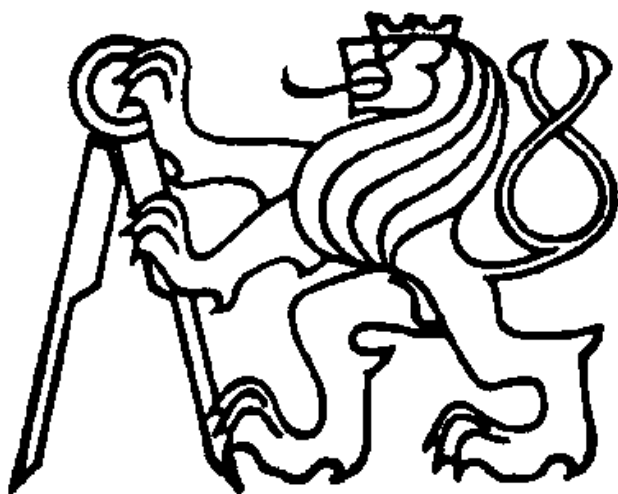


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



TEZE K DISERTAČNÍ PRÁCI

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky

Ing. Oprea Diana

**MODELOVÁNÍ ROZVOJE ELEKTRIZAČNÍCH SOUSTAV S
UVAŽOVÁNÍM VLIVU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ
(MODELING OF POWER SYSTEM THAT TAKES IN TO ACCOUNT
THE IMPACT ON THE ENVIRONMENT)**

Doktorský studijní program: Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: *Elektroenergetika*

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha, *říjen 2012*

Disertační práce byla vypracována v prezenční/distanční/kombinované*
formě doktorského studia na katedře (*Elektroenergetiky*) Fakulty
elektrotechnické ČVUT v Praze.

Uchazeč: Oprea Diana
Katedra elektroenergetiky
Fakulta elektrotechnická ČVUT
Adresa: Technická 2, Praha 6

Školitel: prof. Ing. Jiří Tůma, DrSc.
Katedra elektroenergetiky
Fakulta elektrotechnická ČVUT
Adresa: Technická 2, Praha 6

Oponenti:

.....

.....

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod. před
komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru v zasedací
místnosti č Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty elektrotechnické
ČVUT v Praze, na oddělení pro vědu, výzkum a zahraniční styky, Technická
2, Praha 6.

předseda komise pro obhajobu disertační práce
ve studijním oboru

Fakulta elektrotechnická ČVUT, Technická 2, Praha 6

* nehodící se vynechá

OBSAH

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	1
2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	4
3. METODY ZPRACOVÁNÍ	5
4. VÝSLEDKY	12
5. ZÁVĚR	20
LITERATURA	26
PUBLIKAČNÍ ČINNOST	28
SUMMARY	32
RESUMÉ	33
PRILOHY	34

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Doktorská disertační práce se zabývá problémem modelování rozvoje elektrizační soustavy (ES) s uvažováním jejího vlivu na životní prostředí (ŽP). Emise skleníkových plynů jsou úzce svázány s využíváním energie, takže sledování emisí u jednotlivých výrobních zdrojů může vést k určení způsobů, jak snížit jejich celkovou velikost. Práce řeší otázku zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v České republice v časovém horizontu do roku 2020 s ohledem na dopady výrobních energetických zdrojů na ŽP. V práci jsou analyzovány možnosti ČR z hlediska uplatnění různých druhů těchto zdrojů pro výrobu elektrické energie, a to v souladu s cíli Statní energetické koncepce (SEK) [3].

Pro optimalizaci provozu ES, musí být použity nové a moderní metody, umožňující provedení kvantitativní a kvalitativní analýzy této soustavy. Existují různé metody pro optimalizaci provozu elektrizační soustavy, např.: Lagrangeovy multiplikátory, lineární, nelineární a kvadratické programování, programování síťových toků, optimalizace jalového výkonu a další. Některé z těchto metod byly použity i v disertační práci.

V dnešní době se problematikou modelování ES zabývají různé organizace a odborníci po celém světě. Na mezinárodní úrovni se problematikou modelování ES zabývá např.: Jizhong Zhu, který ve své práci „Optimalizace provozu ES“ („Optimization of Power System Operation“) analyzuje různé metody i oblasti optimalizace ES. Další odborníci např.: O. Bahn, A. Haurie, D.S. Zachary z Oxfordské Univerzity, se zabývají matematickým modelováním a simulačními metodami v ES („Mathematical Modeling and Simulation Methods in Energy Systems“). V. Z. Manusov, S. V. Khohklova, V. A. Bogomolov rozvíjejí optimalizační metody v distribučních sítích ES, založených na vzájemné vazbě uzlových rovnic („Optimization method of the electric systems flux distribution based on the reciprocal form of nodal equations“). Ruud Weijermars, Peter Taylor, Olivier Bahn, Subir Ranjan Das, Yi- Ming Wei jsou odborníci, kteří zabývají problematikou modelování a optimalizace ES; např. jedna z jejich prací je nazvána „Přehled modelů a herců v optimalizaci energetického mixu. Lze vedoucí vize a rozhodnutí sladit s optimálním modelem strategií pro naše budoucí energetické systémy?“ („Review of models and actors in energy mix optimization, can leader visions and decisions align with optimum model strategies for our future energy systems?“).

Příklad použití výpočtových modelů můžeme nalézt i v rámci Evropské Unie. Evropská elektroenergetika reprezentovaná EURELECTRIC řešila např. v r. 2005 projekt „Role of Electricity“ (Úloha elektřiny), zaměřený na časový horizont do roku 2050. Šlo o vypracování kvalifikované vize budoucí role elektrizace ve vztahu k hlavním atributům zásobování elektřinou. Práce byla řešena ve třech blocích: a) budoucí poptávka po elektřině a

elektrotechnologie, b) vývoj technologií zásobování elektřinou, c) modelování energetických systémů. Do řešení byla zapojena řada renomovaných institucí. Při řešení byly použity dva modely, model PRIMES pro období do roku 2030 a model Prométheus pro cílový rok 2050 [9].

Model PRIMES, použitý pro období do roku 2030, se vyznačuje podrobnou interpretací energetiky v evropských zemích. Model PROMÉTHEUS určený pro výhled do r. 2050 považuje Evropu jako jeden celek, avšak i jako součást světového energetického systému a celosvětových trhů. Modely respektují podrobné údaje z celoevropského ekonomického sektoru, energetických systémů a výrobních energetických technologií. Oba modely popisují výsledné emise skleníkových plynů a to při respektování vlivu použitých nástrojů energetické politiky v širším slova smyslu (standarty účinnosti, daně, dotace, podpora OZE apod.)

Podobné optimalizační modely byly vytvořeny v US (NEMS ot DOE), Evropě (EFOM v European Commission) jakož i mezinárodními společnostmi (MARKAL v IEA i MESSAGE v IIASA) [26].

V České republice se otázkou vytvoření konkurenceschopného, spolehlivého, udržitelného a racionálního scénáře pro budoucí vývoj energetického systému se zabývá několik společností a odborných skupin, jako např. EGÚ Brno, Enviros, MPO, MŽP atd., jejichž metodiky výpočtu nejsou zcela dostupné.

V ČR se provádí inventarizace skleníkových plynů podle předepsané metodiky IPCC (metodika je publikována na <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>).

Emise skleníkových plynů v ČR se vyčíslují na základě sektorového přístupu. Společnost KONEKO marketing spol. s r.o. provádí inventarizaci skleníkových plynů v sektoru „Energetika“ se zaměřením na spalování paliv ve stacionárních zdrojích a na emise. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. (CDV Brno) připravuje inventarizaci v sektoru „Energetika“ se zaměřením na mobilní zdroje. ČHMÚ kromě své role koordinátora nese zodpovědnost i za inventuru skleníkových plynů v sektoru „Průmyslové procesy a použití produktů“. Ústav pro výzkum lesních ekosystémů s.r.o. (IFER) provádí inventarizaci emisí v sektoru „Zemědělství“ a ve „Využití a změny ve využití krajiny a lesnictví“ (LULUCF). Centrum pro otázky životního prostředí UK (COŽP UK) připravuje inventarizaci skleníkových plynů v sektoru „Odpady“. Oficiální výstupy inventarizace skleníkových plynů (CRF, NIR) kompletuje ČHMÚ a předkládá je MŽP k odsouhlasení. MŽP dále zajišťuje případné kontakty s relevantními ministerstvy a státními úřady, zejména s Českým statistickým úřadem. ENVIROS s. r. o., je poradenskou společností působící zejména v oblasti energetiky a životního prostředí, která je členem mezinárodní skupiny SKM HYPERLINK, a je dlouholetým spolupracovníkem ČHMÚ a MŽP v oblasti ochrany klimatu.

V disertační práci jsem použila program GEMIS, sloužící k vytvoření optimálního scénáře a modelu pro Českou republiku v roce 2020. Program GEMIS je integrovaný lineární bilanční počítačový program, který byl vyvinul v roce 1987 Öko- Institut v Darmstadtu (SRN), jako volný software pod názvem Gesamt-Emissions-Modell Integrierten Systeme. V roce 1990 byla vyvinuta anglická verze tohoto programu TEMIS (Total-Emission-Model for Integrated Systems) pro US-DOE a byla sestavena předběžná americká databáze. V roce 1994 byl vyvinut podobný program EM (Environmental Manual for Power Development) pro GTZ (Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GmbH, Eschborn) a Světovou banku, který umožňuje pracovat s daty rozvojových zemí. Vypracováním české aplikace GEMIS CZ byl pověřen CityPlan spol. s r.o [6].

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Ve své disertační práci chci dosáhnout těchto cílů:

1. Analýza výpočtových modelů použitých pro modelování ES.
2. Navržení optimalizačního modelu scénáře energetického mixu na rok 2020, vypočteného na základě vlastního multikriterialního modelu.
3. Předvedení jedné z metod, které se používají pro modelování rozvoje ES – GEMIS. Popis lineární bilančního programu GEMIS a s jeho pomocí určení emisí skleníkových plynů a škodlivých látek všech navržených scénářů.
4. Analýza vlivu energetiky na životní prostředí a klima.
5. Analýza energetického trhu v EU a ČR v kontextu energetického trhu a legislativy v EU.
6. Metody snižování negativního vlivu energetiky na životní prostředí a úspor energie v různých oblastech energetiky (výroba, přenos a distribuce) a v různých sférách spotřeby (doprava, domácnosti atd.).

3. METODY ZPRACOVÁNÍ

I. Jeden z cílů disertační práce je modelování ES v ČR s minimálním negativním vlivem na ŽP a navržení optimalizačního modelu scénáře energetického mixu na rok 2020, vypočteného na základě vlastního multikriteriálního modelu.

Formulování modelu

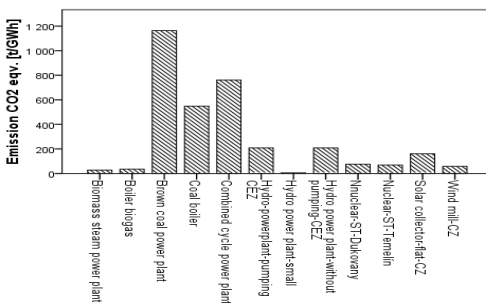
Zpracování cílů práce vychází ze sestaveného scénáře pro budoucí výrobu elektřiny v ČR. Vliv scénáře na životní prostředí byl spočítán pomocí navrženého optimalizačního modelu a pak porovnán s výpočty z lineárního bilančního modelu GEMIS.

Zpracované scénáře jsou uvažované jako:

1. Referenční mix s reálnou strukturou výroby elektřiny brutto v ČR z roku 2010.
2. Optimální model pro strukturu výroby elektřiny v ČR pro rok 2020 z hlediska minima nákladů na výrobu GWh, uvažování následujících omezujících podmínek:
 - snížit emise skleníkových plynů v roce 2020 (ve srovnání s rokem 1990);
 - zvýšení podílu obnovitelné energie na 20% do roku 2020;
 - uvažovat nárůst spotřeby množství elektrické energie pro rok 2020 na hodnotu 90 000 GWh;
 - pro každý zdroj výroby elektrické energie omezující podmínky, které jsou stanoveny na základě přírodních a technologických limitů v ČR uvedených ve státní energetické koncepci, specifikacích EGU Brno.

Model současného energetického mixu

Pro výpočty energetických mixů byly zvolené zástupné energetické zdroje s typickými charakteristikami, které se běžně vyskytují v ČR. Nomenklatura použitých zkratk navrženého software je uveden v Příloze 1.



Graf. 1 Emise skleníkových plynů od výroby EE v ČR pro 2010 rok

Tabulka 1. Struktura hrubé výroby elektřiny v ES ČR pro rok 2010

Zdroj	Výroba	Emise	Životnost	Doba využití maxima
	TWh/rok	t/rok × 10 ³	rok	h/rok
HU parní el.	40.91	47 589.58	15	5 000
ČU parní el.	6.05	3 314.14	15	1 600
JE Dukovany	14.20	1 082.73	25	7 000
JE Temelín	13.80	956.35	23.6	6 000
Paroplynová el.	3.60	2 740.99	15	4 000
Akumul. vodní el.	1.47	308.02	50	200
Přeč. vodní el.	0.59	123.67	50	2 000
Malá vodní el.	1.32	6.47	50	3 960
El. spalující biomasu	1.50	42.17	8	200
Bioplyn. el.	1.01	34.97	20	2 500
Fotovoltaická el.	0.66	98.85	20	500
Větrná el.	0.34	19.42	20	1 500
Celkem	85.39	5 6317.35		

Největšími producenty skleníkových plynů jsou paroplynová elektrárna, uhelná parní elektrárna, HU parní elektrárna, které produkují celkem cca 59% hrubé výroby elektřiny v ČR. Podíl obnovitelných zdrojů v referenčním roce 2010 byl cca 8% a podíl výroby elektřiny z jaderných elektráren byl 33%. Těmto proporcím byl přizpůsoben modelovaný mix.

Nákladový model EE mixu pro rok 2010. Při nákladové analýze vypočteme roční složku odpisu, dále roční stálé náklady na provoz a údržbu, proměnné roční nepalivové a palivové výdaje. Zjednodušený výpočet nákladů pro jednotlivé technologie zahrnuje: analýzu nákladu, analýzu roční komponenty odpisy *cia*, anuitní úroky *cca*, roční provozní stálé náklady *cfa* pro provoz a údržbu, roční proměnné nepalivové náklady *cva* a roční palivové náklady *fua* uvedené v rovnici 4. Celkové náklady pro ES *ca* pro jeden rok vypočítané podle rovnice 2, které se skládají z ročních podsoučástí nákladů.

Zjednodušený výpočet nákladů na proces dodání produktu je založen na údajích měrných nákladů c_{mn} převzatých z databáze programu GEMIS, která obsahuje pro každou z technologií potřebné ekonomické parametry.

Skladbu c_{mn} určím z rovnice 1.

$$c_{mn} = cf_{mn} + cv_{mn} + fu_{mn} + cc_{mn} + ea_{mn} + ci_{mn} + cd_{mn} + cb_{mn} \quad \left[\frac{EUR}{MWh} \right] \quad (1)$$

kde

$$ci_{mn} = \frac{ci_n \cdot a(t_n q_n)}{p_n \cdot to_n} \quad \left[\frac{EUR}{MW} \right] \quad (2)$$

kde:

cf_{mn} - měrné provozní stálé náklady	[EUR/MW]
cv_{mn} - měrné proměnné nepalivové náklady	[EUR/MWh]
fu_{mn} - měrné palivové náklady	[EUR/MWh]

cc_{mn} - měrní anuitní úroky [EUR/MWh]
 ea_{mn} - měrní výdaje na povolenky [EUR/MWh]
 ci_{mn} - měrné investiční výdaje [EUR/MW]
 ci_n - investiční výdaje [EUR]
 N - celkové počet uvažovaných typů elektráren
index m - vyjadřuje přírůstek nákladu v EUR na MWh
 p_n - celkový výkon zdrojů n -tého typu [MWh]
 to_n - roční doba využití maxima zdrojů n -tého druhu [hodin/rok]

Měrné investiční náklady cia jsou odvozeny pomocí anuity, takto.

$$cia_n = ci_n a(t, q) = ci_n \frac{q^t(q-1)}{q^t-1} \quad [EUR] \quad (3)$$

$$N_{ia} = N_i \times a(n, q) = N_i \times \frac{q^n(q-1)}{(q^n-1)}$$

kde $q = r + 1$, r je diskontní faktor (činitel času), (na desetinná místa, např. e.g. 8% = 0.08).

Odpisy cia se stanoví ve výši anuity ($r > 0$), případně odpisů ($r = 0$), t - je životnost technologie v letech, $a(t, q)$ - je proměnná anuita.

Odpisy cia_n jsou také specifické měrné investiční výdaje ci_{mn} vynásobené celkovým výkonem zdrojů n -tého typu p_n , zdrojů n v době využití maxima za rok to_n n -ého procesu. Tyto odpisy zahrnují investice do technologií pro snižování emisí související s procesem (pouze pro spalovací procesy) [6]. Roční provozní stále náklady cfa zjišťují sumarizaci konkrétních měrných provozních stálých nákladů cf_{mn} násobených se výkonem n -ého procesu a dobu využití maxima za rok to_n . V tomto směru byl odvozen i další roční výdaje na komponenty ($cva, fua, cca, eea, cda, cba$). Roční palivové náklady fua lze vypočítat i shrnutím roční paliv násobené konkrétní cenou paliv p_c . Sečtením takto vypočtených nákladů se určí celkové roční náklady analyzovaného procesu pro daný rok, viz rovnice 4.

$$\begin{aligned}
ca &= cia + cfa + cva + fua + cca + eea + cda + cba = \\
&= \sum_{n=1}^N p_n to_n ci_{mn} = \sum_{n=1}^N ca_n \quad [EUR]
\end{aligned} \quad (4)$$

kde:

cia - odpisy [EUR]
 cfa - roční provozní stále náklady [EUR]
 cva - roční proměnné nepalivové náklady [EUR]
 fua - roční palivové náklady [EUR]
 cca - anuitní úroky [EUR]
 eea - roční cena povolenek [EUR]
 cda - roční náklady na dopravu [EUR]

cba - roční dodatečné náklady

[EUR]

c_{mn} - měrné náklady

[EUR/MWh]

Tabulka 2 zobrazuje jednotlivé nákladové složky referenčního mixu pro rok 2010.

Příklad výpočtu pro BSPP (elektrárna spalující biomasu, Biomass Steam Power Plant):

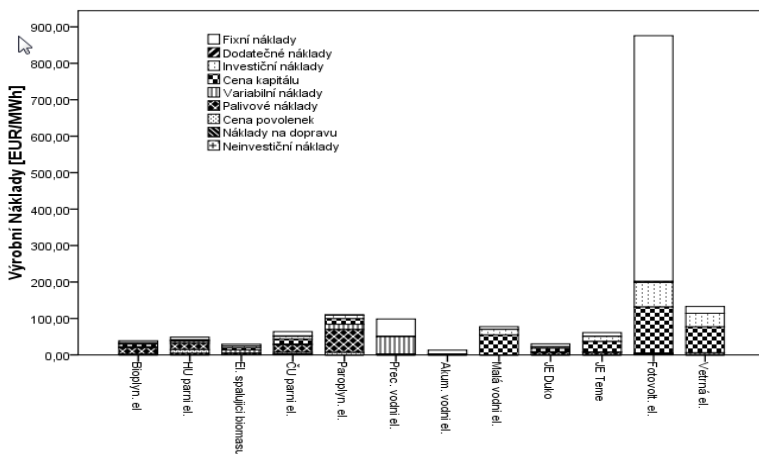
$$\begin{aligned}c_{mn} &= cf_{mn} + cv_{mn} + fu_{mn} + cc_{mn} + ea_{mn} + ci_{mn} + cd_{mn} + cb_{mn} = \\ &= 4.68 + 8.61 + 4.17 + 6.27 + 0.25 + 4.68 + 0.37 = \\ &= 29.03 \left[\frac{EUR}{MWh} \right]\end{aligned}$$

Z důvodu zaokrouhlování údajů uvedených v tabulkách, vznikly v porovnání s údaji z programu malé odchylky.

Tabulka 2. Jednotlivé nákladové složky referenčního mixu pro rok 2010

Zdroj	EUR/MWh									EUR/rok
	cf_{mn}	cv_{mn}	fu_{mn}	cc_m	ea_{mn}	ci_{mn}	cd_{mn}	cb_{mn}	c_{mn}	$ca_n \cdot 10^7$
HU parní el.	7.7	5.46	17.17	2	10.35	0	4.25	0	46.93	191.99
ČU parní el.	11.7	2.7	20.55	12.85	4.88	7.8	0.71	1.39	62.58	37.82
JE Dukovany	8.03	1.87	6.2	9.18	0.68	4.28	0	0	30.24	42.95
JE Temelín	10.61	1.87	5.89	28.49	0.62	13.75	0	0	61.24	84.51
Paroplynová el.	1.87	14.23	62.94	15.42	6.78	9.36	0	0	110.6	39.82
Akumul. vodní el.	11.24	0	0	0	1.86	0	0	0	13.1	1.93
Přeč. vodní el.	48.32	48.32	0	0	1.86	0	0	0	98.51	5.82
Malá vodní el.	7.57	0	0	54.88	0.04	15.15	0	0	77.64	10.23
El. spalující biomasu	4.68	8.61	4.17	6.27	0.25	4.68	0	0.37	29.04	4.35
Bioplyn. el.	5.99	2.69	18.2	7.07	0.31	3.75	0.98	0	38.98	3.93
Fotovoltaická el.	674.1	0	0	127.3	1.43	67.41	0	2.78	872.98	53.75
Větrná el.	18.73	5.62	0	70.7	0.52	37.45	0	0	133.01	4.46
Celkem										481.56

Z výši uvedených výpočtu je zřejmé, že nejvyšší měrné výrobní náklady mají fotovoltaické elektrárny, které několika násobně převyšují výrobní náklady ostatních zdrojů.



Zdroje/druhy technologií

Graf. 2 Struktura nákladů výroby EE na MWh

Optimalizační model pro scénáře energetických mixů pro rok 2020. Na základě lineárního optimalizačního modelu jsou uvedené několik scénářů ve skladbě zdrojů energie, aby se minimalizovaly náklady na výrobu elektřiny.

Soubor omezujících podmínek:

1. Makroekonomické vstupné parametry – spotřeba energie, náklady na kapitál.
2. Parametry zdrojů - fixní, variabilní, investiční náklady, doba použití, maximální využití, horní a dolní hranice instalovaného výkonu.
3. Vzhledem k omezení zdrojů - životnost zdrojů, možnost výstavby nových.
4. Dostupnost paliv - uhlí, zemní plyn, biomasa, atd.
5. Emise - cena emisních povolenek, emisní limity znečišťujících látek produkce.
6. RES - limity obnovitelných zdrojů daných evropskou legislativou.

Dle zadání budoucího energetického mixu v České republice pro rok 2020, hrubá výroba elektřiny musí splňovat alespoň $Q = 90\,000$ GWh; snížení emise skleníkových plynů o 20% v roce 2020 ve srovnání s rokem 1990 (ačkoli ČR se zavázala do roku 2020 snížení skleníkových plynů o 13.6%, v práci je uvažována hodnota platná pro celou EU), cenu EUA 10 EUR/t. Náklady mixu do roku 2020 byly vypočteny v cenové úrovni roku 2010.

Každý proces v modelu (zdroj) odpovídá jedné proměnné x . Vypočítaná proměnná rovná se počtu MWh vyrobených v n -tém procesu. Tyto proměnné splňují podmínky rovnice 5 a tudíž podmínky non-negativity.

$$\begin{array}{rcl}
x_1 & & \leq v_{max_1} \\
x_2 & & \leq v_{max_2} \\
& \vdots & \leq \vdots \\
& & x_n \leq v_{max_n} \\
x_1 & & \geq v_{min_1} \\
x_2 & & \geq v_{min_2} \\
& \vdots & \geq \vdots \\
& & x_n \geq v_{min_n} \\
x_1 + x_2 + \dots + x_n & = & 90\,000 \\
x_1 R_1 + x_2 R_2 + \dots + x_n R_n & \geq & 18\,000
\end{array} \tag{5}$$

$$R_n = \begin{cases} 1 & \text{jestli } n \text{ je OZE} \\ 0 & \text{ostatní} \end{cases} \tag{6}$$

kde $n \in S$, a S je množina proměnných modelu. Omezení roční produkce v_{max_n} i v_{min_n} (maximální a minimální úroveň výroby) pro každý zdroj. Poslední dvě omezení v rovnici 5 vyjadřují množství elektrické energie pro rok 2020 a požadovanou část energie z obnovitelných zdrojů (20%) v roce 2020. Velikost každé proměnné x_n je v rozsahu stanoveném s omezením matematického modelu. Kritérium optimality je vyjádřeno objektivizací funkce z v rovnici 5.

$$z = c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n \rightarrow \min \tag{7}$$

kde c_{mn} je faktor, který se stanoví jednotkovým příspěvkem n -tého procesu (pramene x_n) na hodnotu objektivní funkce, která vyjadřuje celkové roční náklady na výrobu elektřiny v roce 2020. Minimální náklady procesu na MWh rovnají se hodnotě funkce z objektivních rozdělení podle velikosti produkce (který je v modelu konstantní). Optimálním řešením lineárního optimalizačního modelu, které je popsána v další části, byla získána pomocí Simplexového algoritmu.

II. Následující cíl disertační práce je předvedení jedné z metod, která se používají pro modelování rozvoje ES – GEMIS. Popis lineární bilančního programu GEMIS a s jeho pomocí vypočítat emise skleníkových plynů a škodlivých látek všech navržených scénářů.

Popis modelu GEMIS

GEMIS je výpočtový model, který je účinným nástrojem pro stanovení ekologických a ekonomických důsledků, které mohou vznikat v případě uskutečnění investičních záměrů, navrhovaných opatření i systémových změn v oblasti energetických a látkových přeměn v nejrůznějších průmyslových oborech a dopravě [6].

Program GEMIS je lineární, tj. hodnotu hledané veličiny x_1 určují pomocí rovnic typu:

$$x_j = f_k(y_j) = y_{kj} y_j + k_{ko}$$

kde:

$f_k(Y_j)$ je lineární funkce, Y_j vstupní veličiny a k_{kj} , k_{ko} konstanty. Například emise určité látky E_j při spalování paliva vypočte GEMIS ze vztahu

$$E_j = k_j \cdot Q$$

kde je k_j tzv. emisní faktor a Q je teplo přivedené do procesu palivem. Hodnoty emisních faktorů k_j jsou buď uloženy v datovém souboru nebo jsou počítány. Velikost emisí může být dále upravené vzhledem ke specifickým podmínkám, například koncentrace tichých částic ve spalinách může být upravena podle účinnosti odlučovací prachu [6].

Výhřevnost paliva GEMIS vypočítává pomocí vztahu pro tuhá a kapalná paliva (Braun 1986):

$$Q_r^1 = 34,8 \cdot C^r + 93,8 \cdot H^r + 10,46 \cdot S^r + 6,28 \cdot N^r - 10,8 \cdot O^r - 2,5 \cdot W^r \text{ [MJ/ kg]}$$

Pro plynná paliva:

$$Q_r^1 = 107,84 \cdot H_2 + 23,413 \cdot H_2S + 12,633 \cdot CO + 35,885 \cdot CH_4 + 56,494 \cdot C_2H_2 + 59,476 \cdot C_2H_4 + 64,349 \cdot C_2H_6 + 87,578 \cdot C_3H_6 + 93,213 \cdot C_3H_8 + 117,771 \cdot C_4H_8 + 123,883 \cdot nC_4H_{10} + 123,053 \cdot iC_4H_{10} \text{ [MJ/m}^3\text{(n)]}$$

Teoretickou spotřebu suchého spalovacího vzduchu $V_{vz, s}$ a objem vzniklých suchých spalin $V_{sn, s}$ při dokonalém spálení 1 kg nebo 1 m³ paliva počítá GEMIS podle vztahu pro pevná a kapalná paliva (Brant 1981):

$$V_{vz, s} = 8,8996 \cdot C^r + 26,5139 \cdot H^r + 3,342 \cdot S^r - 3,3405 \cdot O^r \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$V_{sn, s} = 8,8889 \cdot C^r + 20,9597 \cdot H^r + 3,3174 \cdot S^r + 0,6408 \cdot N^r - 0,6408 \cdot O^r \text{ [m}^3\text{/ m}^3\text{]}$$

pro plynná paliva:

$$V_{zs, s} = 2,3830 \cdot H_2 + 2,3860 \cdot CO + 7,2251 \cdot H_2S + 9,5611 \cdot CH_4 + 11,9048 \cdot C_2H_2 + 14,4158 \cdot C_2H_4 + 16,8594 \cdot C_2H_6 + 21,8665 \cdot C_3H_6 + 24,3715 \cdot C_3H_8 + 29,7063 \cdot C_4H_8 + 32,3753 \cdot (nC_4H_{10i} + iC_4H_{10n}) \text{ [m}^3\text{/ m}^3\text{]}$$

$$V_{sn, s} = N_2 + CO_2 + 1,8838 \cdot H_2 + 2,8000 \cdot CO + 6,6965 \cdot H_2S + 8,5538 \cdot CH_4 + 10,4048 \cdot C_2H_2 + 13,3974 \cdot C_2H_4 + 15,3340 \cdot C_2H_6 + 20,3218 \cdot C_3H_6 + 22,23114 \cdot C_3H_8 + 27,6078 \cdot C_4H_8 + 29,7424 \cdot (nC_4H_{10n} + iC_4H_{10i}) \text{ [m}^3\text{/ m}^3\text{]}$$

Skutečný objem vzduchu a spalin (suchých nebo vlhkých) při dokonalém spalování s přebytkem vzduchu počítá GEMIS ze vztahu:

$$V_{vz} = \lambda \cdot V_{vzt} \text{ [m}^3\text{/ kg]}$$

$$V_{sn} = V_{snt} + (\lambda - 1) \cdot V_{vzt} \text{ [m}^3\text{/ m}^3\text{]}$$

kde je λ [-] součinitel přebytku vzduchu.

Výhodou lineární algoritmizace programu je zjednodušení a urychlení výpočtu, neboť jednotlivé bloky procesních řetězců lze jednoduše superponovat.

4. VÝSLEDKY

1. Navržený optimalizační model

Na základě předem stanovených podmínek byl vypočítán navrhovaný mix scénářů s využitím lineárního optimalizačního modelu. Tento optimální model splňuje požadavky a cíle evropské směrnice 20-20-20. Struktura optimální produkce elektrické energie pro rok 2020 je uvedena v Tab. 3.

Tabulka 3. Struktura hrubé výroby elektřiny v ES ČR pro rok 2020

Zdroj	Výroba TWh/rok	Emise t/rok×10 ⁴	Roční nákl. EUR×10 ⁷	Výroba/rok×10 ³	
				min GWh	max GWh
HU parní el.	32.0	3720	150.0	28.0	32.0
ČU parní el.	3.0	1650	18.8	3.0	8.0
JE Dukovany	20.0	152.0	60.5	14.0	20.0
JE Temelín	14.0	97.0	85.7	13.8	18.0
Paroplynová el.	3.0	228.0	33.2	3.0	11.0
Akumul. vodní el.	2.0	41.8	2.62	0.8	2.0
Přeč. vodní el.	3.6	75.3	35.5	0.5	9.0
Malá vodní el.	6.0	2.94	46.6	1.0	6.0
El. spalující biomasu	0.3	8.44	8.71	1.3	3.0
Bioplyn. el.	2.5	8.67	9.75	0.3	2.5
Fotovoltaická el.	0.6	9.63	52.4	0.6	2.0
Větrná el.	0.3	1.74	3.99	0.3	1.0
Celkem	90	4 510	508.0		

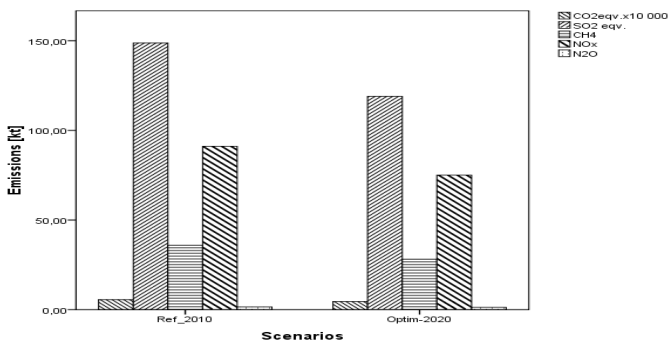
Tabulka 4. Srovnání hodnot mezi referenčním mixem pro rok 2010 a doporučeným mixem pro rok 2020

Zdroj	Roční náklady EUR×10 ⁷		Emise t/rok×10 ⁴		Roční výroba GWh×10 ³	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
	HU parní el.	192.0	150.0	4.8×10 ³	3.7×10 ³	40.9
ČU parní el.	37.8	18.8	331.0	165.0	6.0	3.0
JE Dukovany	42.9	60.5	108.0	152.0	14.2	20.0
JE Temelín	84.5	85.7	95.6	97.0	13.8	14.0
Paroplynová el.	39.8	33.2	274.0	228.0	3.6	3.0
Akumul. vodní el.	1.93	2.62	30.8	41.8	1.5	2.0
Přeč. vodní el.	5.82	35.5	12.4	75.3	0.6	3.6
Malá vodní el.	10.2	46.6	0.65	2.94	1.3	6.0
El. spalující biomasu	4.4	8.7	4.2	8.4	1.5	3.00
Bioplyn. el.	3.94	9.75	3.5	8.7	1.0	2.5
Fotovoltaická el.	53.7	52.4	9.9	9.6	0.6	0.6
Větrná el.	4.5	4.0	1.9	1.7	0.3	0.3
Celkem	482.0	508.0	5 630.0	4510.0	85.4	90.0

Podíl vyrobené elektrické energie z černouhelných a hnědouhelných elektráren v navrhovaném mixu tvoří cca. 40% oproti 55% z roku 2010, podíl elektřiny z jaderných elektráren je 38% a podíl energie z OZE je cca. 20%. Jaderná elektrárna Dukovany bude vyrábět o 12.7% elektrické energie více oproti referenčnímu scénáři a také malé vodní elektrárny zvýší produkci o 5.12%.

Uvažované zdroje měly omezeny maximální a minimální limity roční výroby v souladu s podmínkami SEK, EGU Brno a Národního akčního plánu ČR. Na základě měrných nákladů z roku 2010 jsme stanovila průměrné náklady na výrobu 1 MWh. Tyto průměrné náklady pro mix na rok 2020 byly 56.42 v jednotka na MWh, které byly nepatrně vyšší než průměrné náklady z roku 2010 v hodnotně 56.40 EUR/MWh.

Energeticky mix pro výrobu elektrické energie pro referenční rok 2010 a navrhnutý mix pro rok 2020 byly spočítané pomoci programu GEMIS, pro uvěření výstupných dat vypočtených, viz Graf 3.



Graf. 3 Srovnání emisi CO₂ekv. pro rok 2010 a optimalizaci mix roku 2020 v programu GEMIS

Doporučený optimalizovaný mix pro rok 2020 byl srovnán s veřejnými emisními údaji z minulých let a taky s emisemi vypočtenými pro tento mix v software GEMIS. Hodnoty jsou uvedeny v následující Tab. 5.

Tabulka 5. Srovnání výstupních hodnot pro období 1990-2020

	CO ₂ ekv[kt]		Roční výroba [GWh]	Náklady EUR/MWh
	GEMIS	Předložené Veřejné		
1990			54 255	
2000			55 945	
2010	56 500	56 317	54 592	56.39
2020	45 500	45 137	90 000	56.42

Získané hodnoty pro rok 2010 ze třech různých zdrojů (tj. veřejné, GEMIS a navrhnutý lineární optimalizační procedurou v MS Excel) jsou srovnatelné stejně, což dokazuje realističnost a správnost navrženého modelu.

V roce 2010 se emise skleníkových plynů snížily ve srovnání s rokem 1990 o cca 2.315kt/GWh, v navrženém mixu se hodnota emisí skleníkových plynů ve srovnání s rokem 1990 se zmenší o cca 3.67kt/GWh. Navržený optimální mix respektuje cíle energetické politiky vlády České republiky schválené v březnu 2007 a sice:

- snížit emise skleníkových plynů v roce 2020 (ve srovnání s rokem 1990) - snížení o cca 3.67kt/GWh v navrženém modelu,

- zvýšení podílu obnovitelné energie na 20% do roku 2020.

Software GEMIS umožňuje vyčíslit široké spektrum škodlivin a skleníkových plynů produkovaných energetickým mix. viz Tab. 6:

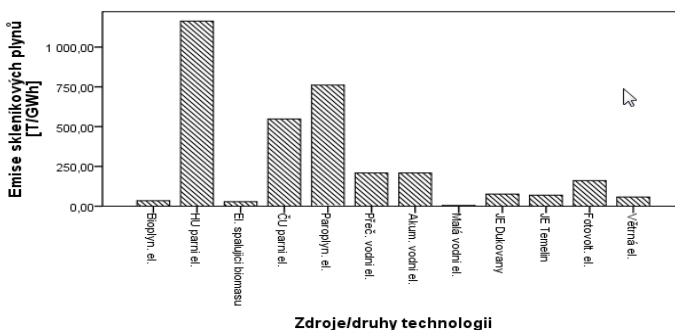
Tabulka 6. Srovnání emise mezi referenčním mixem pro rok 2010 a optimalizováním mixem pro rok 2020

Emise[kt]	Ref. 2010	Optim. 2020
CO ₂ ekv.	56.5×10 ³	4.55×10 ⁴
N ₂ O	1.58	1.30
Ash	11.6×10 ³	9.09×10 ³
CO ₂	55.1×10 ³	4.44×10 ⁴
CH ₄	35.95	28.21
FGD residual	3.00×10 ³	2.36×10 ³
odpad z výroby	66.81	130.24
SO ₂ ekv.	135.54	102.54
SO ₂	77.46	56.64
NO _x	82.52	65.26
HCl	0.67	0.53
HF	1.60×10 ⁻²	1.25×10 ⁻²
částice	11.36	7.02
CO	22.29	18.70
NMVOC	3.57	2.29

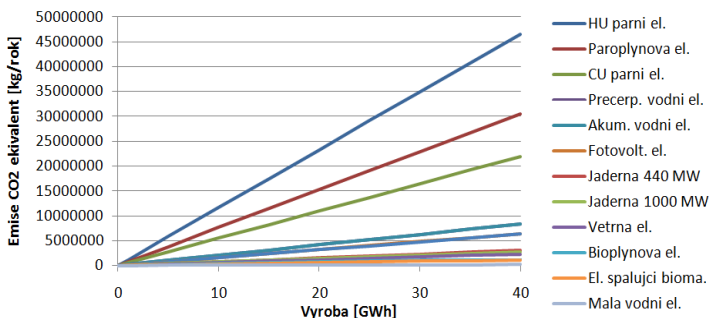
Z pohledu emise škodlivin a skleníkových plynů vychází doporučený mix na rok 2020 je výhodnější, viz Tab. 6. S ohledem na to, že dílčí parametry výroby elektrické energie a technologií byly agregovány a uvažované náklady nemusí být zcela přesné z důvodu nedostupnosti informací, upozorňuje se, že práce poskytuje zjednodušený scénář a nelze ho použít jako návod pro směřování energetického hospodáře v České republice.

II. Model GEMIS

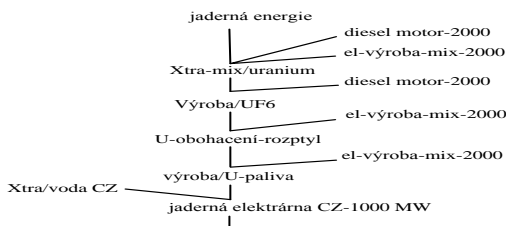
Pomocí bilančního softwaru GEMIS bylo provedeno ohodnocení, výsledky ukazují, že největší emise skleníkových plynů mají parní elektrárny na hnědé uhlí Graf. 4.



Graf. 4 Grafické srovnání emise skleníkových plynů u různých druhů elektráren při produkci stejného množství elektrické energie 1 GWh, zdroj: výpočet v programu GEMIS



Graf. 5 Srovnání produkce emisí CO₂ jednotlivými technologiemi, zdroj: výpočet v programu GEMIS

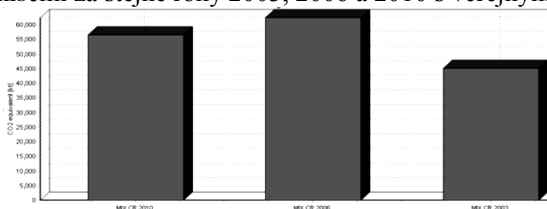


Obr. 1 Schéma procesního řetězce pro jadernou elektrárnu Temelín zpracovanou bilančním modelem GEMIS

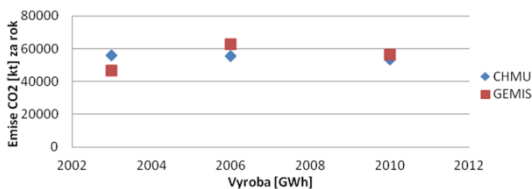
Největší hodnotu emise skleníkových plynů mají zdroje, které používají černé nebo hnědé uhlí. V následující části vyhodnotím vliv zásobování energií ČR na životní prostředí v dlouhodobém výhledu do roku 2020.

Graf. 5 ukazuje lineární růstu emise skleníkových plynů, které závisí na růstu vyrobené práce. Karta procesních řetězců ukazuje graficky vazby jednotlivých dílčích procesů pro jakýkoliv vybraný proces, v daném případě jde o jadernou elektrárnu Temelín, 1000MW, tak jak ho zpracovává bilanční model GEMIS.

Dále byly srovnané výstupní data ze software GEMIS, tj. emise CO₂ ekv. [kt] za rok, s emisemi za stejné roky 2003, 2006 a 2010 s veřejnými údaji.



Graf. 6 Srovnání emisí CO₂ekv. pro roky 2003, 2006 a 2010 v programu GEMIS



Graf. 7 Srovnání emisí CO₂ekv. pro roky 2003, 2006 a 2010 z programu GEMIS a veřejné statistickými data, zdroj: výpočet v programu GEMIS

Tabulka 7. Srovnání emise CO₂ ekv. pro roky 2003, 2006 a 2010 podle výpočetního programu GEMIS a veřejné data

Emise CO ₂ [kt]	2003 (62 600 [GWh])	2006 (84 360 [GWh])	2010 (85 910 [GWh])
CHMU	55 747	55 531	53 592
GEMIS	45 490	62 546	56 537

Pomocí software GEMIS byli spočítané větší hodnoty škodlivin a skleníkových plynů, viz Tab.8:

Tabulka 8. Emise škodlivin a skleníkových plynů, vypočítané v programu GEMIS

Emise [kt]	Rok 2003 62 600 [GWh]	Rok 2006 84 360 [GWh]	Rok 2010 85 910 [GWh]
CO ₂ ekv	4.52×10 ⁴	6.25×10 ⁴	5.65×10 ⁴
CO ₂	4.41×10 ⁴	6.05×10 ⁴	5.51×10 ⁴
CH ₄	28.1	58.7	38.26
N ₂ O	1.31	1.82	1.73
Popel	9.24×10 ⁴	1.39×10 ⁴	1.26×10 ⁴
FGD zbytkový	2.36×10 ³	3.33×10 ³	3.12×10 ³
SO ₂ ekv	101.58	133.2	125.57
SO ₂	50.9	66.37	63.15
NO _x	71.6	94.55	87.87
HCl	0.86	1.06	1.07

Pro pokrytí potřeb elektřiny v České republice bylo stanoveno, namodelováno a vyhodnoceno následující scénáře:

Scénář Referenční varianty je skutečný mix pro roku 2010.

Scénář A, C, E že Statní Energetické Koncepce (SEK) z srpna 2011, hodnoty pro rok 2020.

Scénář Jaderna bere v úvahu mírný rozvoj kogenerační výroby a obnovitelných zdrojů, omezení výstavby uhelných elektráren, výstavbu nových jaderných elektráren.

Scénář Uhelný je charakterizován mírným rozvojem kogenerační výroby a výroby z OZE, nové hnědouhelné elektrárny, nové černouhelné elektrárny a nové paroplynové elektrárny.

Scénář OZE rozsáhlejší využití obnovitelných zdrojů energie, tj biomasy, vodních elektráren a větrných elektráren.

Scénář Optimální (sestaveny dřívě) bere v úvahu mírný rozvoj použití obnovitelných zdrojů energie a výstavbu nových jaderných bloku nebo

elektráren, klesající použití hnědouhelných elektráren, černouhelných a paroplynových elektráren.

Tabulka 9. Vstupní data

Struktura výroby elektřiny [TWh]	Optim_2020	Ref_2010	Scénář A	Scénář C	Scénář E	Scenář OZE	Scenář Uhel	Scénář Jadř
HU parní el.	7.21×10^1	3.35×10^1	2.5	3.36×10^1	3.26×10^1	1	5.2×10^1	5.2×10^1
ČU parní el.	31.28	40.97	33.41	30.91	33.42	28.91	32.41	22.91
JE Dukovany	2.5	1.0	2.4	1.6	1.5	2	1.6	1.59
JE Temelín	6.0×10^1	6.15×10^1	2	6.16×10^1	6.16×10^1	2.5	2	2
Paroplynová el.	3	3.7	1.3	10.95	7.99	8.95	10.95	10.95
Akumul. vodní el.	20	14.2	15	15	25.2	15.5	14.9	22.6
Přeč. vodní el.	3	1.5	9.0×10^1	1.4	1.80×10^1	5.1	2.26	2.26
Malá vodní el.	13.8	13.8	14.5	14.96	14.8	14.4	14.3	19.2
El. spalující biomasu	1	1.32	1.3	2	1.22	1	6.0×10^1	6.0×10^1
Bioplyn. el.	3	6.04	7.5 8	7.6	7.58	5.6	8.6	5.6
Fotovoltaická el.	2	1.5	1.9	1.48	1.48	2.5	8.0×10^1	8.0×10^1
Větrná el.	9	5.9×10^1	2	5.9×10^1	5.9×10^1	2.5	1	9.0×10^1
Celkem	89.9	85.49	85.69	87.84	95.36	90.05	90.03	90.02

Pravděpodobné emise podle SEK srpen 2011, rok 2020, viz Tab. 9-10.

Tabulka 10. Emisí CO₂ ekv. pro rok 2020 podle scénáře z SEK pro všechny sektory

	Scénář A	Scénář C	Scénář E
Emise CO ₂ ekv. [mil.t/ rok]	100.4	98.9	96.5

Tabulka 11. Srovnání emisí CO₂ pro rok 2020 podle scénáře z SEKu a GEMISu

Emise [kt]	Scénář A	Scénář C	Scénář E
SEK CO ₂	100 400	98 900	96 500
GEMIS CO ₂	68 533	66 599	69 053
GEMIS CO ₂ ekv.	72 014	70 319	72 547

Rozdíl mezi výpočty v programu GEMIS a veřejnými hodnoty je způsoben odchylkami a přesností informací týkající se všech zdrojů ES v ČR a tím, že v SEK byly počítány emise pro všechny sektory, ale v disertační práci jsou spočítány emise jenom pro výrobu elektřiny.

Následující část této kapitoly se věnuje hodnocení scénářů dodávky elektrické energie v České republice. Environmentální hodnocení je jednou z nedůležitých částí této práce. V tabulce jsou uvedeny výsledky navržených variant pro skleníkové plyny.

Jedním z nejsledovanějších parametrů pro skleníkové plynů je CO₂ ekv., který udává míru používanou pro srovnání emisí různých skleníkových plynů založenou na jejich potenciálu pro příspěvek ke globální oteplování.

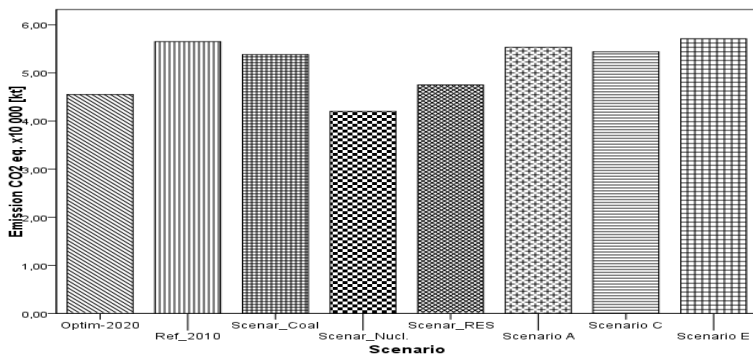
Tabulka 12. Výstupní hodnoty bilančního modelu GEMIS pro skleníkové plyny

Emise [kt]	CO ₂ ekv. × 10 ⁴	CO ₂ × 10 ⁴	CH ₄	N ₂ O
Scénář A	5.53	5.31	66.66	1.77
Scénář C	5.44	5.20	76.87	1.72
Scenář E	5.71	5.47	75.58	1.79
Ref_2010	5.65	5.51	35.96	1.58
Optim-2020	4.55	4.44	28.21	1.30
Scenář_Jadr	4.20	4.03	51.94	1.25
Scenář_Uhel	5.38	5.18	60.13	1.54
Scenář_OZE	4.75	4.58	47.65	1.38

Ze všech navržených variant, scénář „Jaderný“ má nejnižší hodnotu emise CO₂ ekv., viz Tab. 13 a Graf. 8. Druhou nejmenší produkci 64600 [kt] CO₂ ekv. mají scénář „OZE“.

Tabulka 13. Výstupní hodnoty bilančního modelu GEMIS pro plynné emise

Emise [kt]	SO ₂ ekv.	SO ₂	NO _x	HCl	Prach	CO	NM VOC
Scénář A	120.07	57.79	87.40	1.03	5.89	26.06	1.54
Scénář C	111.75	52.63	83.30	0.94	5.02	27.04	1.89
Scénář E	122.91	59.68	88.85	1.19	5.79	27.98	1.90
Ref_2010	148.80	84.36	91.16	1.02	12.65	26.34	4.12
Optim_2020	119.00	65.77	75.07	1.00	8.70	23.24	2.88
Scenář_Jadr	109.53	63.14	65.29	0.94	11.63	30.14	4.41
Scenář_Uhel	139.37	82.68	80.11	0.93	15.49	36.29	5.61
Scenář_OZE	120.41	69.14	72.37	0.89	11.69	31.61	4.29



Graf. 8 Výstupní hodnoty bilančního modelu GEMIS pro skleníkové plyny

Přehledné hodnocení jednotlivých variant z hlediska produkce CO₂ ekv. ukazuje následující grafický výstup bilančního modelu GEMIS, viz Graf. 8.

Při charakterizování kritéria minimálních plynných emisí při výrobě elektrické energie v ČR podle navržených scénářů nejlíp vyhovuje scénář „jaderný“ a „OZE“, které mají přibližně stejné hodnoty, viz Tab. 13.

Mezi pevné odpady vzniklé při výrobě elektrické energie, ale také při dopravě surovin potřebných k její výrobě a její dopravě patří zejména popel, odpad z odsíření, kal z čistíček, jaderný odpad, skřívka a výrobní odpady.

Tyto jednotlivé pevné odpady vzniklé při pokrývání potřeb po elektrické energii pro navrhnuté scénáře ukazují, že nejméně emisí pevných odpadů má varianta „Jaderna“, která má největší hodnoty množství jaderných odpadů, viz Tab. 14.

Tabulka 14. Výstupní hodnoty bilančního modelu GEMIS pro pevné odpady

Emise [kt]	Popel $\times 10^3$	Odpad odsíření $\times 10^3$	Kal z čističek $\times 10^{-1}$	Výrobní odpady	Skrývka $\times 10^5$	Jaderné odpady čističek $\times 10^{-1}$
Scénář A	11.9	2.75	1.01	49.15	2.90	1.24
Scénář C	11	2.50	0.9	38.72	2.62	1.24
Scénář E	11.7	2.69	1.21	39.23	2.82	1.65
Ref_2010	11.6	3.01	0.9	111.43	3.38	1.16
Optim-2020	9.14	2.37	1.19	174.06	2.66	1.40
Scenář_Jadr	6.72	1.73	1.79	225.55	1.96	1.72
Scenář_Uhel	9.39	2.41	1.47	228.33	2.72	1.21
Scenář_OZE	8.44	2.18	1.59	278.77	2.45	1.24

Varianta „optimální“, je v množství emisích hodnot na třetím místě za scénáři „jaderného“ a „OZE“. Vzhledem k tomu, že tyto dvě varianty mají extrémní orientaci, je varianta „optimální“ racionálnější.

5. ZÁVĚR

Shrnutí disertační práce

Prezentovaná disertační práce je další krok v analýze témat „Modelování rozvoje ES z hlediska vlivu na životní prostředí“. ES je velký systém, který se dá vyjádřit a vyčíslit jen respektováním všech komponentů v úvahu. Hlavními cíli disertační práce bylo analyzování a ocenění možností ES ČR dosáhnout podíl snížení emise skleníkových plynů o 20% do roku 2020.

Energetický sektor je jedním z nejrozsáhlejších a nejobemnějších odvětví světové ekonomiky. V posledním období se energetická problematika stala velmi aktuálním tematickým okruhem. V příštích letech bude na energetiku působit řada trendů, která změní energetický systém mnohých států. Aby energetika mohla plnit úspěšně svou roli – zajistit plynulé a nepřerušované zásobování země elektřinou – musí mít kromě technologií, produkčních kapacit a infrastruktury pro dovoz a distribuci energie také racionální, konkurenceschopný a dobře rozmyšlený poměr zastoupení energetických zdrojů.

Nárůst populace do roku 2050 povede k významnému nárůstu spotřeby primárních energetických zdrojů, to povede k nárůstu cen zejména ropy a zemního plynu. Celosvětový boj se změnou klimatu se dnes sjednotil na požadavku snížení emisí skleníkových plynů na polovinu oproti dnešní úrovni, to znamená významné zvýšení nákladů na tuto novou komoditu.

Cíl 1. Analýza výpočtových modelů použitých pro modelování ES.

Pro dosažení tohoto cíle disertační práce, byl analyzován současný stav problematiky, což pomohlo pochopit tematiku a směr pro další kroky v disertační práci. Metody modelování ES ve světě byly popsány v druhé části práce. Regulace energetického systému jsou prováděny jak na státní úrovni, tak i na národní úrovni. Ve všech případech musí být zajištěn bezpečný, hospodárný a spolehlivý provoz ES. Provoz ES obecně přináší různé druhy komplikací a problémů, které mohou být klasifikované podle následujících aspektů: analýza přenosu energie (power flow analysis), citlivostní analýza (sensitivity analysis), klasické ekonomické rozhodování (classical economic dispatch) atd. Různé techniky včetně tradiční i moderní metody optimalizace, které se používají, pro řešení problému provozu ES, mohou být pojmenované následujícím způsobem [18-26]:

1. Konvenční optimalizační metody: optimalizační přístupy bez omezujících podmínek (unconstrained optimization approaches); nelineární programování (nonlinear programming (NLP)) - minimalizace kritériální funkce, doplněné sadou omezujících podmínek; lineární programování (linear programming (LP)); kvadratické programování (Quadratic programming (QP)); zobecněná metoda redukovaného

gradientu (Generalized reduced gradient method); Newtonova metoda (Newton method); programování síťových toků (Network flow programming); kombinované – celočíselné programování (Mixed-integer programming); metody vnitřního bodu (Interior point (IP) methods) atd.

2. Metody založené na přístupech umělé inteligence (Intelligence search methods): Neuronová síť (Neural network); evoluční algoritmy (Evolutionary algorithms) atd.
3. Přístupy pro práci s neurčitostmi v cílech a omezujících podmínkách (Nonquantity approaches to address uncertainties in objectives and Constraints): pravděpodobnostní optimalizace (Probabilistic optimization); aplikace Fuzzy množin (Fuzzy set applications) atd a jiné metody optimalizace byly popsány v práci.

Cíl 2. Navržení optimalizačního modelu scénáře energetického mixu na rok 2020, vypočteného na základě vlastního multikriteriálního modelu.

S pomocí teoretických poznatků a tendencí čerpaných z různých zdrojů jsem navrhla techniko-ekonomický model pro optimalizace rozvoje ES v ČR. Navržený model, byl implementován v prostředí Visual Basic pro MS Excel, aby byla dosažena jistá míra automatizace řešení úlohy výroby elektřiny v ČR v roce 2020 s následujícími podmínkami:

- snížit emise skleníkových plynů o 20% v roce 2020 ve srovnání s rokem 1990 (ačkoli ČR se zavázala do roku 2020 snížení skleníkových plynů o 13.6%, v práci je uvažována hodnota platná pro celou EU);
- zvýšení podílu obnovitelné energie na 20% do roku 2020
- uvažovat nárůst spotřeby množství elektrické energie pro rok 2020 na hodnotu 90 000 GWh.

Práce podává ucelený pohled na problematiku rozvoje ES v ČR z hlediska environmentálního a ekonomického dopadu.

Nosným prvkem práce je obecný algoritmus pro stanovení vhodného způsobu zásobování ČR elektřinou. Model v sobě zahrnuje výpočty, celý postup kterých je možný shrnout do následujících kroků:

- Určení/odhad potřeb elektřiny v ČR pro rok 2020.
- Definice stávajících zdrojů v existujícím mixu pro výrobu elektřiny v ČR z referenčními údaje z roku 2010.
- Specifikace investičních nákladů spojených s nákupem a dopravou paliva, investičními, variabilními, dodatečnými, provozními náklady (měrnými a ročními), náklady na povolenky, anuitou, diskontní sazbou atd.
- Výnosy a náklady plynoucí z růstu výroby elektřiny v ČR.
- Výpočet optimálního mixu pro zásobování dostatkem elektřiny ČR v roce 2020 s kritérii: klesání emisí skleníkových plynů o 20 procent.

Jako objektivní hledisko, podle kterého je počítán optimální mix, je použito ekonomické kritérium minimální ceny při splnění uvedených podmínek.

Do popsaných výpočtových mechanismů modelu bylo zahrnuto i dopad emisí skleníkových plynů a obchodování s emisními povolenkami CO₂ na mix scénáře výroby elektřiny v ČR v roce 2020.

Cíl 3. Předvedení jedné z metod, které se používají pro modelování rozvoje ES – GEMIS. Popis lineární bilančního programu GEMIS a s jeho pomocí vypočtení emisí skleníkových plynů a škodlivých látek všech navržených scénářů.

Modelování ES v ČR s minimálním negativním vlivem na ŽP je základní cíl presentované práce. Tento cíl byl řešen v druhé kapitole. Jako základ pro řešení tohoto bodu, byly použity statistická data pro výrobu EE v ČR v roce 2003, 2006 a 2010. V programu GEMIS byly počítány emise pro navržené roky a získané údaje byly srovnány s veřejnými, viz Tab. 1.

Tabulka 1. Srovnání výstupních hodnot pro období 1990–2020

	CO ₂ ekv[kt]			Roční výroba [GWh]	Náklady EUR/MWh
	GEMIS	Předložené	Veřejné		
1990			54 255	62 558	
2000			55 945	75 000	
2010	56 500	56 317	54 592	85 900	56.39
2020	45 500	45 137		90 000	56.42

Odchytky mezi údaji vypočítanými v programu GEMIS, v předloženém modelu a veřejnými daty jsou způsobeny agregováním zdrojů výroby EE podle druhu.

Po analýze energetického systému v ČR a očekávaného vývoje pro ČR z SEK, NAP a jiných zdrojů, byl pomocí nově navrženého multikriteriálního modelu spočítán optimální scénář energetického mixu pro rok 2020.

Dále bylo provedeno srovnání navrženého optimálního scénáře se scénáři nabídnutými v SEK ze srpna 2011 (A, C, E) a také s třemi krajními mixy (tj. jaderný, uhelný a OZE) a s mixem pro referenční rok 2010. Toto srovnání bylo provedeno pomocí výpočetního programu GEMIS. Srovnání umožňuje ohodnotit jednotlivé směry pro možného vývoje a změn ES při snížení emisí skleníkových plynů pro rok 2020.

Tabulka 2. Srovnání výstupních hodnot pro rok 2020

Emise [kt]	Scenáře							
	Scenář A	Scenář C	Scenář E	Ref_2010	Optim-2020	Scenář_Jadr	Scenář_Uhel	Scenář_OZE
SO ₂ ekv.	120.07	111.75	122.91	148.80	119.00	109.53	139.37	120.41
CO ₂ ekv.10 ⁴	5.53	5.44	5.71	5.65	4.55	4.20	5.38	4.75

Celková výhodnost je určována multikriteriálně, jako nejvíce přijatelnější kompromis mezi ekologickými a ekonomickými hledisky, viz Tab. 2.

Cíl 4. Analýza vlivu energetiky na životní prostředí a klima.

Problematika vlivu energetiky na životní prostředí a klima, energetické protokoly a existující organizace v energetickém odvětví byly popsány a analyzovány v první kapitole práce. Pro pochopení mechanismu obchodování s povolenkami emisí CO₂, byl popsán trh s povolenkami v ČR a Kyotský protokol a organizace, které mají velký vliv na energetické odvětví. Každý stát řeší pro sebe směr a cíl, v souladu s kterým jsou následně tvořeny zákony. Životní prostředí nemá hranice mezi státy a proto pro větší účinnost řešení snižování emisí skleníkových plynů, musí se tuto otázka řešit globálně, nikoliv jen v regionálním měřítku.

Cíl 5. Analýza energetického trhu v EU a ČR v kontextu energetického trhu a legislativy EU.

Českou energetiku čím dál tím víc ovlivňuje EU, která se, mimo jiné, snaží řadou systémových návrhů a směrnic zlepšovat životní prostředí. V třetí kapitole byl analyzován energetický trh ČR v kontextu energetického trhu EU, legislativa ČR, tvorba ceny EE a také současný stav energetické bezpečnosti ČR a jeho hlavní výzvy a rizika, které ovlivňují míru energetické bezpečnosti ČR, a to v kontextu globálních, kontinentálních a regionálních souvislostí.

Cíl 6. Analýza metod snižování negativního vlivu energetiky na životní prostředí a úspor energie v různých oblastech energetiky (výroba, přenos a distribuce) a v různých sférách spotřeby (doprava, domácnosti atd.).

Metody snižování negativního vlivu energetiky na životní prostředí a možnosti úspor EE v různých oblastech energetiky (výroba, přenos a distribuce) a v různých sférách spotřebičů (doprava, domácnosti atd.) byly charakterizované v závěrečné kapitole práce, tj. v kapitole páté. V této části práce bylo ukázáno, že i chování občanů v domácnostech ovlivňuje výraznou měrou úsporu EE.

Zvyšování energetické účinnosti u konečného uživatele umožní využít potenciál investičně efektivních úspor energie ekonomicky vhodným způsobem. Opatření ke zvýšení energetické účinnosti vedou k úsporám energie, které napomáhají snížit závislost států na dovozu energie. Využívání energeticky účinnějších technologií zvyšuje tlak na zavádění nových inovativních technologií a konkurenceschopnost hospodářství.

Některá z opatření ke snížení emisí skleníkových plynů v ČR mohou být:

- výstavba kogeneračních zařízení a transformace některých tepláren v kogenerační stanice;
- změna paliva pro elektrárny a průmyslová zařízení, použití nízkouhlíkových paliv;

- podpora jaderné energetiky a výstavba zařízení pro výrobu energie typu "čisté energie";
- obnova a zlepšení zdrojů/zařízení tepláren;
- snížení emisí skleníkových plynů v zemědělství, energetice, dopravě;
- zalesňování a/nebo opětovné zalesnění;
- energeticky úsporné zdroje a technologie;
- rozšíření zelených ploch.

Doporučení pro další práci

Tato práce koncipovaná jako příspěvek k metodologii modelování ES z hlediska vlivu na ŽP. Modelování rozvoje ES je velmi zajímavá, neustále se měnící a rozsáhlá problematika, kterou každý stát řeší podle svých geografických, ekonomických a sociálních možností.

1) Energetika tvoří páteř národního hospodářství - její efektivní fungování je předpokladem úspěšného rozvoje a růstu kvality životní úrovně společnosti v každé zemi. Zodpovědnost státu, zejména za tvorbu relativně stabilního prostředí pro rozvoj sektoru energetiky a jeho relevantních mezinárodních vazeb, je proto nezastupitelná.

Energetika je moc důležitá část národního hospodářství. V dnešní době málo zemi můžeme si představit bez tohoto odvětví. Pro další práci by bylo možné doporučit zkoumání energetiky jako část národního hospodářství se zaměřením na vzájemné interakce mezi energetikou a jinými odvětvími.

2) Jednou z nejvíce diskutovaných otázek dalšího rozvoje ES je v současné době podíl jednotlivých zdrojů na výrobě EE a s tím spojené aspekty ekologické i ekonomické. Podíl OZE, klasických zdrojů energie včetně jaderných záležitostí na konkrétních možnostech státu, na způsobu řízení rozvoje elektrizační soustavy. Je tedy třeba umět řešit otázku udržitelnosti stávajícího rozvoje ES v podmínkách liberalizovaného trhu.

Žádný ze zdrojů EE není natolik jedinečný, aby jeho výhradním použitím bylo možné pokrýt všechny energetické potřeby země.

Je zapotřebí kvalifikovaně odhadovat, jaká bude potřeba výroby, odkud, a za jakých podmínek bude možné energii dovézt, jaké jsou možnosti rozvoje energetiky a jaké budou dopady na ŽP. V úvahu je potřeba brát očekávání vývoje spotřeby ropy-plynu, elektřiny a jiná kritéria. V budoucnu bude potřeba více propracovat metodiku výběru množství a míry podpory či penalizace jednotlivých zdrojů pro dosažení optimálního stavu z hlediska zvolených kritérií.

3) Z důvodu existence mnoha programů, modelů pro výpočet emisí skleníkových plynů, by bylo rozumné pracovat na pochopení celého systému s pomocí těchto již existujících programů. V ČR je řada organizací, které se zabývají touto problematikou. Jejich způsoby výpočtu jsou však jejich obchodním tajemstvím a jsou tedy zpravidla nedostupné. Bude proto z celospolečenského hlediska potřeba věnovat pozornost problematice

modelování ES, především problematice modelu, který by mohl zahrnout větší část komplexu ES.

Praktický přínos disertační práce

Praktický přínos disertační práce spočívá v možnosti navrženého modelu jako doprovodného nástroje při modelování ES. Výsledky zjištěných scénářů poukázaly na možnost využití aplikace v oblasti modelování rozvoje ES z hlediska vlivu na ŽP. Model v České republice není v současné době aplikován. Navržený model v disertační práci může sloužit pro výzkumné účely.

Téma optimalizace ES je velmi obsáhlé a je pochopitelné, že nelze celé obsáhnout v jedné disertační práci. Tato práce měla mimo jiné za cíl nastínit i další problémy k řešení, popsat a zpřehlednit danou problematiku a vytvořit tak základ pro další výzkum v této oblasti.

LITERATURA

- [1] Ministerstvo Životního Prostředí (MZP), OZK Národní hodnoty 2011: www.mzp.cz [cit. 04.05.2010]
- [2] Ministerstvo Průmyslu a Obchodu (MPO): <http://www.mpo.cz/> [cit. 04.05.2010]
- [3] MPO, Státní Energetická Koncepce, Praha srpen 2011
- [4] Chemisinec, Igor; Marvan, M.; Necesany, J.; Sykora, T.; Tůma, J.: Obchod s elektřinou. Praha 2010, CONTE spol s.r.o., ISBN 978-80-254-6695-7
- [5] Rejstřík obchodování s povolenkami: www.povolenky.cz [cit. 05.09.2011]
- [6] GEMIS - Global Emission Model for Integrated Systems: <http://www.oeko.de/service/gemis/en/> [cit. 09.10.2011]
- [7] Tůma, J.; Cermak, J.: Elektroenergetika a zivotni prostředí, Skriptum FEL CVUT Praha, 1996
- [8] Klíma, J., Jirešová, A., Ibler, Z., Lencz, I.: Ekonomika a řízení elektroenergetický, SNTL/ALFA, Praha 1984
- [9] Lencz, I., Systemů 20. světový energetický kongres, WEC: www.energetik-vv.webnode.cz [cit. 18.10.2011]
- [10] Český hydrometeorologický ústav: www.chmi.cz [cit. 04.07.2011]
- [11] EGU Brno a.s.: Očekávána dlouhodobá rovnováha mezi nabídkou a poptávkou elektřiny. Výhled do roku 2040, sekce provozu a rozvoje elektrizační soustavy, únor 2009
- [12] Centrum ekonomických studií VŠEM, Bulletin CES VŠEM, vydání 15 / ročník 2008 / 15.8.2008, ISSN 1801-1578
- [13] EGU Brno a.s.: Ceny a tarify v odvětví elektroenergetiky v roce 2009. Průběžná zpráva informace o průběžných výstupech řešení k 10.11.2008 podle smlouvy č. 81 009, sekce provozu a rozvoje elektrizační soustavy, listopad 2008
- [14] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Národní Akční Plán, červenec 2010
- [15] Český Statistický Úřad ČSU: <http://www.czso.cz/csu/csu.nsf/informace/ckta010609.doc> [cit. 22.08.2011]

- [16] Energetická bilance ČR v letech 2003, 2004, 2005. ČSÚ, 2007. www.czso.cz [cit. 09.10.2011]
- [17] Energetická vize České republiky, MPO ČR, 2005. www.mpo.cz [cit. 15.10.2011]
- [18] Zhu, J.Z.; J.A. Momoh: Optimal VAR pricing and VAR placement using analytic hierarchy process , ” Electric Power Systems Research , 1998, Vol. 48, No. 1, pp. 11 – 17
- [19] Zhang, W.J.; Li, F.X.; Tolbert, L.M.: Review of reactive power planning: objectives, constraints, and algorithms. IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 4, 2007, pp. 2177 – 2186
- [20] Zhu, J.Z.; Hwang, D.; Sadjadpour, A.: Real Time Congestion Monitoring and Management of Power Systems. IEEE/PES T & D 2005 Asia Pacific, Dalian, August 14 – 18, 2005
- [21] Nocedal, J.; Wright, S. J.: Numerical Optimization. Springer, 1999
- [22] Luenberger, D.G.: Introduction to linear and nonlinear programming, Addison - Wesley Publishing Company, Inc. USA, 1973
- [23] Kennedy, J.; Eberhart, R.: Particle swarm optimization. In Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, Perth, Australia, 1995, vol. 4, pp. 1942 – 1948
- [24] Hopfield, J.I.: Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. Proc Natl Acad Sci, USA, Vol. 79, 1982, pp. 2554 – 2558
- [25] Zhu, Jizhong: Optimization of Power System. United States of America, 2009 by Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN: 978-470-29888-6 [cit. 10. 07.2012]
- [26] Weijermars, Ruud; Taylor, Peter; Bahn, Olivier; Ranjan, Das Subir; Yi-Ming Wei: Review of models and actors in energy mix optimization can leader visions and decisions align with optimum model strategies for our future energy systems? Energy Strategy Reviews xxx (2011) 1e14. [cit. 25.07.2011]

PUBLIKAČNÍ ČINNOST

I. PUBLIKACE VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

I.1 Publikace v impaktovaných časopisech

Článek je v recenzním řízení:

1. *Oprea D., Grünwald O.: Optimization Model for Electric Power generation mix in the Czech Republic.* IEEE Transactions on Power Delivery, ISSN: 0885-8977 (50%)

I.2. Publikace recenzovaných časopisech

1. *Oprea D.: The ways for energy conservation by energy production and consumption of electric energy.* Meridian Ingineresc, technical journal, Republic of Moldova, UTM december 2009, nr. 4, ISSN 1683-853X, pag. 60-63

2. *Oprea D.: GEMIS – Global Emission Model for Integrated Systems.* Meridian Ingineresc, Technical journal, Republic of Moldova, UTM 2010, ISSN 1683-853X

3. *Oprea D.: Calculation of emission factor.* Meridian Ingineresc, technical journal, Republic of Moldova, UTM 2010, ISSN 1683-853X

4. *Oprea D.: The basic direction of development of electricity in coming decades,* Meridian Ingineresc, nr.4, December 2011, technical journal, Republic of Moldova, UTM 2012, ISSN 1683-853X, pag. 35-42.

5. *Oprea D.: The electricity prices in the Czech Republic.* Meridian Ingineresc, Technical journal, Republic of Moldova, June, UTM 2012, ISSN 1683-853X

I.3. Publikace patenty

I.4. Publikace excerptované WOS

I.5. Publikace ostatní

1. *Oprea D.: Conservation of electrical energy,* POSTER 2009, Prague 2009 may 21, 13th International Student Conference on Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague

2. *Oprea D.: Method for determining greenhouse gas emissions.* WEC Regional Energy Forum – FOREN 2010, Neptun, Romania, 13- 17 june 2010. Cod Sp – 10, ISBN 978-973-720-327-4

3. *Oprea D.: Energy resources environmental impact assessment*, POSTER 2010, Prague 2010 may 6, 14th International Student Conference on Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague
4. *Oprea D.: Energy Sector: present and future trends*, POSTER 2011, Prague 2010 may 12, 14th International Student Conference on Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague
5. *Oprea D.: Energy and environment. Methods to calculate greenhouse gases emission*, annals the university of Craiova, 8th international conference on electromechanical and power systems – SIELMEN 2011, editor UNIVERSITARIA, ISSN 1842 – 4805
6. *Oprea D.: Development of Energy System in respect to the Environment*, Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science. Department of Electrical Power Engineering. Proceedings of the 12 th International Scientific Conference. Electrical Power Engineering 2011. May 17-19, 2011, Hotel Dlouhe Strane, Kouty nad Desnou, Czech Republic. ISBN 978-80-248-2393-5. pag 160 – 163.
7. *Oprea D.: Computational models used for minimizing the negative impact of energy on the environment*, PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1(18) 2012, Republic of Moldova, Chisinau 2012, ISSN 1857-0070, web: http://ieasm.webart.md/contents_ro/
8. *Oprea D.: Practical use of optimization model in Czech Republic*, POSTER 2012, Prague 2012 may 17, 14th International Student Conference on Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, ISBN 9788001050439.
9. *Oprea D., Grünwald O.: Optimization model of energy mix taking into account the environmental impact*, POWER ENGINEERING 2012, High Tatras - Tatranske Matliare, May 15 - 17, 2012 section Energy - Ecology - Economy 2012, 11th International Scientific Conference EEE 2012, Tatranské Matliare, Slovakia may 15 – 17, 2012, ISBN 978-80-89402-49-6 (50%)
10. *Oprea D.: Energy and environment. methods to calculate greenhouse gases emission*. WEC Regional Energy Forum – FOREN 2012, Neptun, Romania, 17- 22 june 2012.
11. *Oprea D.: Sustainability and Energy Efficiency*. International Conference. Energy of Moldova – 2012. Regional Aspects of Development. October 4-6, 2012 - Chisinau, Republic of Moldova. ISBN 978-9975-62-324-7, pag. 27-31

12. *Oprea D.: Electrical and geometrical parameters of the synchronous generators with permanent magnets*, “Scientific Conference of Students and Masters”. Chisinau December 2009, Moldova, “Scientific Conference of Students and Masters”, Chisinau 2009, ISBN GEN: 978-9975-45-024-9 Moldova.

II. OSTATNÍ PUBLIKACE

II.1 Publikace v impaktovaných časopisech

II.2. Publikace recenzovaných časopisech

II.3. Publikace patenty

II.4. Publikace excerptované WOS

II.5. Publikace ostatní

1. *Oprea D.; M. Chiorsac, T. Ambros: Voltage regulation of the asynchronous generator in an independent mode of operation*, annals the university of Craiova, 6th international conference on electromechanical and power systems – SIELMEN 2007, editor UNIVERSITARIA, ISSN 1842 – 4805 pag. 118-121 (10%)

2. *Oprea D.; M. Chiorsac, T. Ambros: Transient phenomena in the circuit LCC&PhST of FACTS controller*, annals the university of Craiova, 5th international conference on electromechanical and power systems – SIELMEN 2005, editor UNIVERSITARIA, ISBN GEN: 973-716-208-0; ISBN 973-716-208-0, pag. 432 - 434 (10%)

3. *Oprea D.: Modernization of low-powered synchronous generators*, Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2003, Moldova, pag 127- 128

4. *Oprea D.: Determinarea experimentală a nivelului zgomotului și a vibrațiilor în motorul asincron monofazat cu fluxul axial (Determination of admissible supply for parallel functioning of power transformer with different transformation correlation)*, Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2003, Moldova, pag 129- 130

5. *Oprea D.: Reckoning of composed circuits in transitory regime*, Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2004, Moldova, pag. 268 – 269

6. *Oprea D.*: Elaborarea actionarilor electrice ale sistemelor de irigare de tip MINI-FREGAT (*Drawing up of irrigation systems electric influence of mini-Frigate type*), Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2004, Moldova, pag. 264- 265
7. *Oprea D.*: *Experimental determining of noise level and vibrations in monophas asynchronous engines with axial flow*. Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2004, Moldova, pag. 279 – 280
8. *Oprea D.*: *Analytical methods of drawing up the characteristics of synchronous machines setting-up with saturated and non-saturated magnetic system*, Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2004, Moldova, pag. 266-267
9. *Oprea D.*: *Equation of a long double-wound line with distribution parameters and increased mutual electromagnetic influence*, Scientific Conference of Students and Masters, Chisinau 2005, Moldova, pag. 104 - 105
10. *Oprea D.*: *Modernizarea unei linii tehnologice de fabricare a macaroanelor (Modernization of a technological line for macaroni fabrication)*, Scientific Conference of Students and Masters. Chisinau 2005, Moldova, pag. 106 - 107
11. *Oprea D.*: *Current trends in food preservation technique using natural cold*, “Scientific Conference of Students and Masters”. Chisinau 17-18 november, Moldova, “Scientific Conference of Students and Masters”, Chisinau 2006, ISBN GEN: 978-9975-45-024-9 Moldova, pag. 376-377
12. *Oprea D.*: *Study on refrigerating to cool milk and fruit and vegetable preservation*, “Scientific Conference of Students and Masters”. Chisinau 17-18 November, Moldova, “Scientific Conference of Students and Masters”, Chisinau 2006, ISBN GEN: 978-9975-45-024-9 Moldova, pag. 378-380

SUMMARY

Recently, energy situation has become a very important topic of discussion. Planning of future energy supply mix is a very challenging undertaking which requires consideration of various drivers and decision criteria. Energy solutions for the past, present and future energy mix are commonly formulated by stakeholders in a complex decision-making process. In the Czech Republic, the question of creating a competitive, reliable, sustainable and rational scenario for the future development of the state is being dealt with by different companies and entire teams. Energy mix visions and strategies are important determining factor of our world's future prosperity and welfare.

The thesis serves as a routing guide for the power sector of Czech Republic economy, and shows the pathway to mitigate the negative impact of energy on the environment. In these are used two modeling methods: model GEMIS and own multicriterial model. The methodological approach is described within the illustrative analysis together with data obtained through technical literature analysis. Inaccuracy of input data and many other factors played an important role in the study of the topic of this thesis. The topics as reduction of greenhouse emissions, need of investment in various technologies, analysis of the electricity system in terms of achievement of the lower electricity cost under the lowest emissions production in the long term scale, are included in this work.

The thesis provides analysis of interaction between different trading systems and their importance in combination with the selection of appropriate production technologies.

In the Czech Republic (CR) is an important issue to create competitive, reliable, sustainable and rational scenarios for future energy development. At present, in the CR the government prepares updated draft State Energy Concept. This work deals with the basic approaches of development of the power system in terms of impact on the environment in some aspects can also be used as an analytical material for solving other problems. The aim of this study was to find a suitable methodology for calculation of the optimal and realistic mix at the aggregated level for the future development of the gross electricity production for 2020.

The thesis is not used as a guide for determining the direction of the development of the energy economy of the Czech Republic, but suggests a possible tendency towards mitigating the negative impacts of energy production on the environment and formulates a methodology that can be used for studying and modeling the development of power system.

RESUMÉ

V poslední době se energetická problematika stává velmi aktuálním tematickým okruhem. Některými z důvodů jsou nerovnováha mezi nabídkou a poptávkou po energii, nárůst cen prvotních energetických zdrojů, rostoucí zátěž životního prostředí emisemi, růst obav ze skleníkového efektu a geopolitické problémy spjaté s rostoucí závislostí většiny zemí na dovozu prvotních energetických zdrojů.

Úroveň technologií je základním hnacím faktorem vývoje energetických systémů. Je nezbytné studovat základní tendence technologických změn a jejich roli v dosahování efektivnějších, produktivnějších a čistších energetických systémů. Pochopení dynamiky tohoto vývoje představuje vodítko pro tvorbu energetické politiky a koncepce účinných nástrojů pro její realizaci. Rozvoj technologií není autonomním samostatným procesem, ale vyvíjí se na základě řady vzniklých interakcí v rámci sociálně ekonomického systému.

Tato disertační práce se zabývá studiem aspektů technologických změn a jejich ekologických dopadů v rámci dané elektrizační soustavy. Pro jejich modelování je použito dvou metod: modelu GEMIS a vlastního multikriteriálního modelu. Metodologický přístup je popsán v rámci ilustrativní analýzy, kde jsou prezentovány i poznatky získané z analýz odborné literatury.

Nepřesnost vstupních údajů a mnoho dalších faktorů hrálo důležitou roli při studiu a řešení tématu této disertační práce. Snížení emisí skleníkových plynů, potřeba investic do různých výrobních technologií, analýza elektrizační soustavy z hlediska dosažení co nejnižších nákladů vyrobené elektřiny a co nejnižších emisí v dlouhodobém horizontu, tvoří hlavní obsahovanou náplň této práce.

V práci jsou analyzovány vzájemné interakce mezi různými způsoby obchodování s emisemi povolenkami a jejich dopady v kombinaci s výběrem vhodných výrobních technologií. Výsledky ukazují na existenci významného potenciálu, který může být využit k podpoře rozvoje účinnějších a čistějších výrobních technologií.

V České Republice je důležitou otázkou vytvoření bezpečného, konkurenceschopného, spolehlivého, udržitelného a racionálního scénáře pro budoucí rozvoj energetiky. To je také cílem návrhu aktualizované Statní energetické koncepce ČR. Tato práce se zabývá základními přístupy k řešení vývoje ES z hlediska vlivu na ŽP přičemž může být použita i jako analytický materiál pro řešení dalších relevantních úloh.

Disertační práce neslouží jako návod pro určení směru vývoje energetického hospodářství České republiky, ale naznačuje možné tendence vedoucí k zmírnění negativních dopadů energetiky na životní prostředí a formuluje metodické postupy, které mohou být využity při studiu a modelování rozvoje ES.

PŘÍLOHA 1

Tabulka 1. Nomenklaturní sekce

Symboly	Notifikace cz	Notifikace ang.	Hodnoty
PP	Elektrárna	Power Plant	
BB	Bioplynová elektrárna	Biogas Combustion PP	
CB	ČU parní elektrárna	Coal Combustion PP	
CPP	Paroplynová elektr.	Combined Cycle PP	
HSP	Malá vodní elektrárna	Small Hydro PP	
HPPWP	Akum. vodní elektrárna	Acumulation Hydro PP	
HPPP	Přecher. vodní elektrárna	Pumping Storage PP	
NST	Jaderna elektrárna	Nuclear PP	
BCPP	HU parní elektrárna	Brown Coal PP	
SC	Fotovoltaická elektrárna	Photovoltaic PP	
WM	Větrná elektrárna	Wind (Turbine) PP	
BSPP	Elektrárna spalující biomasu	Biomass Steam PP	
cia	odpisy	amortization	[EUR]
cca	anuitní úroky	annual capital cost	[EUR]
cfa	roční provozní stále náklady	annual fixed operation cost	[EUR]
cva	roční proměnné nepalivové náklady	annual nonfuel variable cost	[EUR]
fua	roční palivové náklady	annual fuel cost	[EUR]
cda	roční náklady na dopravu	annual transportation cost	[EUR]
c_{mn}	měrné náklady	specific cost	[EUR/MWh]
cf_{mn}	měrné provozní stálé náklady	specific fixed operational cost	[EUR/MW]
cv_{mn}	měrné proměnné nepalivové náklady	variable non-fuel cost	[EUR/MWh]
fu_{mn}	měrné palivové náklady	specific fuel cost	[EUR/MWh]
cc_{mn}	měrní anuitní úroky	specific capital cost	[EUR/MWh]
ea_{mn}	měrní výdaje na povolenky	specific emission allowances' cost	[EUR/MWh]
ci_{mn}	měrné investiční výdaje	specific investment cost	[EUR/MW]
ci_n	investiční výdaje	investment cost	[EUR]
cd_{mn}	měrné náklady na dopravu	specific transportation cost	[EUR/MWh]
n	pořadové číslo typů elektrárny	number of process	
N	celkový počet uvažovaných typů elektráren	total number of technologies (type of sources)	
p_n	celkový výkon zdrojů n -tého typu	power of n source	[MW]
to_n	roční doba využití maxima zdrojů n -tého druhu	capacity faktor per year	[hodin/rok]
q	diskontní faktor (činitel času)	discount factor	[%]
r	diskontní sazba	discount rate	[%]
$a(t, q)$	poměni anuita	annuity factor	
x_n	optimální výroba elektřiny pro n -té technologii	optimized electricity production of n source	
S	množina proměnných modelu	set of variables of the model	
$vmax_n$	maximální limit roční produkce n -té technologii	max. limit of annual production of n source	[GWh]
$vmin_n$	minimální limit roční produkce n -té technologii	min. limit of annual production of n source	
z	cílová funkce	the objective function	[EUR]

