pobídky pro výrobu elektřiny z OZE (zelené bonusy).

Další ekonomické výhody mohou být tržní a lokálního charakteru:

- vytvoření trhu s komoditami vhodnými ke spoluspalování, které by nebylo možné jinak efektivně zužít (např. alternativní paliva)
- vytvoření lokálního trhu s biomasovými palivy
- vytvoření nových pracovních míst v lokalitě provozovatele.

Nevýhody

Hlavní ekonomická rizika spoluspalování jsou dvojího druhu:

- snížení dostupnosti výroben energií a flexibility jejich výroby
- zvýšené náklady na údržbu a výměnu zařízení spojené se skladováním a manipulací s biomasou a také náklady na spalovací zařízení kotle.

Dalšími ekonomickými nevýhodami jsou:

- vyšší ceny biomasy za GJ v porovnání s uhlím, z toho plynou vyšší náklady na vyrobené energie
- častá fluktuace cen biomasy
- problémy s odbytem popelovin, pokud by se při použití nevhodného paliva zhoršily jejich parametry. Nehodily by se pro stavební průmysl a musely by se likvidovat, což přináší další náklady.

2.3 Paliva

V systémech spoluspalování jsou do základního (fosilního paliva) přidávány přídatná (nefosilní paliva). Tato kapitola se zabývá základními a možnými přídatnými palivy ve velkých energetických zdrojích.

2.3.1 Základní paliva

Základními palivy ve velkých energetických zdrojích bývají fosilní paliva, která se dělí na:

- vysokouhlíkové (např. uhlí)
- nízkouhlíkové (např. zemní plyn).

Ve fosilních palivech je velké procento uhlíku, který má vliv na výhřevnost. Dále fosilní paliva obsahují prvky, které jsou nežádoucí a jejich produkty musí být odstraněny. Nejvíce je pro výrobu energie využíváno hnědé uhlí, méně černé uhlí. Uhlí se skládá převážně z uhlíku a různého množství dalších příměsí. Podle složení, způsobu vzniku, stáří a energetické vydatnosti se rozlišuje několik základních druhů uhlí. Výčet druhů uhlí a jeho vlastností je uveden v tab. 2.11. Struktura zásob různých typů uhlí v ČR je uvedena v tab. 2.12. Uhlí je dodnes nejvýznamnějším pevným palivem a jedním z nejvýznamnějších zdrojů pro výrobu elektrické energie. V České republice se z uhlí získává přibližně polovina veškeré vyrobené elektřiny. Podobně je tomu například i v USA, zatímco v celosvětovém měřítku se uhlí podílí na produkci elektřiny asi čtyřiceti procenty [43].

Tab. 2.11 Parametry různých typů uhlí [44]

Typ uhlí	Obsah uhlíku %	Výhřevnost MJ/kg
Lignit	30-50	cca 13
Hnědé uhlí	50-80	15-20
Černé uhlí	80-90	18-30
Antracit	> 90	26-30

Tab. 2.12 Zásoby různých typů uhlí v ČR [45]

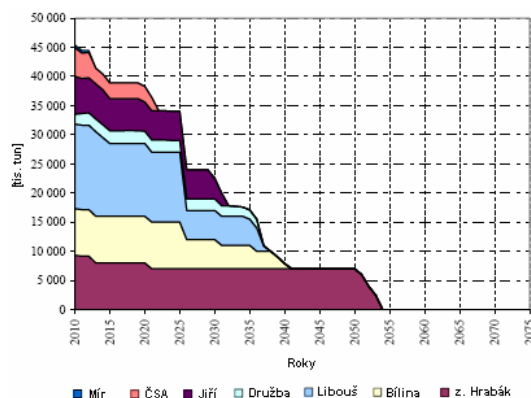
Typ uhlí	Struktura zásob %
Lignit	3
Hnědé uhlí	60
Černé uhlí	37

Velkým celosvětovým problémem jsou docházející ekonomicky těžitelné zásoby uhlí a s tím související jeho rostoucí cena. Při současné spotřebě uhlí se odhadují jeho světové zásoby na 300 let [46]. Tento údaj je v různých zdrojích odlišný. Důvodem je skutečnost, že pro některé autory odhadů mohou být některé zásoby ekonomicky netěžitelné a pro jiné těžitelné.

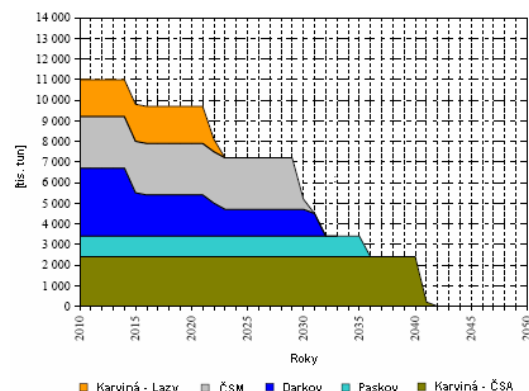
Situace s uhlím v ČR

ČR má na rozdíl od mnoha jiných evropských států významné zásoby uhlí. Problémem je, že velkou část hnědého uhlí není možné vytěžit díky územním ekologickým limitům (ÚEL). ÚEL definují dobývací prostory v severočeské uhelné pánvi, která by měla zůstat nevytěžená. Kvůli těmto limitům bude v roce 2025 zbývat jen malé množství uhlí v limitech vytěžitelných zásob, a tyto zásoby si zřejmě ponechají majitelé dolů pro svou vlastní výrobu elektřiny a tepla [47]. Tím vznikne pro ostatní velké spotřebitele hnědého uhlí velký problém, kterým bude nedostatek uhlí.

Velkými spotřebiteli hnědého uhlí jsou teplárny, které pocítí nedostatek uhlí jako první. Teplárenství v ČR tedy čelí problému nedostatku uhlí v krátkodobém až střednědobém horizontu. V letech 2010 až 2015 končí většině tepláren dlouhodobé smlouvy na dodávku hnědého uhlí a očekává se, že při zachování současných ÚEL budou mít teplárny po roce 2015 problémy s obstaráním hnědého uhlí pro své provoz. Uvádí se, že po roce 2020 nebudou mít teplárny reálnou možnost uzavření nových smluv na dodávku uhlí. Životnost zásob hnědého uhlí v rámci ÚEL je detailně znázorněna na obr. 2.18 a životnost černého uhlí na obr. 2.19. Rozmístění evidovaných ložisek uhlí v ČR je na obr. 2.20.



Obr. 2.18 Životnost zásob hnědého uhlí v rámci územních ekologických limitů [48]

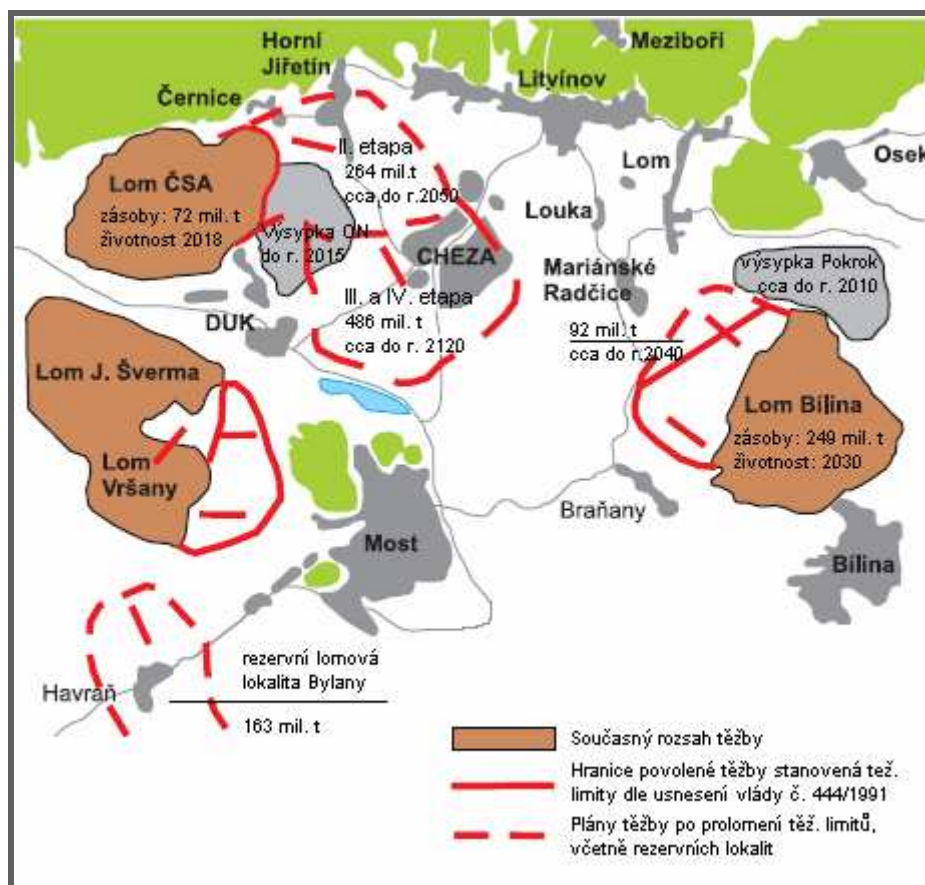


Obr. 2.19 Životnost zásob černého uhlí (predikce metodou JORC) [48]



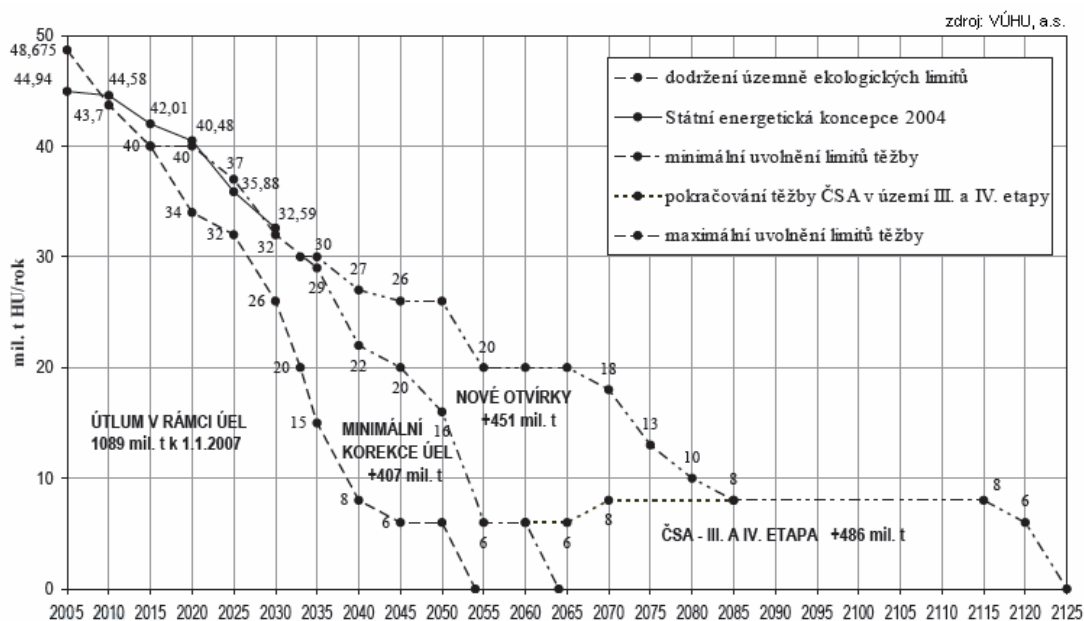
Obr. 2.20 Evidovaná ložiska uhlí v ČR [49]

Studie provedená v ČR uvádí, že za současnými ÚEL leží velké množství kvalitního hnědého uhlí, které by mohlo být akceptovatelným způsobem vytěženo ve třech etapách. Množství tohoto uhlí je odhadováno na 1344 mil. tun. V současnosti velmi diskutované lokality, ve kterých by mohlo být hnědé uhlí po prolomení ÚEL těženo, jsou znázorněné na obr. 2.21.



Obr. 2.21 Rozložení ÚEL v severočeské pánvi [49]

Z výše uvedených problémů české energetiky a obzvláště teplárenství bude v nejbližší době nutné platné ÚEL korigovat nebo přehodnotit. Zásoby hnědého uhlí po různých variantách přehodnocení ÚEL jsou zobrazeny na obr. 2.22.



Obr. 2.22 Porovnání variant vývoje těžby hnědého uhlí v ČR dle stupně korekce ÚEL s energetickou koncepcí [47]

2.3.2 Přídavná paliva

Paliva pro systém spalování přídavných paliv lze rozdělit do dvou základních skupin:

- biomasová paliva
- alternativní paliva (AP).

Spoluspalováním biomasy nebo alternativního paliva s uhlím se však zvyšují náklady na provoz elektrárny nebo teplárny. Musí se počítat se zásobníky a nakladači na biomasu nebo AP, s vysušením a dopravou paliv do kotlů. Také se musí počítat s dopravou biomasy od jejich producentů do místa elektrárny.

Biomasová paliva

Biomasa má v podmínkách ČR ze všech druhů OZE největší technicky využitelný potenciál pro výrobu elektřiny i tepla [4]. Biomasou se rozumí hmota organického původu. Dělí se na biomasu:

- rostlinnou
- živočišnou.

Největší podíl na produkci rostlinné biomasy mají lesnické a zemědělské provozy. V lesnických provozech se dřevní hmota zpracovává na materiál pro stavební a nábytkářský průmysl. Pro energetický průmysl vyrábí palivové dříví, peletky, brikety. Materiál, který je v lesnickém průmyslu odpadem, je pro energetiku velmi hodnotným a dobře využitelným zdrojem energie (např. dřevní štěpka, piliny, kůra, aj.).

Poslední dobou se v ČR začínají objevovat tzv. rychle rostoucí dřeviny (RRD). Ty jsou vyšlechtěny speciálně pro energetické účely. Jejich hlavní výhodou jsou rychlé přírůstky dřevní hmoty. V podmínkách ČR se pěstují hlavně topoly a vrby. RRD dosahují ve vhodných podmínkách po 10 letech od výsadby průměru kmene na pařezu kolem 20 cm. Výnosu suchého dřeva bývá kolem 100 t/ha. Výhřevnost tohoto paliva je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí [50]. Mimo dřeva se dají spalovat i další rostlinné produkty. Jsou jimi např. obilí, sláma, seno, kukuřice, řepka olejka, aj.

V energetických provozech je z biomasových paliv nejvíce využívána dřevní štěpka, v menší míře piliny, sláma a různé druhy pelet. Z biomasy bylo v r. 2008 vyrobeno 1171 GWh elektřiny [4]. Oproti roku 2007 tato hodnota představuje 20 % nárůst.

Živočišná biomasa není ve větší míře využívána. Z ekonomických důvodů by nebylo výhodné chovat zvířata za účelem jejich usmrcení a následného energetického využití.

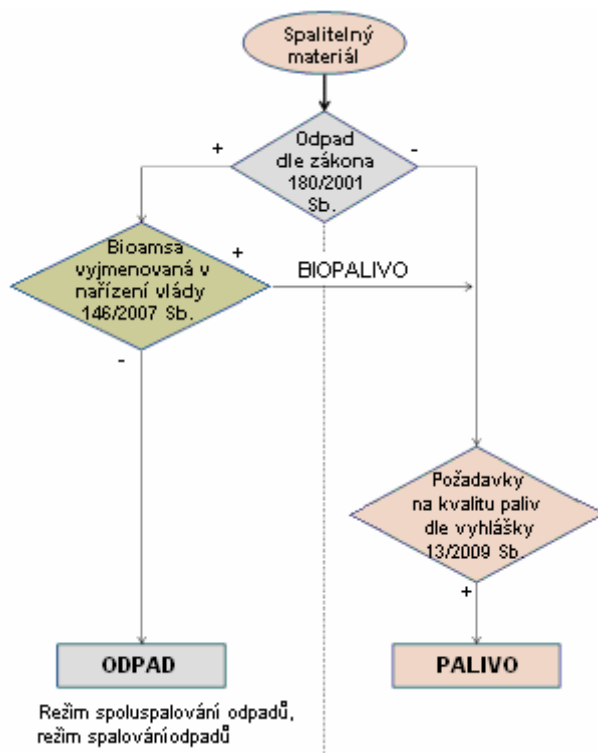
Alternativní paliva

Úvodem je třeba zdůraznit, že pojem „alternativní palivo“ již nemá od 13. 1. 2009 oporu v legislativě ČR. Tento pojem byl zrušen a nyní se dle nově platné vyhlášky č. 13/2009 Sb. materiály spalované ve stacionárních zdrojích rozlišují pouze na palivo a odpad. Pojem alternativní palivo je však stále používán v literatuře a odborných pracích pro jeho názornost a potřebě pojmenovat určité spalitelné materiály, které již byly odpadem.

V již neplatné vyhlášce č. 357/2002 Sb. byl vysvětlen pojem alternativní takto: směs spalitelných materiálů přírodního nebo umělého původu bez nebezpečných vlastností uvedených pod kódy H1, H4 až H14 v příloze č. 2 zvláštního právního předpisu (185/2001 Sb.). Skutečné složení alternativního paliva se ověřuje autorizovanou zkušebnou (dle zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů). Vlastnosti produktů spálení (plynných odpadních plynů a tuhých zbytků) jsou ověřovány autorizovanou osobou podle § 15 zákona na konkrétním zařízení zdroje znečišťování [51].

Palivem je nyní dle vyhlášky 13/2009 Sb. spalitelný materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství, určený ke spalování ve stacionárních zdrojích za účelem uvolnění jeho energetického obsahu; za palivo podle této vyhlášky není považován odpad podle jiného právního předpisu (zákon č. 185/2001 Sb.) s výjimkou rostlinného odpadu, jehož spalování nespadá do působnosti jiného právního předpisu (nařízení vlády č. 206/2006 Sb.) [52].

Grafické znázornění legislativy v oblasti přídatných paliv je na obr. 2.23.



Obr. 2.23 Legislativa v oblasti paliv [53]

Ve velkých energetických zdrojích je možné uvažovat např. o následujících netradičních přídatných (převážně biomasových) palivech (viz tab. 2.13):

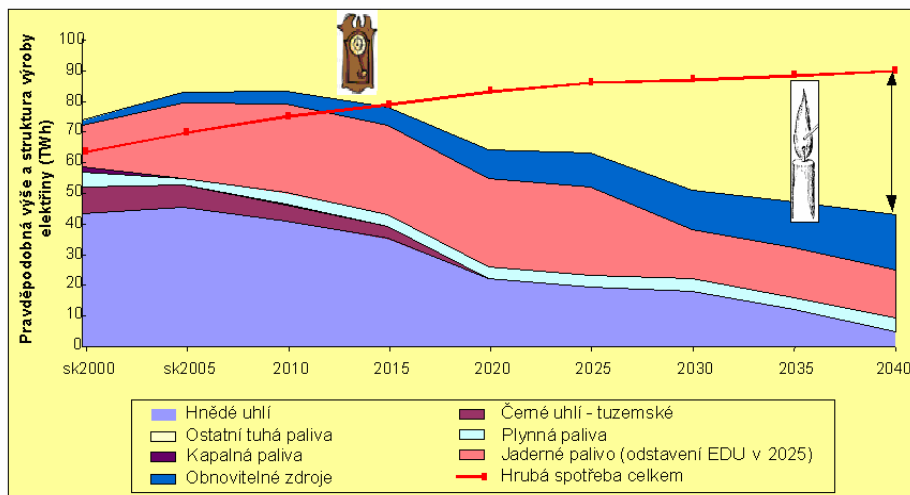
Tab. 2.13 Příklady netradičních paliv pro spalování ve velkých energetických zdrojích

	Vlhkost [%]	Výhřevnost MJ/kg	Popeloviny [%]	Zel. bonus
Pivovarské mláto	80	2,1	0,66	O2, S2, P2
Lihovarské výpalky	75	3	-	-
Výlisky olejnatých semen (pokrutiny)	-	18,5	-	-
Řepkový šrot	10	16,5	6,5	O2, S2, P2
Sušené řepné řízky	12	13	11	O2, S2, P2
Výmětová vlákna z výroby papíru	75	1,5	13	O2, S2, P2
Podsítná frakce z výroby mulčovací kůry	38	10,3	5,3	O2, S3, P3
Kaly z ČOV	75	0,35	13,5	O2, S2, P2
Tuhá alternativní paliva (TAP)	1	28	11,5	-

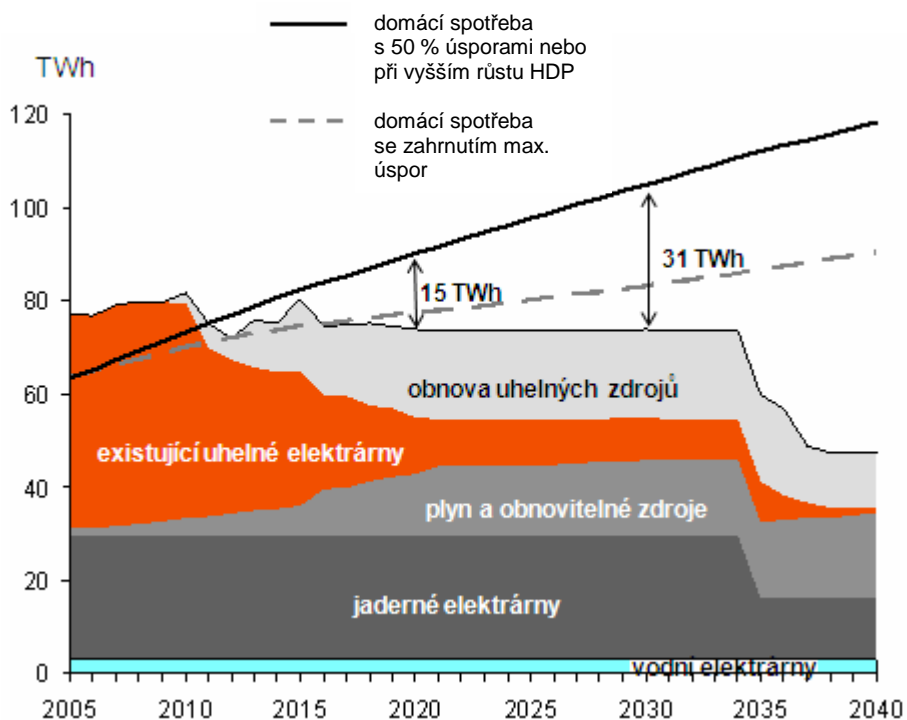
2.3.3 Výhledy výroby elektřiny podle energetických zdrojů

Zásoby energetických zdrojů jsou celosvětovým problémem. Vyhledky výroby elektřiny v ČR podle různých zdrojů jsou znázorněny na obr. 2.24 a obr. 2.25. Z obrázků je patrné, že ČR bude podle prognóz do roku 2015 energeticky soběstačná. Po roce 2015 bude muset ČR elektřinu dovážet, protože vlastní výroba elektřiny neuspokojí poptávku. Na tomto faktu nezmění nic ani vzrůstající výroba elektřiny z OZE. V literatuře se uvádí jako jediná možnost pro zachování energetické soběstačnosti ČR výstavba nových jaderných bloků a velmi často je také diskutováno

prolomení těžebních limitů uhlí. Na obr. 2.24 a obr. 2.25 je vidět odhad zastoupení výroby elektřiny z jednotlivých zdrojů v budoucnosti a odhad chybějící produkce elektřiny. Černá křivka na obr. 2.25 představuje pesimističtější odhad chybějící produkce elektřiny.



Obr. 2.24 Výroba elektřiny z různých zdrojů v budoucnosti podle Teplárenského sdružení ČR [54]



Obr. 2.25 Výroba elektřiny z různých zdrojů v budoucnosti podle ČEZ [55]

Následující kapitola se zabývá vývojem matematického modelu, který slouží k technicko-ekonomickému zhodnocení použití různých druhů paliv v systémech spalování a jejich optimálnímu dávkování do kotlů velkých energetických zdrojů.

3. OPTIMALIZACE PROVOZŮ VYUŽÍVAJÍCÍCH BIOMASU

V této kapitole bude popsána problematika technicko-ekonomické optimalizace energetického zdroje využívajícího přídatná paliva na bázi biomasy. Hlavním bodem kapitoly bude popis uživatelského rozhraní, které bylo vytvořeno pro optimalizační nástroj.

Optimalizace je matematická disciplína, jejímž cílem je získání nejlepšího možného řešení daného problému dle předem zvolených kritérií. Nejlepším možným řešením se rozumí takové řešení, které zcela vyhovuje našim požadavkům. K optimalizaci se často využívá metod operačního výzkumu, zejména matematického programování.

Termíny, se kterými je možno se u optimalizačních úloh setkat, jsou následující [56]:

- *Účelová funkce* – funkce udávající nějaké kvalitativní kritérium pro hodnocení stavu zkoumaného procesu (např. celkové náklady, hmotnost, průtok, aj.).
- *Omezení* – okrajová podmínka, kterou musí řešení úlohy splňovat. Omezení mohou být ve tvaru rovností nebo nerovností.
- *Množina přípustných řešení* – množina řešení, která splňuje všechna omezení.
- *Stavová proměnná* – proměnná vyskytující se v účelové funkci.
- *Minimum* – nejnižší hodnota, které funkce dosahuje na určité množině hodnot stavových proměnných.
- *Maximum* – nejvyšší hodnota, které funkce dosahuje na určité množině hodnot stavových proměnných.
- *Globální extrém* – minimum nebo maximum na množině všech možných kombinací hodnot jednotlivých stavových proměnných.
- *Lokální extrém* – minimum nebo maximum na podmnožině (obvykle malé) všech možných kombinací hodnot jednotlivých stavových proměnných.

3.1 Úvod

Sekce energetických systémů a simulačních výpočtů Ústavu procesního a ekologického inženýrství VUT v Brně se zaměřuje na aktuální problematiku efektivního využití energie z fosilních, obnovitelných a alternativních paliv v oblasti komunální a průmyslové energetiky. V současné době je jedna z aktivit pracoviště zaměřena na soustavy zpracování odpadů a biomasy (Výzkumný záměr MŠMT č. MSM 0021630502 "Ekologicky a energeticky řízené soustavy zpracování odpadů a biomasy"). V rámci tohoto VZ je na pracovišti vyvíjen matematický model energetického zdroje využívajícího biomasu jako přídatné palivo. Tento model je využit při technicko-ekonomické optimalizaci zdroje. Autor se na vývoji podílí dílčími úkoly, které lze shrnout do těchto bodů:

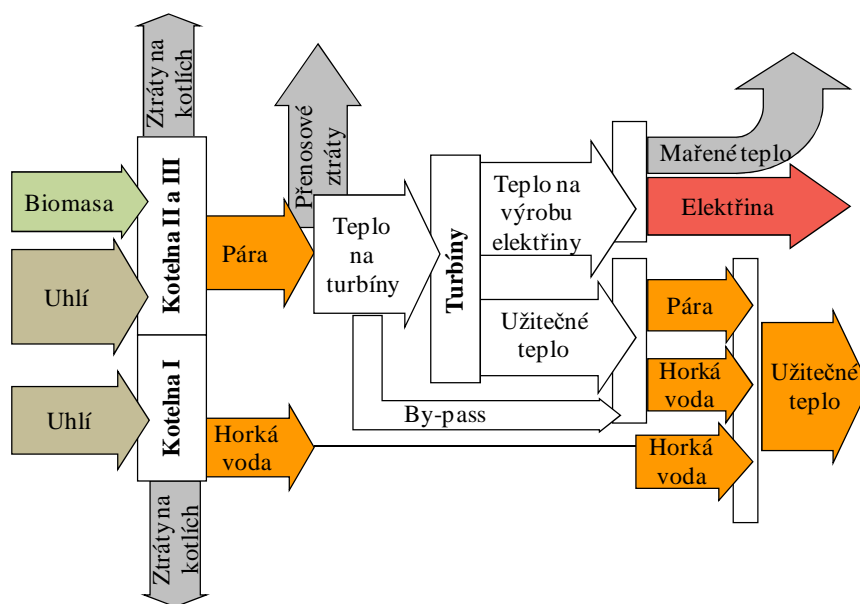
- příprava ekonomické bilance spalování přídavných paliv bez použití optimalizace
- vypracování dílčích úkolů souvisejících s návrhem optimalizační úlohy v systému GAMS (General Algebraic Modeling System)
- příprava uživatelského rozhraní pro import a export dat do, resp. ze systému GAMS
- zpracování výsledků optimalizace v prostředí MS Excel
- vypracování případové studie s použitím vytvořeného uživatelského rozhraní a systému GAMS.

Další text této práce bude zaměřen na konkrétní provoz – teplárnu provozovanou společností Plzeňská teplárenská, a.s. (dále jen teplárna). Model je univerzální a lze jej přizpůsobit pro libovolný teplárenský provoz. Popsané postupy se dají v principu rovněž použít i pro modely jiných provozů.

3.2 Model

Pro analýzu možností integrace biomasových paliv do stávajících zařízení a plánování provozu těchto zařízení bylo potřeba vytvořit matematický model. Ten může být vytvořen na základě hmotnostních a energetických bilancí nebo na základě analýzy provozních dat. Vzhledem k tomu, že provozní data byla k dispozici, byl právě druhý ze zmíněných postupů využit při vytváření modelu teplárny. Cílem analýzy je nalézt funkční závislosti mezi (pro model) podstatnými veličinami, které budou systém popisovat s dostatečnou přesností.

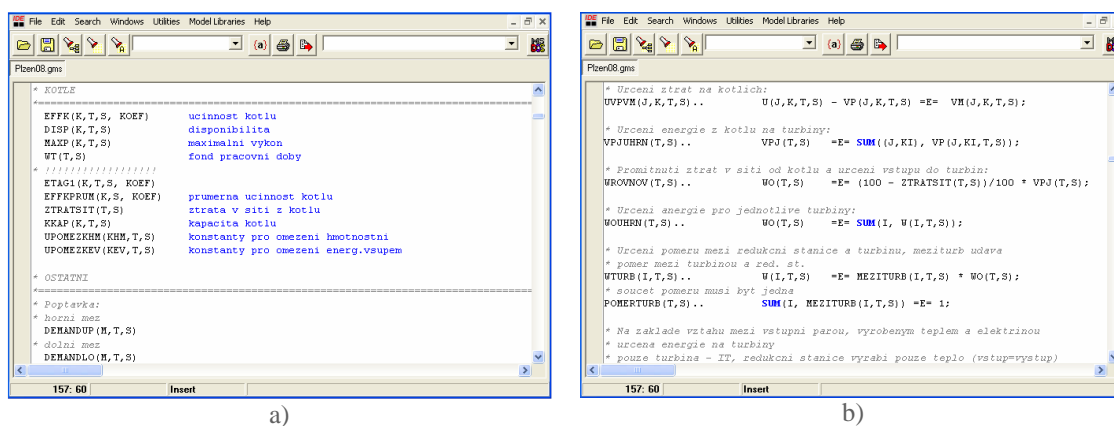
Blokové schéma teplárny je znázorněno na obr. 3.1. Při vývoji modelu je důležité pracovat s konkrétními reálnými daty a poté výsledky vypočítané matematickým modelem porovnávat s těmito daty. Při dostatečné shodě vypočtených výsledků a historických dat se dá předpokládat správná funkce vyvíjeného modelu.



Obr. 3.1 Blokové schéma teplárny

Model je navržen pro výpočet provozních podmínek teplárny s ohledem na poptávku po teple a elektrické energii. Poptávka po energiích je zadávána ve formě intervalu (minimální a maximální hodnota). Provoz je plánován na jeden rok s časovým krokem jeden měsíc. Hlavním cílem optimalizace teplárny je nalezení optimálních provozních podmínek za účelem dosažení maximálního ročního zisku. Účelová funkce je tedy v úloze optimalizace maximální roční zisk. Hodnoty vstupních a výstupních dat jsou ve většině případů měsíční úhrny v časovém horizontu jednoho roku (ve výjimečných případech se pracuje s ročními daty).

Model byl implementován v softwaru GAMS. Ukázka jeho uživatelského rozhraní je na obr. 3.2. GAMS je systém pro matematické modelování a optimalizaci. Je určen pro lineární, nelineární a smíšené celočíselné programování, pro které nabízí širokou škálu řešičů. Byl vytvořen v osmdesátých letech vývojovým týmem Světové banky. Systém je přizpůsoben pro složité a rozsáhlé aplikace modelování, které lze přizpůsobit novým situacím.



Obr. 3.2 Ukázka uživatelského rozhraní systému GAMS

Z hlediska charakteru řešeného problému jsou nejdůležitější tyto rozhodovací proměnné:

- dávkování paliv do jednotlivých kotlů
- výroba energií
- toky přes další klíčové komponenty (např. redukční stanice) [57].

Pro ekonomické zhodnocení spalování je potřeba znát příjmy a výdaje za následující položky:

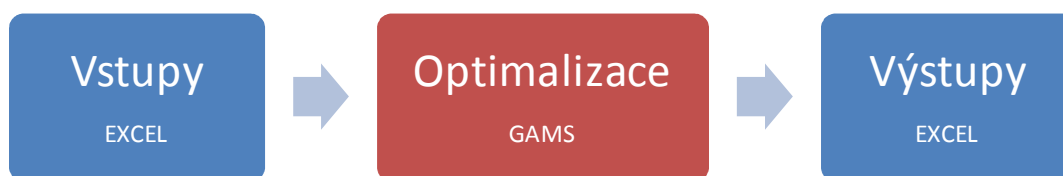
- příjmy z:
 - prodeje tepla a elektřiny
 - prodeje emisních povolenek
 - bonusů za kogenerační výrobu elektřiny
 - státní podpory výroby energií z OZE (zelené bonusy)
- výdaje za:
 - nákup paliv
 - likvidaci popelovin
 - odsíření spalín.

3.3 Import/export dat

Jelikož jsou uživatelské rozhraní, způsob zadávání vstupních parametrů a prezentace výsledků v systému GAMS pro běžného uživatele poměrně nepřehledné, bylo vytvořeno přehledné uživatelské rozhraní v prostředí běžně dostupného tabulkového procesoru MS Excel. Vytvoření uživatelského rozhraní bylo klíčovou částí této diplomové práce. Rozhraní umožňuje importovat data do systému GAMS a výsledky z něj exportovat zpět do Excelu. Z pohledu uživatele je snadný způsob zadávání dat a přehledná prezentace výsledků velmi důležitá.

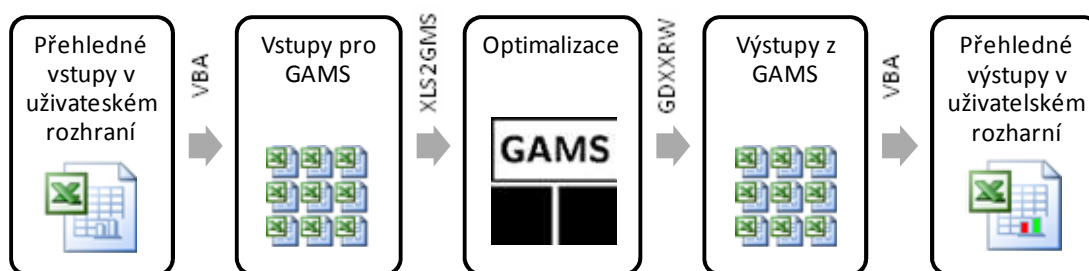
Propojení uživatelského rozhraní se systémem GAMS (viz obr. 3.3) lze rozdělit do částí, kterými jsou:

- 1) zadání vstupních dat uživatelem v rozhraní MS Excel
- 2) výpočet optimalizační úlohy v systému GAMS
- 3) výpočet doplňkových výsledků v prostředí MS Excel a následná prezentace všech výsledků uživateli.



Obr. 3.3 Blokové schéma propojení uživatelského rozhraní a systému GAMS

GAMS a jeho nástroje umožňují načítat i externí data, která jsou formátována do jím čitelné podoby. Je tedy potřeba data z uživatelského rozhraní přetransformovat. K transformaci dat byl použit programovací jazyk Visual Basic for Applications (VBA), který je součástí programu Excel (i dalších aplikací sady MS Office) [58]. Transformovat je potřeba i data vycházející z optimalizační úlohy v systému GAMS. Proces výpočtu a transformace dat je znázorněn na obr. 3.4. Stručný popis práce v jazyce VBA a ukázka některých příkazů je uveden v příloze č. 2 a příloze č. 3.



Obr. 3.4 Blokové schéma výpočtu a transformace dat

Model je v GAMS popsán pomocí stručného algebraického zápisu rovnic a nerovnic, který vyžaduje vytvoření množin prvků. Tyto množiny představují klíčové části modelu. Používané množiny v modelu jsou uvedeny v tab. 3.1.

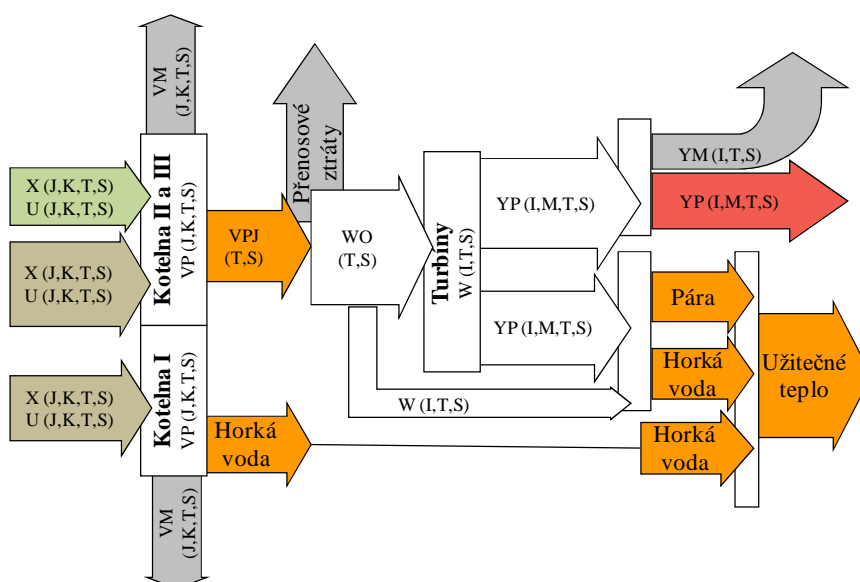
Tab. 3.1 Množiny v modelu GAMS

Množina	Popis
J	všechny paliva zahrnutá do optimalizace
JB	biomasová paliva zahrnutá v optimalizaci
K	kotelny (K1, K2, K3) *
M	energie (elektrická ME, tepelná MT)
I	turbíny
S	scénáře (např. S1), zatím nejsou využívány
T	období (T01-T12, odpovídají měsícům v roce)

* V systému GAMS nelze očíslovat kotelny římskými číslicemi, proto jsou použity arabské číslice.

Scénáře nejsou zatím v modelu využívány. V budoucnu by měli sloužit k simulaci různých stavů na straně vstupních parametrů.

Na obr. 3.5 jsou v blokovém schématu teplárny znázorněny důležité proměnné, které se vyskytují v modelu, a jejich popis je uveden v tab. 3.2.



Obr. 3.5 Proměnné v modelu teplárny

Tab. 3.2 Popis proměnných v modelu teplárny

Proměnná	Indexy	Jednotka	Popis
X	$j \in J, k \in K, t \in T, s \in S$	t/měsíc	množství jednotlivých paliv dávkovaných do jednotlivých kotelen v každém období pro určitý scénář
U	$j \in J, k \in K, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	energetické vstupy jednotlivých paliv dávkovaných do jednotlivých kotelen v každém období pro určitý scénář
VP	$j \in J, k \in K, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	energie v páře (horké vodě) z jednotlivých paliv dávkovaných do jednotlivých kotelen v každém období pro určitý scénář
VPJ	$t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	energie v páře pro turbíny v každém období pro určitý scénář
VM	$j \in J, k \in K, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	ztráty transformací jednotlivých paliv dávkovaných do jednotlivých kotelen v každém období pro určitý scénář
W	$i \in I, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	teplo přes redukční stanice v jednotlivých obdobích pro určitý scénář
WO	$t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	energie po ztrátách v síti do turbín v jednotlivých obdobích pro určitý scénář
YP	$i \in I, m \in M, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	vyrobené energie (tepelná nebo elektrická) na turbíně v jednotlivých obdobích pro určitý scénář
YM	$i \in I, t \in T, s \in S$	TJ/měsíc	zmařené teplo na turbínách v jednotlivých obdobích pro určitý scénář

3.3.1 Nástroje GAMS

Pro efektivní práci se systémem GAMS i jeho vstupními a výstupními daty je vhodné použít některé nástroje umožňující import a export dat. Vhodnější je totiž importovat data z externích datových souborů (např. MS Excel) než je zapisovat ručně. To platí i pro výstupní data, které je vhodné exportovat do souborů MS Excel a následně je graficky i početně zpracovat. Možnostmi importu dat se zabývá kap. 3.3.2 a možnostmi exportu kap. 3.3.3. Import a export dat umožňují některé nástroje systému GAMS. Jsou jimi [60]:

- pro import:
 - XLS2GMS
 - GDXXRW
- pro export:
 - GDX2XLS
 - GDXXRW
 - GDXVIEWER.

XLS2GMS

Nástroj slouží pro převod dat z tabulkového procesoru MS Excel do formátu čitelného GAMSem. Zdrojem je soubor *.xls a z něj je do pracovního adresáře nástrojem XLS2GMS vytvořen soubor *.inc. Z tohoto souboru GAMS načítá vstupní data. Základem tohoto nástroje je považování obsahu tabulky za text. Tento text může obsahovat datovou část nebo příkazy pro GAMS. Text je

exportován do souboru GAMS (*.inc), ve kterém mají mezery význam hranic buněk [60].

Pro každou proměnnou je potřeba mít jeden soubor xls. Např. soubor *DEMANDLO.xls* bude převeden na *parDEMANDLO.inc*. Je možné pracovat s parametry o více indexech.

Vstupní data musí být v tabulkovém procesoru strukturována do určité podoby, aby s nimi mohl nástroj XLS2GMS pracovat.

Příklady obecné struktury vstupních dat pro parametr s jedním indexem $P(i)$, dvěma $P(i, j)$ a třemi indexy $P(i, j, k)$ jsou znázorněny na obr. 3.6.

	A	B
1	i1	10000
2	i2	20000
3	i3	30000

a)

	A	B	C	D
1	i1	.	j1	10100
2	i1	.	j2	10200
3	i1	.	j3	10300
4	i2	.	j1	20100
5	i2	.	j2	20200
6	i2	.	j3	20300
7	i3	.	j1	30100
8	i3	.	j2	30200
9	i3	.	j3	30300

b)

	A	B	C	D	E	F
1	i1	.	j1	.	k1	10101
2	i1	.	j1	.	k2	10102
3	i1	.	j1	.	k3	10103
4	i1	.	j2	.	k1	10201
5	i1	.	j2	.	k2	10202
6	i1	.	j2	.	k3	10203
7	i1	.	j3	.	k1	10301
8	i1	.	j3	.	k2	10302
9	i1	.	j3	.	k3	10303
10	i2	.	j1	.	k1	20101
11	i2	.	j1	.	k2	20102
12	i2	.	j1	.	k3	20103
13	i2	.	j2	.	k1	20201
14	i2	.	j2	.	k2	20202
15	i2	.	j2	.	k3	20203
16	i2	.	j3	.	k1	20301
17	i2	.	j3	.	k2	20302
18	i2	.	j3	.	k3	20303
19	i3	.	j1	.	k1	30101
20	i3	.	j1	.	k2	30102

c)

Obr. 3.6 Struktura vstupních dat a) jeden parametr b) dva c) tři

Z uvedených obrázků vyplývá, že mezi indexy parametrů je nutné psát oddělovací tečku.

GDXXRW

Nástroj pro čtení a psaní dat do tabulkového procesoru MS Excel. Může načíst vícenásobné rozmezí v tabulce a zapsat ho do souboru GDX, nebo načíst data ze souboru GDX a zapsat je do tabulky. Při vypisování výsledků z modelu GAMS je potřeba zadat, které proměnné chceme vypsát a jak chceme pojmenovat soubory, ve kterých tyto data jsou.

Tento nástroj byl pro účel této diplomové práce použit pro převod dat z výsledkového souboru *.gdx do souborů tabulkového procesu MS Excel. Každá proměnná je exportována do samostatného sešitu. Nástroj GDXXRW strukturuje data tak, že jeden index proměnné je v řádku a zbývající indexy jsou ve sloupcích (viz tab. 3.6).

GDX2XLS

Nástroj pro vypisování kompletního obsahu ze souboru GDX do souboru MS Excel. Každá proměnná je tímto nástrojem vypsána na samostatný list do excelovského souboru *.xls. Vypisování proměnných na samostatné listy může být někdy nevýhodou pro další práci s daty.

GDXVIEWER

Nástroj pro zobrazení a převedení dat, která jsou uložena v souboru *.gdx. Nástroj umožňuje exportovat data do velkého množství datových formátů. Jsou jimi např. ASCII texty, CSV, HTML, XML, databáze a tabulkové formáty [60].

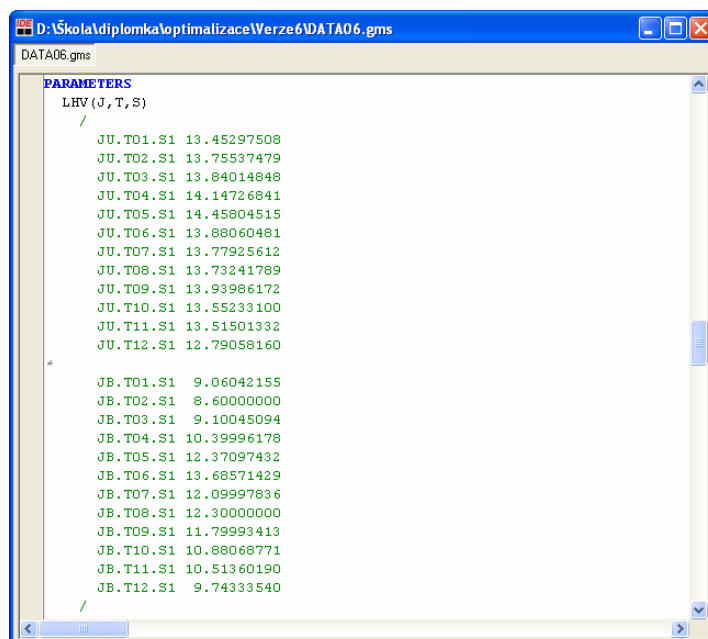
Z uvedených nástrojů byly pro potřeby diplomové práce a s ní souvisejícího uživatelského rozhraní použity nástroje XLS2GMS, pro import dat z tabulkového procesoru do GAMSu, a GDXXRW pro export dat z GAMSu do tabulkového procesoru. Tyto nástroje jsou v dalším textu popsány důkladně.

3.3.2 Import

Zadání vstupních dat do systému GAMS je možné dvěma způsoby:

- ruční zapsání do modelu GAMS
- načtení z externích datových souborů.

Orientace v modelu je pro běžného uživatele GAMSu velmi obtížná a pro zkušeného uživatele při změně vstupních parametrů časově náročná a neefektivní. Z těchto důvodů není ruční zadávání dat doporučeno. Ukázka ručního zadávání vstupních dat (parametrů) je na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Standartní vstup v modelu GAMS

Načtení dat z externích souborů (např. textový nebo tabulkový) je vhodný způsob pro zadání dat. V této práci jsou vstupní data, resp. každý vstupní parametr z přehledného uživatelského rozhraní (*Optimalizace.xls*) pomocí příkazů vytvořených ve VBA transformována do samostatného souboru *.xls. Z těchto mnoha souborů s určitou strukturou (viz tab. 3.3) dokáže systém GAMS bezproblémově vstupní data načíst. Způsob importu dat je dále popsán na konkrétním parametru LHV.

Tab. 3.3 Struktura vstupních dat

	A	B	C	D	E	F
1	JU	.	T01	.	S1	16
2	JU	.	T02	.	S1	16,5
3	JU	.	T03	.	S1	17
4	JU	.	T04	.	S1	17,5
5	JU	.	T05	.	S1	18
6	JU	.	T06	.	S1	18,5
7	JU	.	T07	.	S1	19
8	JU	.	T08	.	S1	20
9	JU	.	T09	.	S1	19
10	JU	.	T10	.	S1	18
11	JU	.	T11	.	S1	17
12	JU	.	T12	.	S1	16

Pozn. sloupec A – zkratka názvu paliva
 sloupec B – oddělovač
 sloupec C – období (měsíc)
 sloupec D – oddělovač
 sloupec E – scénář
 sloupec F – hodnota proměnné

V tab. 3.3 je ukázka dat ve formě čitelných nástroji GAMSu. Tabulka udává výhřevnost uhlí v jednotlivých měsících při scénáři S1. Tento konkrétní soubor má název LHV.xls a obsahuje pouze výhřevnost (GJ/t) pro jedno palivo – uhlí (označené jako JU) z množiny paliv J . Proměnná LHV má indexy ($j \in J, t \in T, s \in S$), které mají význam (typ paliva, období, scénář).

Pro práci se sešity XLS v systému GAMS je vhodné pojmenovat oblasti na listě, která obsahují data. Sešity XLS s daty jsou generovány dynamicky, a tudíž v každém z případů může být počet generovaných dat odlišný. V matematickém modelu je výhodné použít univerzální odkaz na tuto pojmenovanou oblast místo neuniverzálního odkazu na konkrétní oblast (např. A1:F12). Ve vzorovém příkladě v tab. 3.3 bude mít oblast A1:F12 název např. „LHV_range“. Automatické pojmenování oblasti buněk je vysvětleno v příloze č. 2.

Pro načtení proměnných z Excelu do systému GAMS se použije nástroj XLS2GMS, který je podrobně popsán kap. 3.3.1. Slouží pro převod dat z tabulkového procesoru MS Excel do formátu čitelného GAMSem. Zdrojem je soubor *.xls a z něj je do pracovního adresáře nástrojem XLS2GMS vytvořen soubor *.inc. Z tohoto souboru poté čte data GAMS. V modelu GAMS voláme nástroj xls2gms.exe příkazem \$call.

Pro načtení výhřevností paliv se v modelu GAMS odvoláme na název souboru (*LHV.xls*) a název oblasti, ve které se příslušná data na listě nachází (*LHV_range*). Z níže uvedeného zápisu pro načtení dat (viz tab. 3.4 a tab. 3.5) je patrné, že je tento způsob efektivnější než každý parametr včetně indexů zapisovat ručně jako na obr. 3.7.

Tab. 3.4 Ukázka části příkazu pro načtení jednoho parametru z externího souboru XLS

```
$call =xls2gms r=LHV_range "i=D:\Optimalizace\Import\lhv.xls" o=parlhv.inc
```

a
b
c
d

Pozn. a... příkaz pro zavolání nástroje XLS2GMS
 b... určení oblasti, ze které budou načtena data
 c... cesta k načítanému souboru
 d... název převedeného souboru, který bude čitelný GAMSem (není potřeba zadávat cestu, je automaticky ukládán do pracovního adresáře)

Celý příkaz pro načtení jedné proměnné ze souboru XLS je uveden v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Ukázka celého příkazu pro načtení jednoho parametru z externího souboru XLS

```
lhv(J,T,S)          vyhrevnost paliv [GJ_t]/
$call =xls2gms r=LHV_range "i=D:\Optimalizace\Import\lhv.xls" o=parlhv.inc
$include parlhv.inc
/
```

3.3.3 Export

Export výstupních dat je možný dvěma způsoby:

- výpisem do textového souboru
- exportem do sešitů MS Excel.

Výpis výsledků do textového souboru není doporučen z důvodu jeho komplikovaného dosažení a také pro jeho nepříliš velkou přehlednost a nemožnost další práce s daty (např. další matematické operace, barevné zvýraznění, tvorba grafů, atd.). Příklad běžného postupu pro zobrazení výstupních dat je patrný z obr. 3.8 a obr. 3.9. Obr. 3.8 ukazuje zápis v kódu GAMS, kterým se dosáhne vygenerování výstupního formuláře se vzhledem dle obr. 3.9.

```

D:\Škola\diplomka\optimalizace\Verze6\Plzen06.gms
Plzen06.gms

* VYPIŠY DEKLARACE =====
FILE OUT / "OUT.TXT" /;

* Otevření souboru pro zápis a hlavička
PUT OUT;
PUT 'Výsledky:' / '=====/' /;

* V cyklu výpočet pro scénare - přijde sem pak generování vstupu a solve
LOOP(S,
* SCENARE
  PUT '=====';
  PUT '=====';
  PUT 'Scenar ' S.TL:5 /;
  PUT '=====';
  PUT '=====';
  PUT '=====';

* VSTUPY PALIVO
  PUT '=====';
  PUT '=====';
  PUT '=====';

* Celkové vstupy
  PUT @1 'PALIVO - CENY [Kc], NAKLADY [Kc] a VSTUPY [t]:' /;
  PUT @1 'Mesic: ' /;
  LOOP(T,
    PUT T.TL:10;
  ); PUT ' Uhn' /;
  PUT '-----';
  PUT '-----';

```

Obr. 3.8 Ukázka příkazů k dosažení textového výstupu výsledků z GAMS

OUT - Poznámkový blok

SouborÚpravyFormátZobrazeníNápověda

Výsledky:

=====

Scenar s1

=====

PALIVO - CENY [Kc], NAKLADY [Kc] a VSTUPY [t]:													
Mesíc:	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	Uhn
Celkem:	62900.43	57053.09	58881.37	40712.30	35952.51	38932.43	51062.13	51452.80	54107.14	63713.04	70894.60	75118.31	660780.14

Vstupy celkové do kotlu člene podle typu paliva j_ [t]:

	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	Uhn
JU X	58630.23	52473.09	52450.05	35479.32	33499.31	38582.80	46441.14	46142.80	48034.17	56966.34	64167.61	68666.35	601533.20
JB X	4270.20	4580.00	6431.32	5232.98	2453.20	349.63	4620.99	5310.00	6072.97	6746.70	6726.99	6451.96	59246.93

Naklady celkové na palivo podle typu j_ [Kc], nejprve jednotková cena:

	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	Uhn
JU C	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
JU CX	17589068	15741927	15735016	10643795	10049794	11574840	13932341	13842840	14410251	17089902	19250283	20599904	180459960
JB C	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
JB CX	5551258	5954000	8360714	6802875	3189154	454521	6007289	6903000	7894856	8770710	8745088	8387547	77021014

Naklady 23140327 21695927 24095730 17446670 13238949 12029361 19939630 20745840 22305107 25860612 27995371 28987451 257480974

Vstupy do kotlu podle kotle k_ a typu paliva j_ [t]:

Mesíc:	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	Uhn
k1	650.41	721.97	870.44	0.00	1694.70	0.00	0.00	0.00	0.00	350.35	1369.59	2376.44	8033.89
JU X	650.41	721.97	870.44	0.00	1694.70	0.00	0.00	0.00	0.00	350.35	1369.59	2376.44	8033.89
JB X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Obr. 3.9 Ukázka možného výstupu z GAMSu

Nástroje systému GAMS umožňují export dat do sešitů MS Excel. Takto exportovaná data mají určitou předem definovanou podobu. Každá proměnná je exportovaná do samostatného *.xls sešitu.

Nejprve je nutné převést všechna data do jednoho výsledkového souboru *.gdx. Z něj lze poté pomocí nástroje GDXXRW exportovat každou proměnnou do samostatného souboru *.xls. Ukázka exportovaných dat jedné proměnné do souboru XLS je v tab. 3.6.

Tab. 3.6 Struktura výstupních dat

	A	B	C
1			S1
2	JU	T01	100
3	JU	T02	200
4	JU	T03	300
5	JU	T04	400
6	JU	T05	500
7	JU	T06	600
8	JU	T07	700
9	JU	T08	800
10	JU	T09	900
11	JU	T10	1000
12	JU	T11	1073,6
13	JU	T12	5822,9

Pozn. sloupec A – zkratka názvu paliva
sloupec B – období (měsíc)
sloupec C – hodnota proměnné pro scénář S1

V tabulce tab. 3.6 je ukázka exportovaných dat z GAMSu. Tabulka udává spotřebu paliva v jednotlivých měsících při scénáři S1. Tento konkrétní soubor má název X.xls a je v něm pouze jedno palivo – uhlí (JU). Proměnná X má indexy ($j \in J$, $t \in T$, $s \in S$), které mají význam (typ paliva, období, scénář). Jak si lze všimnout, struktura výstupních dat je lehce odlišná od struktury vstupních dat (není zde oddělovací tečka).

Příkaz pro výpis výsledků proměnných X a Y do souboru GDX (např. „Vysledky.gdx“) je uveden v tab. 3.7.

Tab. 3.7 Ukázka příkazu pro výpis všech proměnných do jednoho souboru GDX

```
execute_unload "Vysledky.gdx" X.L, Y.L
```

a
b
c

Pozn. a... příkaz pro výpis proměnných do souboru *.gdx
b... určení názvu souboru (není potřeba zadávat cestu, je automaticky ukládán do pracovního adresáře)
c... požadované proměnné pro výpis do souboru Vysledky.gdx, píšící se na jeden řádek za sebe

Příkaz pro výpis výsledků jedné proměnné X ze souboru GDX, který obsahuje všechny vypočtené výsledky, do samostatného souboru MS Excel je uveden v tab. 3.8.

Tab. 3.8 Ukázka příkazu pro výpis jedné proměnné do samostatného souboru XLS

```
execute 'gdxxrw.exe Vysledky.gdx o=D:\Optimalizace\Export\X.xls var=X.L'
```

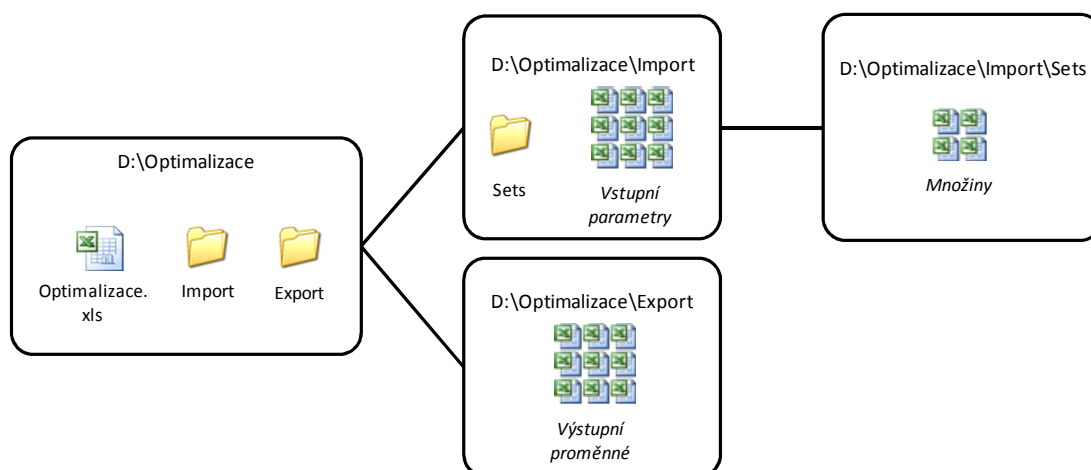
a
b
c
d
e

Pozn. a... příkaz pro zavolání nástroje GDXXRW
 b... určení názvu souboru, ve kterém se nacházejí výsledky
 c... cesta ke složce, do které má být soubor uložen
 d... název souboru, do kterého mají být uloženy hodnoty proměnné
 e... určení proměnné, jejíž hodnoty mají být uloženy do souboru X.xls

Opakováním postupu, ukázaném v tab. 3.8, lze dosáhnout výpisu každé proměnné do samostatného XLS souboru. Data z mnoha výstupních souborů je však potřeba načíst do jednoho přehledného listu (*Výstupy*) v uživatelském rozhraní *Optimalizace.xls*. Tam jsou data přehledně seřazena, některá použita k dalším výpočtům a pro lepší názornost jsou prezentována v grafech. K načtení výstupních dat dochází díky příkazům ve VBA.

3.3.4 Typické struktury potřebné pro import

Funkce uživatelského rozhraní *Optimalizace.xls* vytvoří po spuštění příkazu *Generuj* do složky, kde je rozhraní umístěno, složky Import a Export. Do složky Import se generují *.xls soubory parametrů potřebné pro načtení do GAMSu a také složka Sets, do které budou dynamicky generovány *.xls soubory podle množin potřebných pro GAMS. Složka Export bude využita až po výpočtu optimalizace v GAMSu. Do této složky se uloží *.xls soubory reprezentující výsledky jednotlivých proměnných. Princip řazení složek je znázorněn na obr. 3.10.

**Obr. 3.10** Grafické znázornění cesty k datům

3.3.5 Uživatelské rozhraní

Pro přehlednost a snadné zadávání vstupních dat a analýzu výstupních dat bylo vytvořeno v tabulkovém procesoru MS Excel uživatelské rozhraní *Optimalizace.xls*. Uživatelské rozhraní se skládá z několika listů, určených pro zadání vstupních dat (parametrů) na listech pro vstupy a pro načtení výstupních dat (proměnných) do listů pro výstupy. V uživatelském rozhraní jsou to konkrétně listy:

- pro vstupy
 - Paliva
 - Požadavky
 - Ceny
 - Kotle
 - Strojovna
 - Ostatní
- pro výstupy
 - Výstupy
 - Shrnutí optimalizace.

Na listě *Paliva* (viz obr. 3.11) se zadávají parametry paliv. Jsou nachystány tabulky pro 10 paliv, z nichž je možno tlačítkem aktivovat 1 až 10 paliv a tím je zahrnout do výpočtu. U každého paliva je tlačítko, jehož stiskem se určí, zda je palivo biomasové. Toto určení se ve výpočtu projeví zahrnutím vyrobené elektřiny z daného paliva do zelené elektřiny (elektřiny z OZE). V horní části listu se nachází tlačítko *Generuj*, jehož stiskem je zahájena transformace vstupních dat do podoby čitelné nástrojů GAMSu (do XLS souborů).

Optimalizace

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

S1

Generuj

1. Uhlí

JU	param.	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	průměr	suma
cena	Kč/GJ						50							50	
výhřevnost	GJ/t	13,1	13,3	13,1	13,7	15,0	14,9	13,8	14,0	14,7	13,1	13,4	13,7	13,8	
dostupnost	t/měsíc	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	1 200 000
Bonus_S															
Bonus_P															
Bonus_O															
popeloviny	% hm.	12,3	11,3	11,4	12,0	9,1	10,6	11,9	11,9	10,3	12,6	11,4	13,7	11,5	
síra	% hm.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	

2. Biomasa

JS	param.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr	suma
cena	Kč/GJ						120							120	
výhřevnost	GJ/t	9,7	10,8	11,0	12,1	11,6	12,5	13,2	14,2	13,4	13,3	12,2	11,3	12,1	
dostupnost	t/měsíc	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	84 000
Bonus_S							2								
Bonus_P															
Bonus_O															
popeloviny	% hm.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
síra	% hm.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	

Paliva

Požadavky

Ceny

Kotle

Strojovna

Ostatní

Výstupy

Shrnutí optimalizace

Opt

Obr. 3.11 Uživatelské rozhraní – list Paliva

Na listě *Požadavky* (viz obr. 3.12) se zadávají intervaly požadavků na vyrobenou elektřinu a teplo. Vyrobené energie určené k prodeji budou vypočítány v rozsazích těchto intervalů.

POŽADAVKY		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Elektrina min	GWh	38,1	39,1	43,3	24,7	22,4	25,8	41,8	41,4	43,7	42,9	40,8	39,8
Elektrina max	GWh	42,1	43,2	47,8	27,3	24,8	28,5	46,1	45,8	48,3	47,4	45,1	44,0
Teplo min	TJ	442,4	385,3	392,2	283,6	177,5	111,1	108,2	104,3	189,8	284,3	353,1	443,8
Teplo max	TJ	489,0	425,8	433,4	313,4	196,2	122,8	119,6	115,3	209,8	314,2	390,3	490,5

Obr. 3.12 Uživatelské rozhraní – list Požadavky

Na listě *Ceny* (viz obr. 3.13) se zadávají prodejní ceny elektřiny a tepla, ceny zelených bonusů, pevné výkupní ceny elektřiny a ceny dalších položek. Tabulka je nachystána jako v ostatních případech pro dvanáct měsíců. Ceny jsou stejné po celý rok, proto se zadávají jen jednou. V případě potřeby rozlišit ceny v jednotlivých měsících, je úprava uživatelského rozhraní poměrně jednoduchá (sloučené buňky se rozdělí).

CEHY		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
PC	Elektrina	Kč/MWh						2100					
	Teplo	Kč/GJ						300					
Zelené bonusy (2010)	S1	Kč/MWh						1370					
	S2	Kč/MWh						690					
	S3	Kč/MWh						50					
	P1	Kč/MWh						1640					
	P2	Kč/MWh						970					
	P3	Kč/MWh						320					
	O1_nv	Kč/MWh						3610					
	O2_nv	Kč/MWh						2560					
	O3_nv	Kč/MWh						1660					
	O1_ov	Kč/MWh						2930					
	O2_ov	Kč/MWh						2230					
	O3_ov	Kč/MWh						1560					
Výkup ceny zelené (2010)	O1_sv	Kč/MWh						1860					
	O2_sv	Kč/MWh						1160					
	O3_sv	Kč/MWh						490					
	O1_nv	Kč/MWh						4560					
	O2_nv	Kč/MWh						3530					
	O3_nv	Kč/MWh						2630					
Kogenerační bonusy	O1_ov	Kč/MWh						3900					
	O2_ov	Kč/MWh						3200					
	O3_ov	Kč/MWh						2530					
	O1_sv	Kč/MWh						2830					
	O2_sv	Kč/MWh						2130					
Kogenerační bonusy	O3_sv	Kč/MWh						1460					
	Kogenerační bonusy	Kč/MWh						45					
	Emisní povolenky EUA	Kč/t _{CO2}						350					
	Odvoz a likvidace popelovin	Kč/t						350					
Vápeno	Kč/t							1500					
	Vápenec	Kč/t						1500					

Obr. 3.13 Uživatelské rozhraní – list Ceny

Na listě *Kotle* (viz obr. 3.14) se zadávají parametry kotlů, paliva použita v jednotlivých kotlích a omezení respektující maximální množství přídavného paliva vůči základnímu palivu. Na listě *Kotle* lze tedy definovat technická omezení pro spalování biomasy. Omezení je možné definovat pro jednotlivá paliva nebo lze jedním omezením omezit sumu paliv (směs). Pro zahrnutí paliva do omezení je zapotřebí u něj v příslušné buňce v tabulce zapsat X.

Omezení jsou dva typy:

- hmotnostní – udává hmotnostní poměr přídavných paliv v omezení s ohledem na hmotnost uhlí
- příkonové (energetické) – udává energetický poměr přídavných paliv v omezení s ohledem na energetický obsah uhlí.

Kotle

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr
Výkon	MW	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70,0
Fond prac.doby	hod/měsíc	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83,0
Disponibilita	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Konstanta K	-	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr
Výkon	MW	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256,0
Fond prac.doby	hod/měsíc	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728	728,0
Disponibilita	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90
Konstanta K	-	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr
Výkon	MW	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135,0
Fond prac.doby	hod/měsíc	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716	716,0
Disponibilita	-	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
Konstanta K	-	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Omezení

Načít OMEZENÍ

Omezení dávkování paliv do KOTLŮ

	JU	JS	JM	JT	JR	JC	JF	B	9	10	HM/PR	HM %	PR %
Omezení 1											HM		
Omezení 2											HM		
Omezení 3											HM		
Omezení 4											HM		
Omezení 5											HM		

	JU	JS	JM	JT	JR	JC	JF	B	9	10	HM	HM %	PR %
Omezení 1		X	X	X	X	X	X				HM	30	10000
Omezení 2											HM		
Omezení 3											HM		
Omezení 4											HM		
Omezení 5											HM		

Obr. 3.14 Uživatelské rozhraní – list Kotle

Na listě *Strojovna* (viz obr. 3.15) se zadává maximální množství vyrobeného tepla na turbíně. V případě potřeby se mohou doplnit další parametry.

Strojovna

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr
Kapacita turbíny	TJ/měsíc	750	750	750	750	750	750	750	700	700	750	750	750	741,7

Obr. 3.15 Uživatelské rozhraní – list Strojovna

Na listě *Ostatní* (viz obr. 3.16) se zadává emisní limit daného provozu. V případě potřeby se mohou doplnit další parametry.

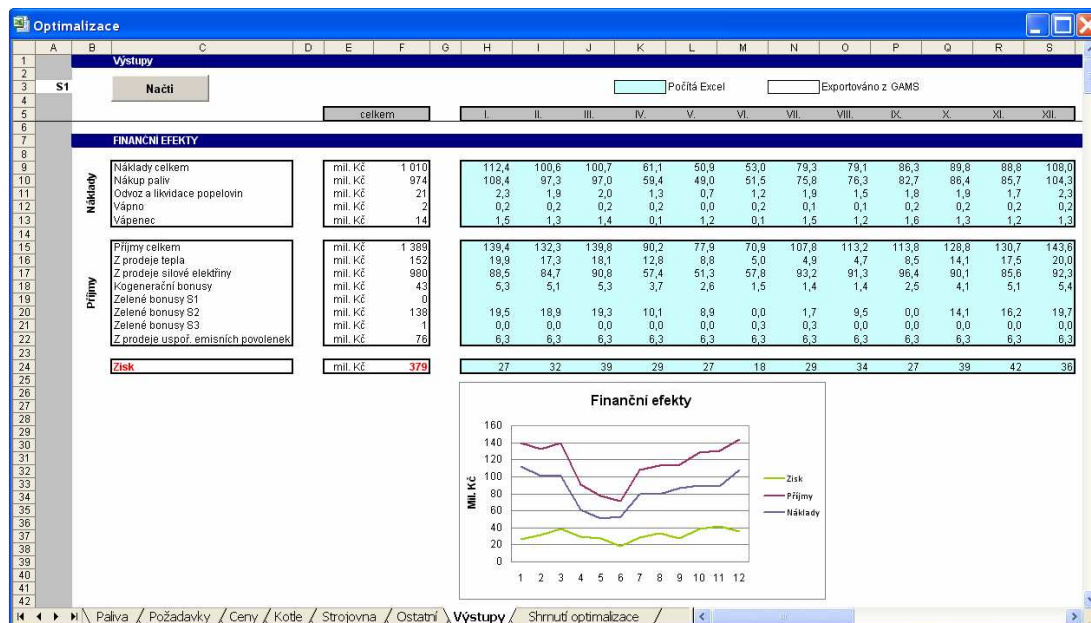
Ostatní

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	průměr
Emisní limit CO ₂	t/ř													830 775

Obr. 3.16 Uživatelské rozhraní – list Ostatní

Na listě *Výstupy* (viz obr. 3.17) jsou zobrazeny všechny GAMSem vypočítané výsledky (proměnné) a také jsou zde provedeny některé výpočty s výstupními proměnnými. List obsahuje grafické zobrazení některých výsledků. Tlačítko *Načti*

slouží k načtení proměnných z mnoha XLS souborů, které se nacházejí ve složce Export, do příslušných míst na listě *Výstupy*.



Obr. 3.17 Uživatelské rozhraní – list Výstupy

Na listě *Shrnutí optimalizace* (viz obr. 3.18) jsou zobrazeny nejdůležitější výsledky a grafy, které jsou výsledkem optimalizace. Je zde také graficky znázorněná energetická bilance celého provozu.



Obr. 3.18 Uživatelské rozhraní – list Shrnutí optimalizace

V následující kapitole bude pomocí vytvořeného uživatelského rozhraní a matematického modelu provedeno ekonomické posouzení vhodnosti použití uvažovaných přídatných paliv v teplotěnském provozu.

4. PŘÍPADOVÁ STUDIE

Cílem případové studie je z ekonomického hlediska posoudit možnost a výhodnost použití dostupných náhradních paliv na bázi biomasy a navrhnout jejich optimální způsob dávkování do kotlů konkrétního provozu (Plzeňské teplárenské, a.s.). Hlavní důvody pro použití přídatných paliv v teplárně jsou:

- zvýšení příjmů z produkce elektřiny z OZE
- zajištění paliva v době nejistých dodávek uhlí.

Velkým problémem v energetice ČR a obzvláště v teplárenství jsou nejisté dodávky hnědého uhlí ve střednědobém i dlouhodobém horizontu. Teplárnám v nejbližších letech končí dlouhodobé smlouvy na dodávky uhlí. Podle Teplárenského sdružení ČR bude mít v roce 2015 většina tepláren problém získat uhlí a od roku 2025 bude uhlí jen pro vlastníky dolů a jejich vlastní zdroje [53]. Důvodem zdražování uhlí a jeho snižující se dostupnosti jsou územní ekologické limity pro těžbu hnědého uhlí. Proto je v současné době stále diskutována možnost prolomení těžebních limitů (situací s uhlím v ČR se podrobně zabývala kap 2.3.1).

4.1 Popis řešených případů

V případové studii budou analyzovány zejména tyto případy:

- 1) Použití náhradních paliv za stávajících podmínek (neomezené množství uhlí a jeho relativně levná cena).
- 2) Použití uvažovaných náhradních paliv v závislosti na zvyšující se ceně uhlí.
- 3) Použití uvažovaných náhradních paliv v závislosti na snižující se dostupnosti uhlí a jeho současném zdražování.
- 4) Analýza optimálních parametrů netradičního náhradního paliva.

Všechny řešené příklady mají společné to, že vycházejí z provozního režimu teplárny roku 2008 (účinnosti zařízení, požadavky na energie, atd.). V jednotlivých řešených případech se měnila cena nebo dostupnost uhlí. V posledním případě se měnily pouze parametry náhradního paliva, které souvisejí s jeho stupněm vysušení. Blokované schéma teplárny je znázorněno na obr. 3.1.

Ve výsledcích výpočtů nejsou uvedeny konkrétní zisky z důvodu neznalosti přesných nákladů teplárny (např. investice do zařízení, lidské zdroje). Je tedy uveden absolutní pokles zisků v porovnání se současným stavem. Pokles zisků souvisí se zvyšující se cenou uhlí nebo použitím přídatných paliv.

4.1.1 Vstupní parametry paliv

V tab. 4.1 jsou uvedeny vybrané důležité parametry paliv zahrnutých do optimalizace. Vzhled některých z nich je na obr. 4.1. Ceny paliv jsou uvedeny porovnáním na obr. 4.2, protože konkrétní ceny jsou předmětem obchodního tajemství.

Tab. 4.1 Vybrané parametry uvažovaných paliv

Palivo	dostupnost [t/rok]	LHV [MJ/kg]	popeloviny [%]	síra [%]	zel. bonus [-]
Uhlí	dle případu	13,8	11,5	0,6	-
Dřevní štěpka	80 000	10,4	1,0	0,0	S2
Pivovarské mláto	21 000 *	17,3 *	2,9 *	0,1 *	S2
Sušené řepné řízky	20 000	13,1	10,9	0,2	S2
Řepkový šrot	30 000	16,5	6,5	0,4	S2
Sluneč. šrot	7 500	16,5	6,5	0,4	S2
Podsítná frakce ze zprac. kůry	17 500	9,5	6,5	0,03	S3

* V případě č. 4 má pivovarské mláto různé parametry



a) pivovarské mláto



b) sušené řepné řízky

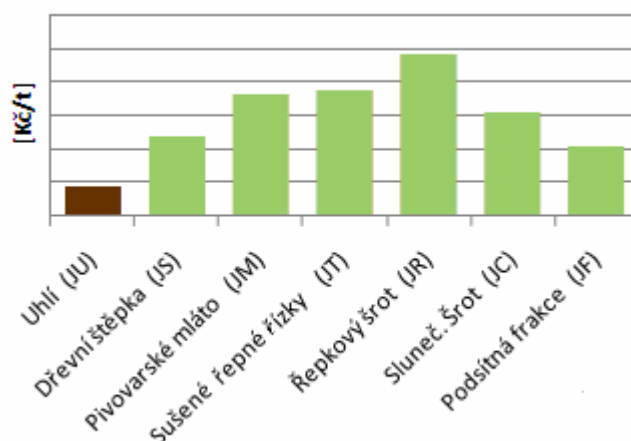


c) řepkový šrot



d) podsítná frakce z výroby mulčovací kůry

Obr. 4.1 Vzhled vybraných netradičních paliv [53]



Obr. 4.2 Ceny uvažovaných paliv

4.1.2 Vstupní omezení kotlů

V teplárně je v současné době šest kotlů, které se nacházejí ve čtyřech kotelnách (etapách). Blokové schéma technologie teplárny je na obr. 3.1 a rozdělení kotlů do kotelen je uvedeno v tab. 4.2. Kotelna KI slouží k pokrytí výkonových špiček, a proto není běžně využívána. Biomasoný kotel K7 v kotelně KIV byl spuštěn na jaře roku 2010 a není do této práce zahrnut.

Tab. 4.2 Kotelny teplárny

Kotelna	Kotle	Typ kotlů	Možná paliva
K I	K2+K3	horkovodní	jen uhlí
K II	K4+K5	granulační práškové	uhlí a přídatná paliva
K III	K6	fluidní	uhlí a přídatná paliva
K IV	K7	fluidní	jen biomasa

Omezení kotlů v kotelnách na dávkování paliv je následující:

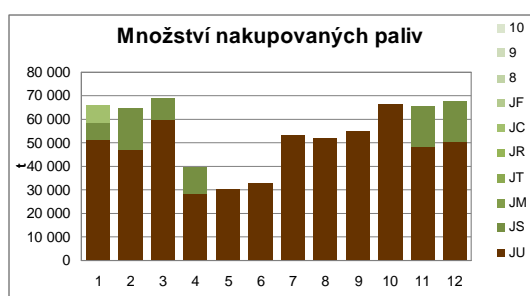
- K I – jen uhlí
- K II – uhlí a přídatná paliva do 30 % hmotnosti uhlí
- K III – uhlí a přídatná paliva do 40 % energetické hodnoty uhlí.

4.2 Příklad č. 1

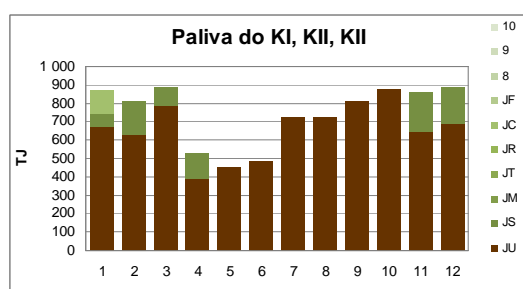
Bylo analyzováno použití a dávkování paliv do kotlů při neomezené dostupnosti uhlí a jeho současné (relativně levné) ceně. Výsledky případové studie jsou uvedeny v tab. 4.3 a na obr. 4.3.

Tab. 4.3 Výsledky případové studie č. 1

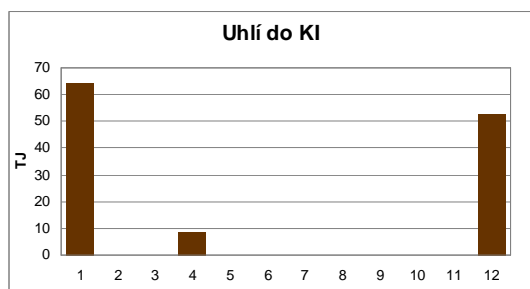
Použití paliv	Uhlí	t	576 555
	Dř. štěpka	t	80 000
	Mláto	t	0
	Sušené řepné řízky	t	0
	Řepkový šrot	t	0
	Sluneč. šrot	t	7 500
	Podsítná frakce	t	0
Export tepla		TJ	3 463
Export elektřiny		GWh	485



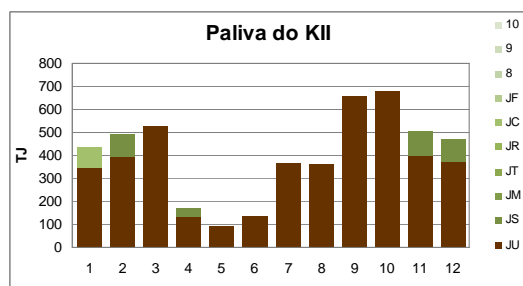
a) Množství nakupovaných paliv



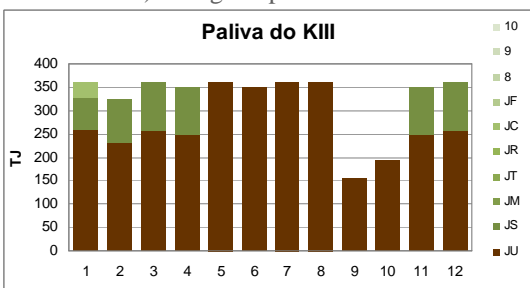
b) Energie v palivech do všech kotlen



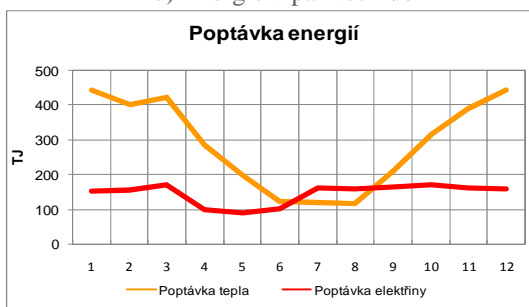
c) Energie v palivech do KI



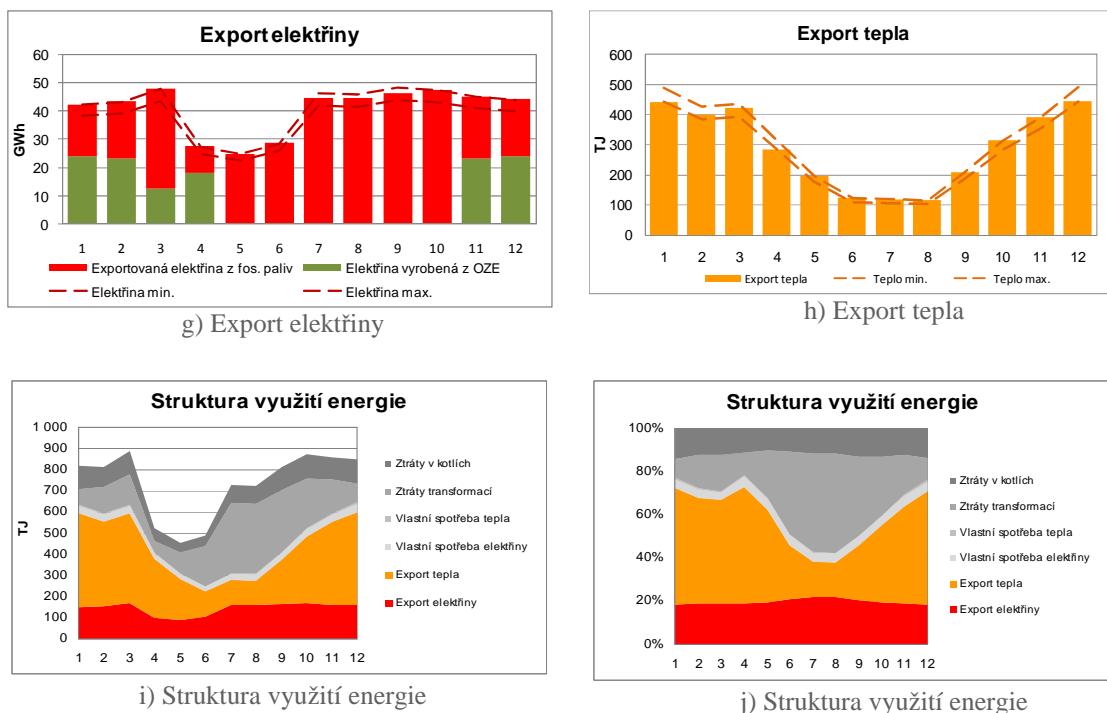
d) Energie v palivech do KII



e) Energie v palivech do KIII



f) Poptávka energií



Obr. 4.3 Grafické výsledky případové studie (Případ č. 1)

Z uvedené optimalizace je patrné, že při současné ceně a dostupnosti uhlí dojde z uvažovaných přídatných paliv k použití veškeré dostupné dřevní štěpky a slunečnicového šrotu. Dřevní štěpka je s přihlédnutím k její ceně nejvýhodnějším přídatným palivem. Z grafů použití paliv v jednotlivých měsících (viz obr. 4.3 b) je patrné, že je výhodné dávkovat přídatná paliva převážně v zimních měsících. Kotelna KI není běžně využívána, slouží pouze k pokrytí výkonových špiček.

4.3 Případ č. 2

Bylo analyzováno použití a dávkování paliv do kotlů v závislosti na zvyšující se ceně uhlí. Dostupnost uhlí byla uvažována jako neomezená. Cílem bylo zjistit, při jaké ceně uhlí jsou uvažovaná přídatná paliva použita. Výsledky případové studie jsou uvedeny v tab. 4.4, tab. 4.5 a na obr. 4.4.

Tab. 4.4 Výsledky případové studie č. 2

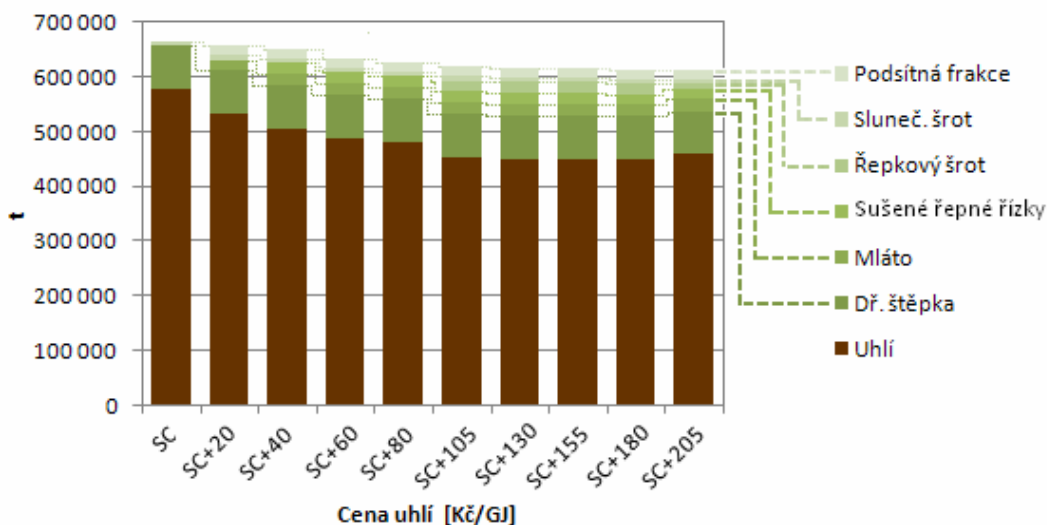
	Cena uhlí	Kč/GJ	SC*	SC+20	SC+40	SC+60	SC+80
Použití paliv	Uhlí	t	576 555	531 576	504 342	488 104	480 465
	Dř. štěpka	t	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
	Mláto	t	0	20 166	21 000	21 000	21 000
	Sušené řepné řízky	t	0	0	20 000	20 000	20 000
	Řepkový šrot	t	0	0	0	0	0
	Sluneč. šrot	t	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
	Podsítná frakce	t	0	17 500	17 500	17 500	17 500

Export tepla	TJ	3 463	3 442	3 431	3 369	3 401
Export elektřiny	GWh	485	485	480	466	459
Pokles zisku	mil. Kč	0	- 155	- 298	- 439	- 573

Tab. 4.5 Výsledky případové studie č. 2

Cena uhlí		Kč/GJ	SC+105	SC+130	SC+155	SC+180	SC+205
Použití paliv	Uhlí	t	453 943	450 352	449 643	448 155	458 009
	Dř. štěpka	t	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
	Mláto	t	21 000	21 000	21 000	21 000	21 000
	Sušené řepné řízky	t	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
	Řepkový šrot	t	18 478	20 228	20 992	20 292	8 272
	Sluneč. šrot	t	7 500	7 500	7 500	7 500	7 500
	Podsítná frakce	t	17 500	17 500	17 500	17 500	17 500
Export tepla		TJ	3 381	3 381	3 381	3 381	3 351
Export elektřiny		GWh	459	459	459	456	449
Pokles zisku		mil. Kč	- 724	- 878	- 1 032	- 1 186	- 1 360

Pozn. SC – současná cena



Obr. 4.4 Množství nakupovaných paliv v závislosti na zdražujícím uhlí

Z uvedených výsledků je patrné, že s rostoucí cenou uhlí se snižuje jeho nakupované množství a zároveň se snižuje export elektřiny (i její výroba) ke spodní hranici intervalu požadavku na ní. Přídavná paliva jsou zahrnována postupně s ohledem na jejich cenu, výhřevnost a S bonus. Se vzrůstající cenou uhlí při zachování současných prodejních cen energií klesají rapidně zisky teplárny.

4.4 Příklad č. 3

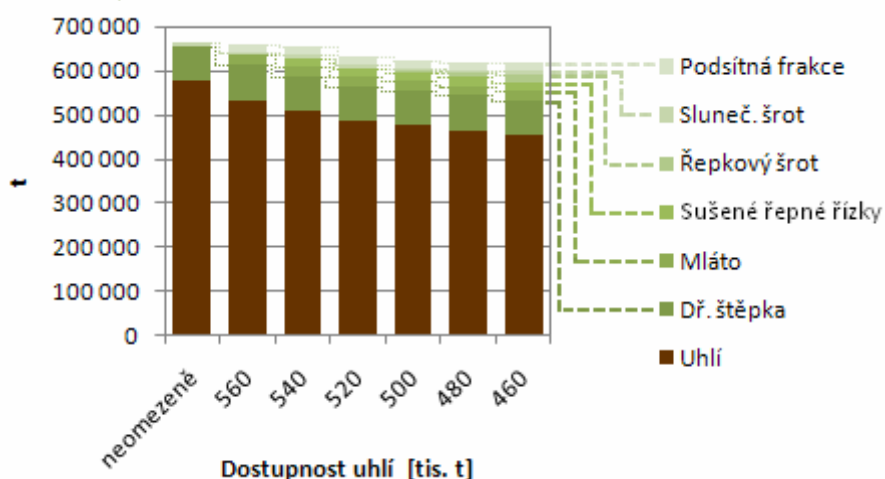
Bylo analyzováno použití a dávkování paliv do kotlů v závislosti na snižující se dostupnosti uhlí a jeho současně zvyšující se ceně. Cílem bylo zjistit, do jaké míry dokážou přídatná paliva nahradit uhlí. Výsledky případové studie jsou uvedeny v tab. 4.6, tab. 4.7 a na obr. 4.5.

Tab. 4.6 Výsledky případové studie č. 3

	Dostupnost a cena uhlí	tis. t	neomezeně	560	540	520
		Kč/GJ	SC+0	SC+20	SC+40	SC+60
Použití paliv	Uhlí	t	576 555	533 376	507 159	485 697
	Dř. štěpka	t	80 000	80 000	80 000	80 000
	Mláto	t	0	21 000	21 000	21 000
	Sušené řepné řízky	t	0	0	19 682	20 000
	Řepkový šrot	t	0	0	0	0
	Sluneč. šrot	t	7 500	7 500	7 500	7 500
	Podsítná frakce	t	0	17 500	17 500	17 500
Export tepla		TJ	3 463	3 442	3 431	3 389
Export elektřiny		GWh	485	485	480	464
Pokles zisku		mil. Kč	0	- 158	- 303	- 440

Tab. 4.7 Výsledky případové studie č. 3

	Dostupnost a cena uhlí	tis. t	500	480	460	450
		Kč/GJ	SC+80	SC+100	SC+120	SC+130
Použití paliv	Uhlí	t	476 636	464 054	452 453	neřešitelné
	Dř. štěpka	t	80 000	80 000	80 000	
	Mláto	t	21 000	21 000	21 000	
	Sušené řepné řízky	t	20 000	20 000	20 000	
	Řepkový šrot	t	684	9 173	19 190	
	Sluneč. šrot	t	7 500	7 500	7 500	
	Podsítná frakce	t	17 500	17 500	17 500	
Export tepla		TJ	3 381	3 381	3 381	
Export elektřiny		GWh	459	459	459	
Pokles zisku		mil. Kč	- 566	- 695	- 817	



Obr. 4.5 Množství nakupovaných paliv v závislosti na docházejícím uhlí

Z výsledků je patrné, že se snižující se dostupností uhlí se postupně snižuje export elektřiny k minimálnímu požadavku na ní. Přídavná paliva jsou opět nakupována postupně od nejlevnějšího k nejdražšímu s ohledem na chybějící uhlí. Při snížení dostupnosti uhlí pod hodnotu 450 tisíc tun ročně byla optimalizační úloha neřešitelná. I kdyby bylo přídavných paliv dostupné větší množství, tak nelze z důvodu omezení kotlů na přídavná paliva nahradit větší část uhlí při zachování uspokojení poptávky po energiích. Při menší dostupnosti uhlí (pod 450 tis. t) by bylo pro teplárenský provoz řešením snížení výroby elektřiny a zachování výroby tepla. Náhrada části uhlí přídavnými palivy a současné zdražení uhlí se značně projeví na ziscích teplárny. Teplárny produkující mimo teplo i elektřinu totiž generují převážnou část svých zisků z prodeje silové elektřiny a podpůrných služeb.

4.5 Příklad č. 4

Cena uhlí byla uvažována na jeho současné hodnotě a množství jako neomezené. Byly porovnávány náklady na sušení mláta na určitou hodnotu a rozdíl zisků ze spalování takto vysušeného mláta. Cílem bylo určit vhodný stupeň sušení mláta tak, aby zisk ze spalování mláta o určité vlhkosti pokryl náklady na jeho vysušení.

Tab. 4.8 Výsledky případové studie č. 4

Vlhkost	%	15	30	35	50	62
LHV	MJ/kg	17,1	13,6	12,5	9,0	6,3
Uhlí	t	546 855	546 752	546 448	548 474	550 919
Dř. štěpka	t	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
Mláto	t	21 420	26 010	28 010	36 414	47 913
Sušené řepné řízky	t	0	0	0	0	0
Řepkový šrot	t	0	0	0	0	0
Sluneč. šrot	t	7 369	7 500	7 500	7 500	7 500
Podsítná frakce	t	0	0	0	0	0

Export tepla	TJ	3 463	3 463	3 463	3 463	3 463
Export elektřiny	GWh	485	485	485	485	485
Rozdíl v zisku	mil. Kč	0,0	+ 2,8	+ 3,2	+ 4,5	+ 6,4

Z výsledků je patrné, že sušení pivovarského mláta nepřinese ekonomické výhody. Mláto tedy není vůbec nutné sušit, stačí ho jen odvodnit pásovým lisem z původní vlhkosti 80 % na lisem dosažitelnou úroveň cca 62 %. Zahrnuté množství mláta je vždy jeho maximální dostupnost (se vzrůstající vlhkostí jeho množství stoupá).

5. ZÁVĚR

Využívání obnovitelných zdrojů energie je důležité z ekologických a bezpečnostních důvodů (snížení závislosti na dovozu energetických komodit). Nejperspektivnějším OZE je v podmínkách ČR biomasa. Její využití rok od roku stoupá. Důvodem jsou vzrůstající ceny fosilních paliv a ekologické požadavky na výrobu „zelených“ energií. V současné době je podíl OZE na výrobě elektrické energie v ČR 6,8 %.

Poměrně jednoduchými a levnými řešeními pro využití biomasy ve velkých energetických zdrojích jsou systémy spalování. Systémy spalování přinášejí svým provozovatelům technické i ekonomické nevýhody. Pro kompenzaci nevýhod a ekonomické zatraktivnění spalování zavedl stát systém zelených bonusů. Pro motivaci k ekologickému chování výrobců energií je zaveden systém obchodování s emisními povolenkami.

Před nasazením systému spalování do praxe je zapotřebí provést technicko-ekonomický výpočet. Pro tento výpočet byl vytvořen matematický model v systému GAMS. Stěžejní částí této práce bylo vytvoření přehledného uživatelského rozhraní v systému MS Excel. To umožňuje snadnější a přehlednější komunikaci mezi uživatelem a matematickým systémem.

V závěru práce byla za použití vytvořeného modelu a uživatelského rozhraní řešena případová studie zaměřená na ekonomické zhodnocení různých variant na trhu s palivy (hlavně na variantu zvyšujících se cen uhlí a na variantu snižujících se dodávek uhlí).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] European Parliament and the Council. *Directive 2009/28/EC of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.*
- [2] HANSON, Julia, et al. Co-firing biomass with coal for electricity generation - An assessment of the potential in EU27. *Energy Policy*. 2009, 37, s. 1444-1455.
- [3] TRČÁLEK, Karel. *Nazeleno.cz* [online]. 20.05.2009 [cit. 2010-04-07]. Skleníkové plyny: Oxid uhličitý (CO₂) není jediný „hříšník“. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/sklenikove-plyny-oxid-uhlicity-co2-neni-jediny-hrisnik.aspx>>.
- [4] BUFKA, Aleš, et al. *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2008.*: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2009. 29 s.
- [5] European Parliament and the Council. Directive 2001/77/EC on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. *Official Journal of the European Communities* 2001; L283:33-40.
- [6] Eurostat, Statistical Office of the European Communities: *Electricity generated from renewable sources*, Section: Statistics -Environment and energy- Energy, on-line database available from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, 2008.
- [7] *Finance.cz* [online]. 10.2.2010 [cit. 2010-03-10]. Spotřeba elektřiny velkých podniků klesla loni o deset procent. Dostupné z WWW: <<http://www.finance.cz/zpravy/finance/251965-spotreba-elektriny-velkych-podniku-klesla-loni-o-deset-procent/>>.
- [8] BUFKA, Aleš; BECHNÍK, Bronislav. *TZB-info* [online]. 8.3.2010 [cit. 2010-04-07]. Přehled rozvoje obnovitelných zdrojů energie. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=6296&h=2&pl=49>>.
- [9] BAXTER, Larry. Biomass-coal co-combustion: opportunity for affordable renewable energy. *Fuel*. 2005, 84, s. 1295-1302.
- [10] EUBIA - *European Biomass Industry Association* [online]. 2007 [cit. 2010-04-08]. Co-Combustion with Biomass. Dostupné z WWW: <<http://www.eubia.org/333.0.html>>.
- [11] LOO, Sjaak van; KOPPEJAN, Jaap. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. London : Earthscan, 2008. 465 s.
- [12] MILČÁK, Pavel. Úvod do problematiky spoluspalování biomasy v uhelných kotlích elektráren a tepláren. *Energie z biomasy III – seminář*. Brno, 2004.
- [13] OCHODEK, Tadeáš. Úvod do problematiky spoluspalování biomasy v uhelných kotlích elektráren a tepláren. *Biomasa jako zdroj energie - seminář*. Ostravice, 2006.
- [14] BALÁŠ, M., LYSÝ, M. *Systémy pro zplyňování odpadů v zahraničí*.
- [15] PIETILÄ, Marjatta. *Warstila.com* [online]. 2008 [cit. 2009-02-09]. Clean energy using renewable fuel. Dostupné z WWW: <http://www.wartsila.com/Wartsila/global/docs/en/about_us/twentyfour7/1_2008/power-brewing-spent-grain-producing-energy.pdf>.
- [16] Huber CS, spol. s r.o. [online]. 2008 [cit. 2010-02-10]. Bezpečné technologie pro čistší životní prostředí. Dostupné z WWW: <<http://www.hubercs.cz/>>.

- [17] *Flottweg* [online]. 2008 [cit. 2010-02-10]. Product line - Belt press. Dostupné z WWW: <<http://www.flottweg.de/global/products/belt-press/index.html?parent=&subid=>>.
- [18] *Desmet - Ballestra* [online]. 2009 [cit. 2010-02-20]. Bioethanol - Biomass. Dostupné z WWW: <<http://www.desmetgroup.com/desmet04/preparation.html>>.
- [19] RICHARDS, E.A. *Execpc.com* [online]. [cit. 2008-10-19]. Drying brewers grains. Dostupné z WWW: <<http://my.execpc.com/~drer/sgd.htm>>.
- [20] *Akahl.de* [online]. [cit. 2008-10-19]. Dostupné z WWW: <http://www.akahl.de/akahl/en/products/biomass_pelleting/pellet_presses_biomass/>.
- [21] *SOMA engineering* [online]. [cit. 2008-10-19]. Ekover. Dostupné z WWW: <www.soma-eng.com/docs/prospects/Ekover-CS.pdf>.
- [22] *Gama Pardubice s.r.o.* [online]. [cit. 2008-10-19]. Granulátor. Dostupné z WWW: <<http://www.gama-pardubice.cz/cs/produkty-a-sluzby/granulator/>>.
- [23] SLADKÝ, Václav. *Biom.cz* [online]. 1.12.2001 [cit. 2010-04-18]. Dřevní peletky - standartní fytopalivo budoucnosti. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-peletky-standardni-fytopalivo-budoucnosti>>.
- [24] PEJZL, Jaroslav. Dřevěné pelety. *Lesnická práce*. 2004, 83, 9. Dostupný také z WWW: <<http://lesprace.silvarium.cz/content/view/322/27/>>.
- [25] JAKUBES, Jaroslav. *Kontext, současný stav a perspektivy spoluspalování biomasy v ČR a EU*. 2008. Dostupný také z WWW: <<http://www.enviros.cz/novinky/2008/seminare/2008-08-06-Sbornik-workshop-BioE-COFITECK.pdf>>.
- [26] DE, S.; ASSADI, M. Impact of cofiring biomass with coal in power plants – A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*. 2009, 33, s. 283-293.
- [27] *Skupina ČEZ* [online]. 2010 [cit. 2010-03-05]. Biomasa stále aktuální. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/2761.html>>.
- [28] NOVÁK, Libor. TZB-info [online]. 28.11.2005 [cit. 2009-09-05]. Zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2897&h=13&pl=49>>.
- [29] BURSÍK, Martin. *Nový zákon na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v ČR*. 2005. Dostupný také z WWW: <http://www.energyagency.at/publ/pdf/cz_energietage_bursik_c.pdf>.
- [30] Česká republika. Vyhláška 453/2008, kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb. *Sbírka zákonů*. 2008, 146, s. 7783-7789.
- [31] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 10/2005 ze dne 18. listopadu 2005, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů*. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2005. 7 s.
- [32] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2006 ze dne 21. listopadu 2006, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a*

- druhotných energetických zdrojů*. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2006. 8 s.
- [33] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2007 ze dne 20. listopadu 2007, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů*. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2007. 9 s.
- [34] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2008 ze dne 18. listopadu 2008, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů*. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2008. 9 s.
- [35] *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2009 ze dne 3. listopadu 2009, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů*. Jihlava : Energetický regulační úřad, 2009. 9 s.
- [36] DRAHOTA, Jan. *Management povolenek ve druhém obchodovacím období*. Dostupné z WWW: <<http://www.asocfin.sk/userfiles/7.KB%20povolenky%20Jan%20Drahota.pdf>>.
- [37] CHARVÁT, Hugo. *Ekolist.cz* [online]. 2.11.2007 [cit. 2008-10-18]. Druhá fáze obchodování s povolenkami může začít. Dostupné z WWW: <<http://ekolist.cz/zprava.shtml?x2070007>>.
- [38] *Carbon Capitals Markets* [online]. [cit. 2008-09-10]. Uhlíkové obchodování. Dostupné z WWW: <http://www.carboncapitalmarkets.com/cz/uhlikove_obchodovani/uhlikovy_trh>
- [39] *Průměrná cena emisní povolenky*. Jihlava : Energetický regulační úřad, 2008 . 1 s. Dostupné z WWW:<http://www2.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20tepl o/prumerna_cena_em06_07.pdf>.
- [40] *European Energy Exchange* [online]. 5.3.2010 [cit. 2010-03-10]. EU Emission Allowances Chart. Dostupné z WWW: <<http://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights/EU%20Emission%20Allowances%20|%20Spot/EU%20Emission%20Allowances%20Chart%20|%20Spot/spot-eua-chart/2010-03-05/1/1/a>>.
- [41] *Bluenext* [online]. 5.3.2010 [cit. 2010-03-10]. Closing prices BlueNext Spot.
- [42] MIKLÍK, T. *Odsíření spalín fluidního kotle..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 80 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
- [43] *OKD* [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. Uhlí: tradiční zdroj energie. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/?PHPSESSID=9e0f4885a7390b1750a26833e7250395>>.
- [44] *OKD* [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. Typy uhlí. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/typy-uhli/>>.
- [45] *OKD* [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. Uhlí v České republice. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/soucasnost-u-nas-i-ve-svete/uhli-v-ceske-republice/>>.

- [46] OKD [online]. 2010 [cit. 2010-02-20]. Současnost: u nás i ve světě. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/soucasnost-u-nas-i-ve-svete/>>.
- [47] VONDRÁŠ, Jan. Kritický scénář vývoje teplárenství v případě neuvolnění ÚEL hnědého uhlí. In *Teplárenské dny 2010 - České teplárenství a jeho perspektivy*. Hradec Králové : Garamon, 2010.
- [48] PELCL, Ladislav. Životnost výroben energie na tuhá paliva. In *Teplárenské dny 2010 - Technologie, poznatky a řešení pro teplárenství*. Hradec Králové : Garamon, 2010.
- [49] *Surovinové zdroje České republiky - Nerostné suroviny (stav 2007)*. Ministerstvo životního prostředí ČR – Geologická služba, Praha, 2008. 413 s.
- [50] ACRE [online]. 2008 [cit. 2010-02-20]. Rychle rostoucí dřeviny a rostliny. Dostupné z WWW: <<http://www.acre.cz/produkty/rrd-rychle-rostouci-rostliny.html>>.
- [51] Česká republika. Vyhláška č. 357/2002 Sb. kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší. *Sbírka zákonů*. 2002. s. 7611-7615.
- [52] Česká republika. Vyhláška 13/2009 Sb. o stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší. *Sbírka zákonů*. 2009, 4, s. 208-211.
- [53] PAVLAS, M., BORÁŇ, J., HOUDKOVÁ, L., STEHLÍK, P. *Předběžná studie proveditelnosti výroby alternativního paliva*. VUT v Brně, 2009.
- [54] KAUFMANN, Pavel. *Energetikamalenovice.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-04-08]. Seminář energetiků. Dostupné z WWW: <www.energetikamalenovice.cz/seminar2009/prednasky/JELENOVSKA2009TSCRKaufmann.ppt>.
- [55] SPILKA, Petr. *Skupina ČEZ a Jaderná elektrárna Dukovany*. 14. 9. 2009
- [56] JEGLA, Z., *Přednášky z předmětu Systémové inženýrství III*. Vysoké učení technické v Brně. 2010.
- [57] TOUŠ, M., PAVLAS, M., STEHLÍK, P., POPELA, P., *Technical Economic Optimization of Existing Combustion Plant Utilizing Coal and Biomass*
- [58] WALKENBACH, J., *Excel 2007 Power Programming with VBA*
- [59] McCarl, B., *McCarl GAMS User Guide*, 2009
- [60] ČÁPKOVÁ, M. Optimalizace návrhu dopravní sítě. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 55 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Karel Mikulášek, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AP	Alternativní palivo
CER	Certified emission reductions
CO ₂	Oxid uhličitý
EC	European Comission
ERU	Emission reduction units
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
EU ETS	EU Emissions Trading Scheme
EUA	European Union Allowance
GAMS	General Algebraic Modeling System
IC _{PV}	Index cen průmyslových výrobců
JORC	Joint Ore Reserves Committee
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
NO _x	Oxid dusíku
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PEZ	Primární energetické zdroje
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
RRD	Rychle rostoucí dřeviny
SO _x	Oxid síry
ÚEL	Územní ekologické limity
VZ	Výzkumný záměr
ZZ	Zplyňovací zařízení

PŘÍLOHY

Seznam příloh:

- Příloha č. 1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy pro rok 2010.
- Příloha č. 2 Implementace ve VBA.
- Příloha č. 3 Nástroje pro efektivní práci v Excelu.
- Příloha č. 4 CD, které obsahuje:
- elektronickou verzi diplomové práce ve formátu PDF
 - uživatelské rozhraní *Optimalizace.xls*.

Příloha č. 1 Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny z biomasy pro rok 2010 [35]

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2010	4580	3610
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2010	3530	2560
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 v nových výrobnách elektřiny nebo zdrojích od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2010	2630	1660
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 pro zdroje uvedené do provozu před 1. lednem 2008	3900	2930
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 pro zdroje uvedené do provozu před 1. lednem 2008	3200	2230
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 pro zdroje uvedené do provozu před 1. lednem 2008	2530	1560
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 ve stávajících výrobnách	2830	1860
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 ve stávajících výrobnách	2130	1160
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 ve stávajících výrobnách	1460	490
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S1 a fosilních paliv	-	1370
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S2 a fosilních paliv	-	700
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S3 a fosilních paliv	-	50
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P1 a fosilních paliv	-	1640
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P2 a fosilních paliv	-	970
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P3 a fosilních paliv	-	320

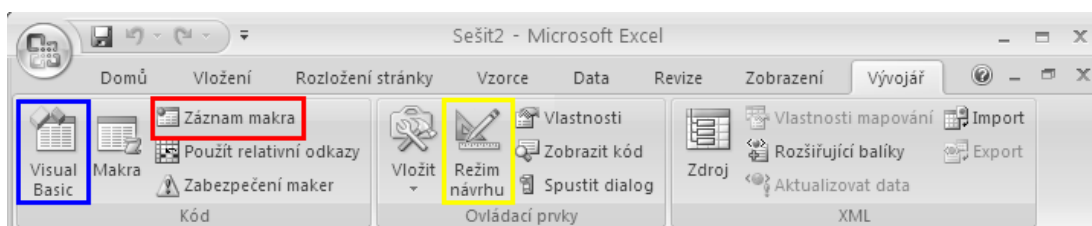
Příloha č. 2 Implementace ve VBA

Programovací jazyk VBA byl použit pro efektivní práci se vstupními i výstupními daty. Editor jazyka VBA je možné spustit při spuštění Excelu dvěma způsoby:

- kombinací kláves Ctrl+F11
- Vývojář → Kód → Visual Basic.

Karta Vývojář (viz obr. 0.1) se standartně v Excelu 2007 nezobrazuje. Zobrazení této karty se dosáhne takto:

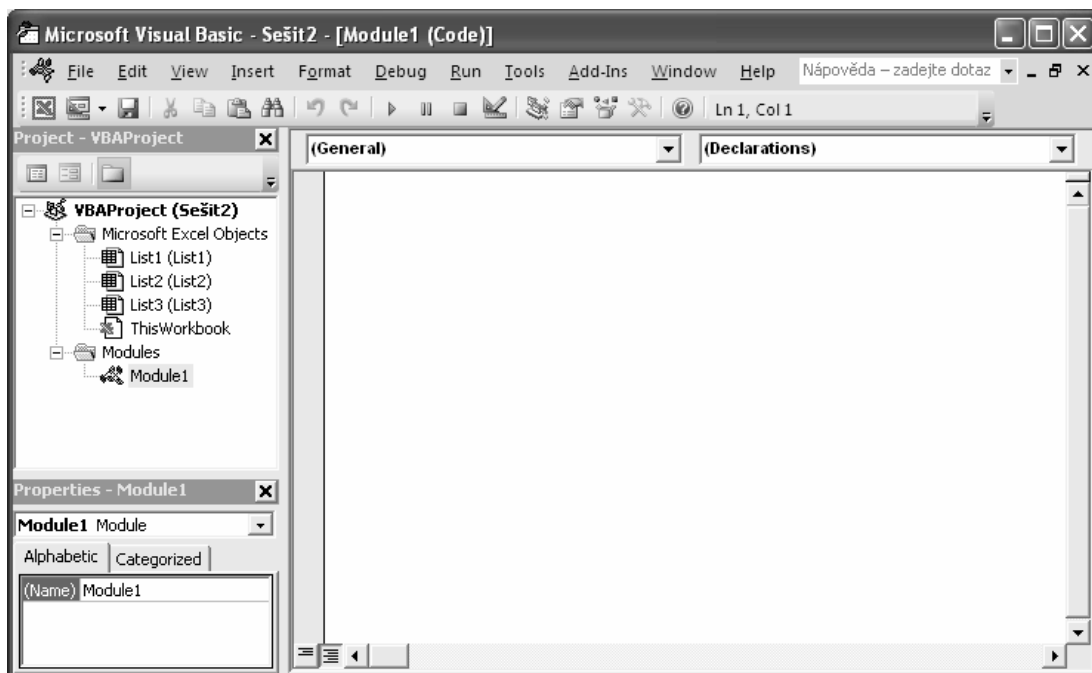
Office → Možnosti aplikace Excel → Oblíbené → zaškrtnout políčko Zobrazit na pásu karet Vývojář.



Obr. 0.1 Karta Vývojář

Z karty Vývojář jsou nejdůležitější tato tři tlačítka:

- Visual Basic (modré zvýraznění) – zobrazí editor jazyka VBA (viz obr. 0.2).
- Záznam makra (červené zvýraznění) – zaznamená makro.
- Režim návrhu (žluté zvýraznění) – zapíná nebo vypíná návrhový režim. Při vypnutém jsou neaktivní prvky, jako např. tlačítka.



Obr. 0.2 Editor jazyka VBA

Zápis kódu VBA

Kód VBA se zapisuje do okna kódu. Tento kód musí být vždy součástí nějaké procedury (Sub nebo Function). Procedury jsou složeny z kódu VBA a v této práci byly vkládány do modulu VBA. Do modulu VBA lze přidávat kód třemi způsoby [58]:

- ruční zápis
- záznamník maker
- kopírování přes schránku.

Ručním zápisem je myšleno přímé zapsání kódu na klávesnici. Tento způsob přidání kódu je nejefektivnější, avšak vyžaduje programovací znalosti uživatele. Při ručním zápisu je vhodné tabulátorem odsazovat řádky, které spolu logicky souvisejí.

Záznamník maker zaznamená činnosti prováděné v Excelu a převede je do kódu VBA. Je to velmi užitečný nástroj, který má ale svá omezení. Některé kódy nedokáže zaznamenat, a ty které zaznamená, mají většinou zbytečně dlouhý kód. Proto je potřeba zaznamenané kódy ručně upravit a popřípadě i dopsat. Záznamník maker je velmi užitečný pro zjištění některých příkazů, které uživatel nezná.

Kopírovat kód lze např. z jiného modulu, z učebnic nebo z internetu.

V dalším textu jsou popsány některé funkce a procedury, které byly pro vytvoření uživatelského rozhraní použity.

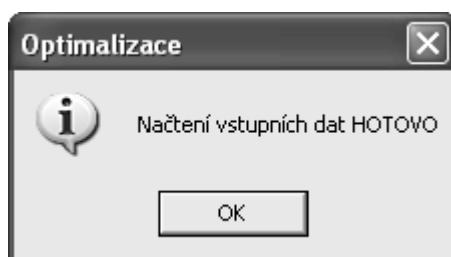
Informační okno

Informační okno se vyvolá příkazem `MsgBox "text"`. Za tento příkaz lze napsat i doplňkové příkazy, jejichž příklady jsou uvedeny v tab. 0.1 a výsledné okno je ukázáno na obr. 0.3.

Tab. 0.1 Ukázka kódu pro vytvoření informačního okna

<code>MsgBox</code>	<code>"Načtení vstupních dat HOTOVO"</code>	<code>, vbInformation,</code>	<code>"Optimalizace"</code>
	a	b	c

Pozn. a... text zobrazovaný v okně (povinné)
 b... příkaz pro zobrazení informační ikony (nepovinné)
 c... nadpis informačního okna (nepovinné)



Obr. 0.3 Informační okno ve VBA

Vytvoření složek

Pro práci se složkami v jazyce VBA je potřeba používat objekt `FileSystemObject`. Na uvedeném příkladě v tab. 0.2 budou v aktuální složce, kde se nachází soubor *Optimalizace.xls*, vytvořeny složky Import a Export. Ve složce Import bude vytvořena složka Sets.

Tab. 0.2 Postup vytvoření složek v aktuálním pracovním adresáři

```
Sub pCreateFolder()
    Dim fso
    Dim folIm, folEx, folSet, jmenoIm, jmenoEx, jmenoSet As String
    Dim cesta As String
    cesta = ActiveWorkbook.Path & "\"
    jmenoIm = "Import"    'jmeno slozky
    jmenoEx = "Export"    'jmeno slozky
    jmenoSet = "\Sets"    'jmeno slozky

    'Cesty a nazvy vytvarenych slozek (Import, Export, Sets)
    folIm = (cesta + jmenoIm)
    folEx = (cesta + jmenoEx)
    folSet = (cesta + jmenoIm + jmenoSet)

    Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")

    'Vymaze složky Import a Export ve stavajicim adresari
    If fso.folderexists(folIm) Then
        fso.DeleteFolder (folIm)
    End If
    If fso.folderexists(folEx) Then
        fso.DeleteFolder (folEx)
    End If

    'Vyvori složky Import a Export ve stavajicim adresari
    If Not fso.folderexists(folIm) Then
        fso.CreateFolder (folIm)
    End If
    If Not fso.folderexists(folEx) Then
        fso.CreateFolder (folEx)
    End If

    'Vytvori složku Sets ve složce Import
    If Not fso.folderexists(folSet) Then
        fso.CreateFolder (folSet)
    End If

End Sub
```

Pojmenování oblasti buněk

Při řešení této práce se došlo na požadavek pojmenování oblasti na listě XLS, která je dynamicky vyplněna daty. Na název oblasti se odkazuje kód v modelu GAMS. K pojmenování oblasti vyplněné daty byl vytvořen kód, jenž je ukázán v tab. 0.3. Tento kód volá funkci k nalezení poslední buňky na listě XLS, jehož ukázka je v tab. 0.4.

Tab. 0.3 Ukázka kódu k pojmenování oblasti obsahující data na listě XLS

```
Dim LastCell As String
Dim rng As Range

' Pouzije vsechny bunky na liste
Set rng = Sheets("List1").Cells

' Najde posledni bunku
LastCell = Last(rng)

' Pojmenuje oblast vyplnenou daty (od A1 po posledni bunku _
s daty)
With rng.Parent
    .Select
    .Range("A1", LastCell).Name = ("Nazev oblasti")
End With
```

Tab. 0.4 Ukázka kódu funkce k nalezení poslední vyplněné buňky na listě XLS

```
Function Last(rng As Range)

Dim LastRow As Long
Dim LastCol As Long

On Error Resume Next
LastRow = rng.Find(What:="*", _
    After:=rng.Cells(1), _
    Lookat:=xlPart, _
    LookIn:=xlFormulas, _
    SearchOrder:=xlByRows, _
    SearchDirection:=xlPrevious, _
    MatchCase:=False).Row

On Error GoTo 0

On Error Resume Next
LastCol = rng.Find(What:="*", _
    After:=rng.Cells(1), _
    Lookat:=xlPart, _
    LookIn:=xlFormulas, _
    SearchOrder:=xlByColumns, _
    SearchDirection:=xlPrevious, _
    MatchCase:=False).Column

On Error GoTo 0

On Error Resume Next
Last = rng.Parent.Cells(LastRow, LastCol).Address _
(False, False)
If Err.Number > 0 Then
    Last = rng.Cells(1).Address(False, False)
    Err.Clear
End If
On Error GoTo 0

End Function
```

Vytvoření nového sešitu XLS

Pro vytvoření nového sešitu je potřeba vnější procedury, která bude v proceduře pracující s daty přivolána. Tato procedura je ukázána v tab. 0.5.

Tab. 0.5 Vnější procedura pro vytvoření nového sešitu XLS

```
Sub AddNew(title As String, subject As String, filename As String)
    Dim NewBook
    Set NewBook = Workbooks.Add
        With NewBook
            .title = title          'nazev
            .subject = subject      'predmet
            .SaveAs filename:=filename 'nazev souboru
        End With
    End Sub
```

Do takto vytvořeného sešitu budou vypsána potřebná data, provedeno pojmenování oblasti dat a následně je potřeba sešit uložit a zavřít. Ukázka kódu pro uložení a uzavření jednoho sešitu XLS je v tab. 0.6.

Tab. 0.6 Ukázka příkazu pro uložení a uzavření sešitu XLS

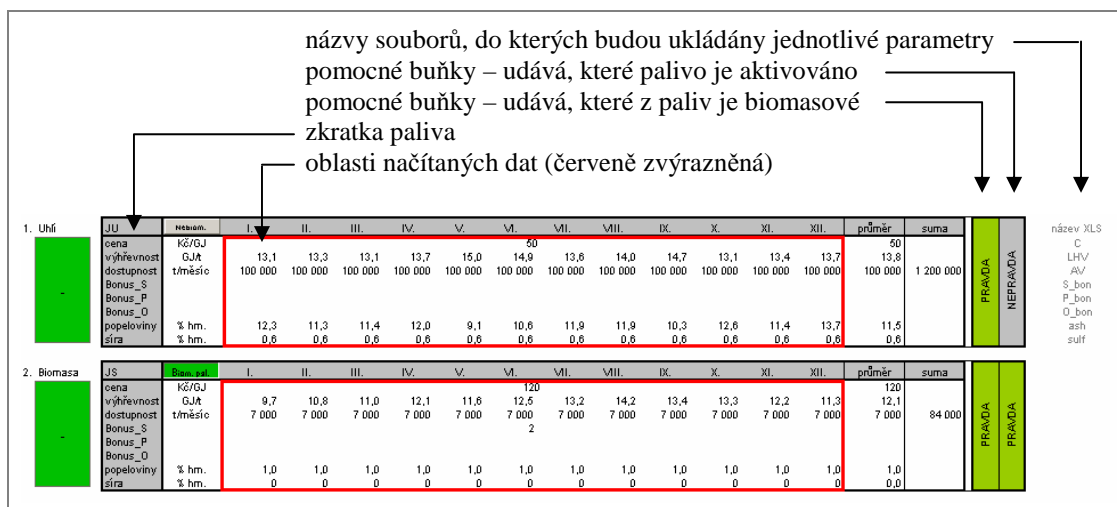
```
ActiveWorkbook.SaveAs (D:\Optimalizace\Import\LHV)
ActiveWorkbook.Close
```

Načtení parametrů

Tato ukázková procedura slouží k načtení parametrů paliv z uživatelského rozhraní *Optimalizace.xls* (viz obr. 0.4) a jejich transformaci do podoby, která je čitelná nástrojem XLS2GMS (viz tab. 3.3).

Princip spočívá v postupném načítání parametrů (např. výhřevnosti) u všech aktivovaných paliv. Daný parametr je načítán pro každé palivo společně a následně je uložen do souboru XLS. Následuje další parametr, atd.

V uživatelském rozhraní jsou tabulky pro 10 paliv o 8 parametrech. Při změně počtu paliv nebo parametrů se v kódu VBA změní jen hodnota `params` a `paliv`.



Obr. 0.4 Ukázka části uživatelského rozhraní

Ukázkový kód pro načtení parametrů paliv:

```
Sub pPaliva()  
    Dim scenar           'bude sloužit pro práci se sadami  
    Dim i, j, k, m, n, o 'indexy  
    Dim params, paliv    'pocet parametru paliv, pocet paliv  
    Dim maxR, maxC       'hranice pole  
  
    Dim cesta, importfolder, exportfolder As String  
  
    ' *****  
    ' CESTY  
    cesta = ActiveWorkbook.Path & "\"  
    importfolder = "Import\"  
    exportfolder = "Export\"  
    ' *****  
  
    Dim parametry() As String 'pole pro ukládání názvu parametru  
    Dim hodnoty() As Double   'pole pro ukládání hodnot parametru  
    Dim hodnotytmp() As Double 'pole dočasné  
    Dim Paliva() As String    'pole pro ukládání zkratk paliv  
  
    params = 8 'pocet parametru paliva  
    paliv = 10 'pocet paliv, pro které jsou nachystané tabulky  
    scenar = Range("Scenario") 'název scenare  
  
    'alokace pole pro uložení seznamu parametru  
    ReDim parametry(1 To params)  
  
    'predalokace pro pole paliv  
    ReDim Paliva(1 To paliv)  
  
    'predalokace pro pole hodnot  
    ReDim hodnoty(1 To paliv, 1 To 12)  
  
    'prochází postupně všechny parametry, podle jejich zadaného počtu  
    'funkce:  
    ' 1.pro každý parametr načte jeho hodnoty (pole "hodnoty") ze všech  
    ' paliv (pole "paliva"),  
    ' tedy v poli hodnoty bude počet řádku vždy roven počtu paliv a  
    ' počet sloupců bude počet hodnot (nyní 12)  
    ' 2.po načtení hodnot každého parametru všech paliv se tato data  
    ' vyexportují do daného souboru v daném tvaru a pokračuje se  
    ' dalším parametrem viz bod 1.  
    ' a tímto způsobem lze vytvořit tedy x souborů, kde x je počet  
    ' parametru paliva a v nich tedy načtená data...  
  
    For m = 1 To params  
  
        'nastavení počátečního indexu pro paliva  
        n = 1  
  
        'nastavení počátečního indexu pro tabulky  
        i = 8  
  
        'vymazání pole s hodnotami  
        ReDim hodnoty(1 To paliv, 1 To 12)  
  
        'prochází tabulky podle zadaného počtu paliv
```

```
Do While (n <= paliv)

    ' n pocet paliv pro ktera jsou pripravene tabulky odpovida
    ' oblastem Fuel1, Fuel2,...,Fuel10

    If Range("Fuel" + CStr(n)).Cells(1, 18) = True Then

        'ulozi zkratku paliva
        If (Paliva(n) = "") Then Paliva(n) = List1.Cells(i, 4)

        'ulozi parametr
        If (parametry(m) = "")
            Then parametry(m) = List1.Cells(i + m, 24)

        'nastaveni pocatecniho indexu pro nacistani hodnot - v
        'kazdem pruchodu od 1 do 12
        j = 1

        'projde a ulozi hodnoty parametru
        'cili prochazime bunky radku konkretniho parametru
        Do While (j <= 12)

            'ukladani
            hodnoty(n, j) = List1.Cells(i + m, j + 5) 'posun o
            4 bunky vpravo

            j = j + 1
        Loop

        'paliv = paliv + 1

    End If

    n = n + 1      'pocitadlo paliv

    i = i + params + 2      'kroky - zavisi na poctu parametru
    ' paliv a na mezerach mezi tabulkami (ta dvojka)
Loop

'mame nacteno

'*****
'VYPIS DAT DO SOUBORU
'nazev souboru se bude jmenovat podle nazvu parametru...

Workbooks.Add.Activate

Dim radek As Integer

radek = 1

'for k = 1 to scenariu
o = 1

For i = 1 To paliv
    j = 1

    Do While (j <= 12 And Paliva(i) <> "")
```

```
Cells(radek, 1) = Paliiva(i)
Cells(radek, 2) = "."
If (j < 10) Then
    Cells(radek, 3) = "T0" + CStr(j)
Else
    Cells(radek, 3) = "T" + CStr(j)
End If
Cells(radek, 4) = "."
Cells(radek, 5) = scenar
Cells(radek, 6) = hodnoty(i, j)

radek = radek + 1
j = j + 1

Loop

Next i

o = o + 1

'next k

'nastaveni sirky sloupcu
Range("B:B,D:D").ColumnWidth = 1
Range("A:A,C:C,E:E").ColumnWidth = 6
Range("F:F").ColumnWidth = 10

'***Pojmenovani oblasti bunek***
Dim LastCell As String
Dim rng As Range

' Pouzije vsechny bunky na liste
Set rng = Sheets("List1").Cells

' Najde posledni bunku
LastCell = Last(rng)

' Pojmenuje obalst vyplnenou daty
With rng.Parent
    .Select
    .Range("A1", LastCell).Name = (parametry(m) + "_range")
End With
'***Konec pojmenovani oblasti bunek***

ActiveWorkbook.SaveAs (cesta + importfolder + parametry(m))
ActiveWorkbook.Close

Next m

End Sub
```

Načtení proměnných

Procedura pro načtení proměnných se skládá ze dvou hlavních částí. První zkontroluje, zda existuje soubor, ze kterého chceme načítat data, a druhá část načtení provede. Při psaní kódu je potřeba znát názvy souborů, do kterých GAMS ukládá jednotlivé proměnné. Z těchto souborů jsou jednotlivé proměnné načítány.

Způsob efektivního načtení a výpisu dat byl konzultován se zkušeným programátorem. Jako nejefektivnější se jevil postup znázorněný v ukázce níže. Princip spočívá v načtení dat a jejich zápisu do řádku, který je nalezen dle specifikovaného slovního řetězce.

Ukázka procedury pro načtení proměnné X (množství paliv):

```
' Procedura pro nacteni X.xls (Mnozstvi paliv (J,K,T,S))
Private Sub X_export()

    'Kontrola, jestli existuje soubor "X.xls" a jeho otevreni
    '*****
    Application.ScreenUpdating = False 'Vypne aktualizaci obrazovky
    OptimFile = ActiveWorkbook.Name    'Nazev souboru Optimalizace
    LoadFile = "X.xls"
    Set TempBook = Nothing
    TempVar = ActiveWorkbook.Path & "\"
    TempVar = TempVar & "Export"

    TempVar = TempVar & "\" & LoadFile
    Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
    If fso.fileexists(TempVar) Then
        On Error Resume Next
        Set TempBook = Workbooks(LoadFile)
        If TempBook Is Nothing Then
            Application.Workbooks.Open (TempVar)
        End If
    Else
        MsgBox "Soubor " & LoadFile & " nenalezen", vbExclamation, _
            "Optimalizace"
        Exit Sub
    End If

    'Import dat ze souboru "X.xls" a ulozeni do listu "Výstupy"
    '*****
    Set LoadBook = Workbooks(LoadFile)
    Set OptBook = Workbooks(OptimFile)

    'Vymazani dat z oblasti, kam budou nyní data zapisovana
    OptBook.Sheets("Výstupy").Range("Fuels_to_K1_ImData").ClearContents
    OptBook.Sheets("Výstupy").Range("Fuels_to_K2_ImData").ClearContents
    OptBook.Sheets("Výstupy").Range("Fuels_to_K3_ImData").ClearContents
    i = 2

    Do Until LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 1).Value = "" _
    And LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 2).Value = ""
        a { Fuel = Trim(LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 1).Value)
            Boiler = Trim(LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 2).Value)
            tMonth = Trim(LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 3).Value)
                tMonth = Right(tMonth, Len(tMonth) - 1)
            S1Value = LoadBook.Sheets("List1").Cells(i, 4).Value
```

```
b { TempVar = Fuel & " do " & Boiler      'tady zmeny (vyhledavani)
    TempVar = _
c { OptBook.Sheets("Výstupy").Range("C1").EntireColumn.Find _
   (What:=TempVar, After:=OptBook.Sheets("Výstupy").Range("C1"), _
   LookIn:=xlValues, SearchOrder:=xlByRows, _
   SearchDirection:=xlNext).Address      'Nalezeni spravneho radku

d { OptBook.Sheets("Výstupy").Range(TempVar).Offset _
   (0, tMonth + 4) = SlValue      'Zapis dat do radku
   i = i + 1
Loop

LoadBook.Close False
OptBook.Sheets("Výstupy").Activate
OptBook.Sheets("Výstupy").Range("A1").Select
Application.ScreenUpdating = True

End Sub
```

Vysvětlení některých částí kódu:

- a... určení, ve kterém sloupci jsou indexy paliv, kotlů, období a hodnoty
- b... určení specifického názvu, podle kterého bude nalezen správný řádek
- c... nalezení řádku, do kterého budou data vypsána
- d... zápis hodnoty do určené buňky v řádku.

Příloha č. 3 Nástroje pro efektivní práci v Excelu

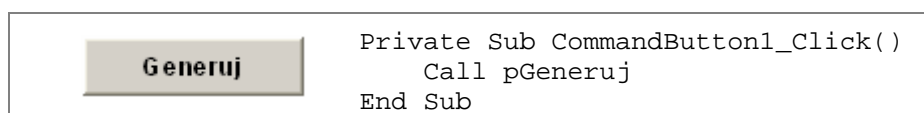
Při práci s daty v Excelu je možné si práci zjednodušit různými efektivními funkcemi a nástroji. Takovýchto nástrojů existuje celá řada, avšak budou zmíněny jen nástroje použité v uživatelském rozhraní pro optimalizaci.

Tlačítka

Použití tlačítek je vhodné pro spouštění příkazů a zpřehlednění dat. V uživatelském rozhraní byly použity dva typy tlačítek:

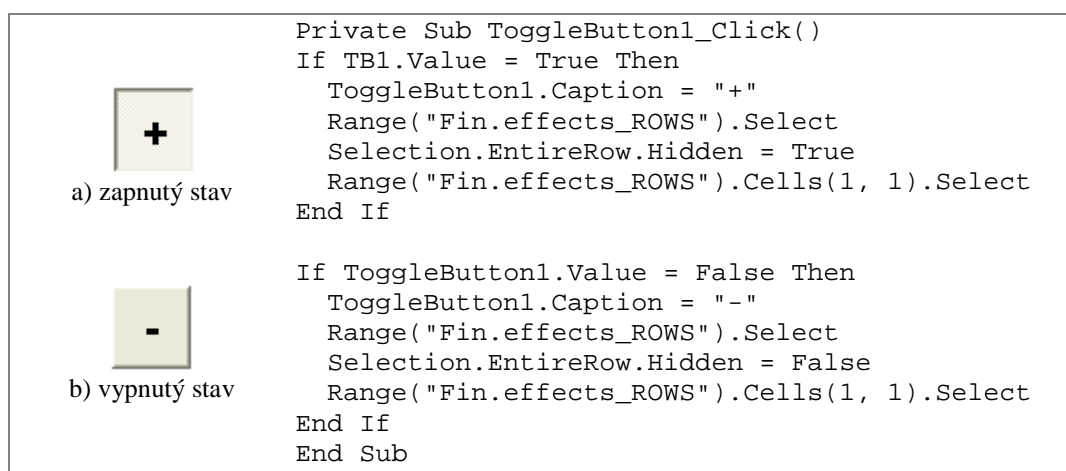
- příkazové tlačítko
- přepínací tlačítko

Příkazové tlačítko (CommandButton) má pouze jeden stav a slouží k příkazu k nějaké akci např. ke spuštění výpočtu, k potvrzení dalšího kroku, atd. V uživatelském rozhraní jsou tyto tlačítka použity pro spuštění generování a načítání dat. Ukázka tlačítka a příkazů pro spuštění procedury *pGeneruj* je uvedena na obr. 0.5. Tlačítko je může nést libovolný popis.



Obr. 0.5 Příkazové tlačítko a struktura jeho příkazů

Přepínací tlačítko (ToggleButton) má dva stavy (zapnuto a vypnuto). Při kliknutí na tlačítko se tyto stavy navzájem přepínají a tlačítko přitom mění svůj vzhled. Jeho hodnota je buď *True* (stisknuto) nebo *False* (nestisknuto). Tlačítko umožňuje různé zobrazování libovolného popisku v každém ze stavů. V uživatelském rozhraní jsou tyto tlačítka použity pro zapínání uvažovaných paliv do optimalizace, určení jestli je palivo fosilní nebo nefosilní a ke skrývání polí. Na obr. 0.6 jsou znázorněny příkazy, které pomocí přepínacího tlačítka skrývají a uvolňují oblast řádku s názvem *Fin.effects_ROWS*.



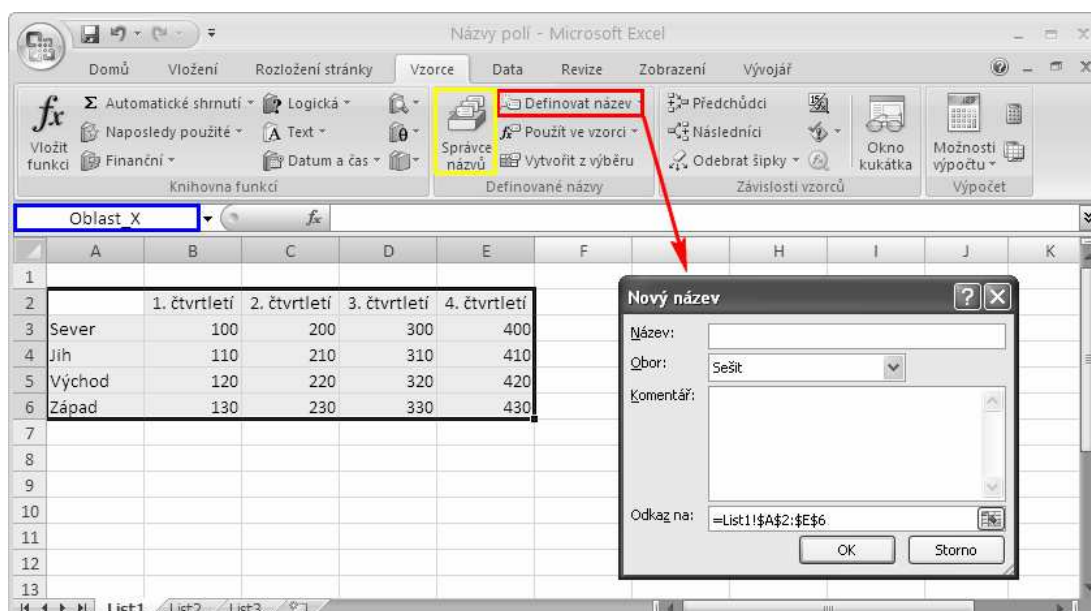
Obr. 0.6 Přepínací tlačítko a struktura jeho příkazů

Práce s názvy

V Excelu mají uživatelé možnost přidělovat různým položkám názvy. Tato možnost je velmi užitečná a lze pojmenovat buňky, oblasti buněk, řádky, sloupce grafy a jiné objekty.

Způsoby pojmenování jsou následující:

- Nejjednodušší je označení oblasti a napsání názvu do pole názvů (viz obr. 0.7 modře vyznačené).
- Pomocí dialogového okna správce názvů (Vzorce → Definované názvy → Správce názvů) nebo stiskem kombinace Ctrl+F3 (viz obr. 0.7 žlutě vyznačené).
- Zadáním příkazu Vzorce → Definované názvy → Definovat název a dialogovém okně Nový název tento název definovat (viz obr. 0.7 červeně vyznačené).



Obr. 0.7 Možnosti pojmenování oblastí

Používání názvů je důležité zejména při psaní kódu ve VBA, který používá odkazy na buňku nebo oblasti. Důležité je to z důvodu, že VBA neaktualizuje automaticky odkazy na buňku nebo oblast v případě, že jsou přesunuty. Pokud by například kód VBA obsahoval odkaz na oblast `Range("A2:E6")`, přestal by tento kód platit v okamžiku, kdy by uživatel vložil nový řádek nad nebo nový sloupec vlevo od uvedené oblasti. Pokud ale uživatel použije odkaz ve tvaru `Range("Oblast_X")`, tak se při vložení nových sloupců nebo řádků těmto problémům vyhne.