

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta strojního inženýrství  
Ústav procesního a ekologického inženýrství

**Ing. Petr Martinák**

**EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ  
V PROCESNÍM PRŮMYSLU**

**EFFICIENT USE OF UTILITY SYSTEMS  
IN THE PROCESS INDUSTRY**

Zkrácená verze PhD Thesis

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství

Školitel: Prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.

Oponenti: Prof. Ing. Josef Kohoutek, CSc., FSI VUT Brno  
Doc. Ing. Rudolf Žitný, CSc., FS ČVUT Praha  
Dr. Ing. Dalibor Král, Tenza, a.s.

Datum obhajoby: 28. 2. 2002

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

integrace procesů, Pinch Analysis, externí energetický zdroj, lokální a globální emise, jednoduché termodynamické modely, ekonomická analýza, technická analýza

## **KEYWORDS**

Process Integration, Pinch Analysis, Utility System, Local and Global Emissions, Simple Thermodynamic Models of Utility Systems, Economic Analysis, Technical Analysis

Originál dizertační práce je uložen na Ústavu procesního a ekologického inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

# OBSAH

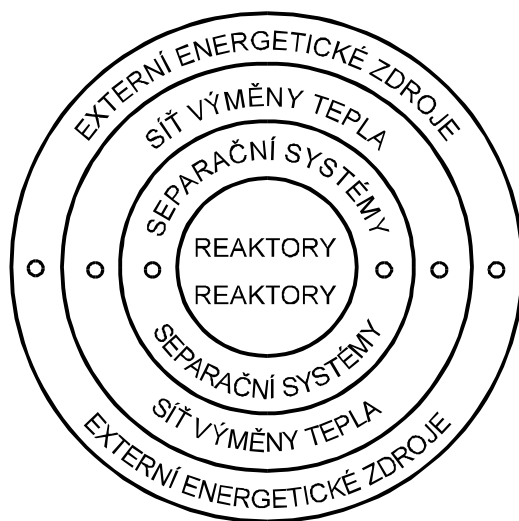
1	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	5
2	CÍL PRÁCE	6
3	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	6
3.1	Kogenerace	7
3.2	Parametry výpočtu pomocí jednoduchých modelů	8
3.3	Jednoduché termodynamické modely vybraných externích energetických zdrojů	10
3.3.1	<i>Procesní pec</i>	10
3.3.2	<i>Parní kotel</i>	10
3.3.3	<i>Parní turbína</i>	11
3.3.4	<i>Spalovací turbína</i>	12
3.3.5	<i>Kotel na odpadní teplo</i>	13
3.3.6	<i>Paroplynové cykly</i>	13
3.4	Stanovení koncentrací emisí	14
3.5	Ekonomická analýza investic do výroby a efektivního využití energie	15
3.6	Technická analýza	16
4	VYTVOŘENÉ PROGRAMOVÉ SYSTÉMY	17
4.1	Programový systém UTIL 2.1	17
4.2	Programový systém SteamTab	18
5	APLIKACE: ŘEŠENÍ SPECIFICKÝCH PROBLÉMŮ Z OBLASTI NÁVRHU EXTERNÍCH ENERGETICKÝCH ZDROJŮ	18
5.1	Optimalizace odběrů parních turbín s více odběry	18
5.2	Využití spalovací turbíny při procesu atmosférické destilace ropy	19
6	ZÁVĚR	23
7	LITERATURA	24
8	ABSTRACT	26
9	CURRICULUM VITAE AUTORA	27



# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V posledních letech se stále častěji setkáváme s úvahami o perspektivách, které by lidstvu hrozily v případě přelidnění Země, nebo do nichž by se mohla dostat v důsledku vyčerpání surovin a zdrojů energie a znečištěním životního prostředí. I když se předpokládá, že se dnešní nebo příští generaci podaří tyto problémy v blízké době vyřešit, nelze opomenout fakt, že v současné době neexistuje jednoznačné řešení budoucí energetické situace lidstva. Technologie, které jsou v současné době testovány, nejsou vhodné pro hromadné průmyslové nasazení zejména z důvodu jejich vysoké ceny nebo neovladnutí výroby klíčových komponent na základě dnešních poznatků vědy. Proto i v blízké budoucnosti bude lidstvo závislé na klasických energetických zdrojích, založených na spalování fosilních paliv. Jednou z možných cest, jak přispět k trvale udržitelnému rozvoji, je efektivní využívání stávajících zdrojů.

Mezi největší spotřebitele energie (elektrické i tepelné) patří procesní průmysl. Pod pojmem procesní průmysl si lze představit většinu běžných průmyslových procesů jako je např. průmysl zpracování ropy, chemický průmysl, potravinářský, farmaceutický, zpracovatelský průmysl a další. Z uvedeného výčtu je zřejmé, že se jedná o procesy s vysokou energetickou náročností. Energie, potřebná pro uspokojení výrobního procesu je ve většině případech získávána klasickými zdroji, spalujícími fosilní palivo. Naskytá se však otázka, zda takto navržené energetické zdroje jsou využívány efektivně a zda by nebylo možné použít jiný typ energetického zdroje, který by byl vhodnější jak z pohledu nižší spotřeby paliva tak i z pohledu ekonomického a vlivu na životní prostředí.



Obr. 1 „Cibulový“ diagram (Onion diagram)

Struktura návrhu procesu je zřejmá z tzv. „cibulového“ diagramu [1]. Návrh průmyslového procesu začíná ve středu diagramu, tedy u reaktorů a separátorů. Po určení hmotnostní a energetické bilance se pokračuje návrhem sítě výměníků pro přenos tepla. Po maximalizaci přenosu tepla ve výměňkové síti se musí požadavky

na teplo a chlazení, které nejsou zajištěny výměnou tepla, zajistit externími energetickými zdroji (viz „vnější“ slupka cibulového diagramu).

V současné době projektanti navrhují zařízení na dodávku tepla do procesu buď na základě vlastních zkušeností a intuice a nebo, v lepším případě, na základě velmi zjednodušených modelů externích energetických zdrojů (EEZ), přičemž dochází k nerespektování vzájemných vazeb mezi procesem a energetickým zdrojem. V konečné fázi návrhu procesu se dnes pro detailní návrh systému EEZ používají profesionální softwarové systémy.

Ukazuje se, že nerespektováním zpětných vazeb mezi procesem a energetickým zdrojem dochází k neefektivnímu využití energie získané spálením paliva. Docházíme tedy k závěru, že návrh systému externích energetických zdrojů je zapotřebí provádět souběžně s návrhem procesu. Jako vhodný nástroj se jeví jednoduché termodynamické modely externích energetických zdrojů, které umožňují rychle reagovat na změny v procesu a tím i na změny v množství a kvalitě dodávané energie.

## **2 CÍL PRÁCE**

Na základě rozboru současného stavu řešené problematiky lze za cíl práce označit vypracování metodiky návrhu energetických systémů a jednoduchých termodynamických modelů externích energetických zdrojů, které umožní uspokojivě překlenout mezeru v současném přístupu k řešení této problematiky mezi fází návrhu procesu a fází detailního návrhu externího energetického zdroje. Takto vytvořená metodika založená na matematických modelech EEZ by měla projektantovi poskytnout základní provozní, konstrukční, ekonomické a ekologické údaje pro optimální návrh průmyslového procesu. Vytvořené matematické modely musí být dostatečně jednoduché, aby umožnily srovnání navržených variant řešení v krátkém čase a při vynaložení co nejmenších finančních prostředků. Jedná se zejména o systémový přístup se snahou přispět systémem výpočtových nástrojů přijatelných pro inženýry v průmyslové praxi.

Cíl práce lze tedy definovat následovně:

- Podrobněji uvést a popsat zvolenou metodiku integrace procesů a EEZ a vysvětlit její význam.
- Zaměřit se jak na nový návrh tak i na rekonstrukci systémů EEZ.
- Provést podrobný rozbor vlivu výběru EEZ, a to jak z hlediska technického tak i z pohledu ekonomického a ekologického.
- Vytvořit a zdokonalit vlastní softwarový systém řešící tuto problematiku.
- Aplikovat metodiku a programové systémy na konkrétních praktických případech z procesního průmyslu.

## **3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ**

Řešení dané problematiky je založeno na metodách pro integraci procesů, které jsou podle mezinárodní agentury pro energii definovány jako [2]: „systematické

a obecné metody pro návrhy integrovaných výrobních systémů, sahající od návrhu jednotlivých procesů až po návrhy celého výrobního závodu (*Total Site Analysis*), se zvláštním důrazem na efektivní využití energie a snížení negativního vlivu na životní prostředí“.

Integrace procesů definovaná tímto způsobem se podobá syntéze procesů, která je chápána jako soustava systematických a obecných metod pro koncepční návrh procesů. Celkové ekonomické a technické vlivy na úrovni technologických schémat procesu jsou uvažovány se zvláštním důrazem na topologii (výběr, řazení a integrace procesních jednotek) a hlavní provozní podmínky (teploty v reaktoru, tlaky v destilační koloně apod.). Integrace procesů i syntéza procesů dnes patří mezi běžně používané přístupy a metody v oblasti aplikací systémového inženýrství.

Syntéza procesů, která je ve své definici velmi blízká integraci procesů, je spojena s výzkumnou prací profesora Rudda na univerzitě ve Wisconsinu na konci šedesátých let minulého století. Na konci sedmdesátých let byl současně několika autory objeven princip PINCHe (svěru). Profesor Linnhoff a jeho spolupracovníci na univerzitě UMIST v Manchesteru dokázali využít tuto metodiku, nazvanou *Pinch Technology* resp. *Pinch Analysis* [3], k vývoji interaktivních postupů a systematických procedur pro efektivní návrh procesů s výměnou tepla [1].

*Pinch Analysis* (*Pinch Technology*) [3] je metodika založená na základním pohledu na systém tepelných toků v procesech a na existenci bodu zvaného PINCH. Na rozdíl od jiných metod je postavena současně na termodynamických a ekonomických principech. Jde o metodiku, která je dnes již uznávanou vědní disciplínou jak v inženýrské praxi tak ve výuce oborů procesního inženýrství. *Pinch Analysis* pro svou srozumitelnost a relativní jednoduchost nejvíce pronikla do oblasti využití v procesním průmyslu. Ekonomický a ekologický efekt je přitom zcela jednoznačný a *Pinch Analysis* resp. *Pinch Technology* patří právem mezi BAT (*Best Available Technologies*).

Tato metodika je zaměřena i na efektivní integraci externích energetických zdrojů (viz obr. 1), spočívající mj. na níže uvedených principech.

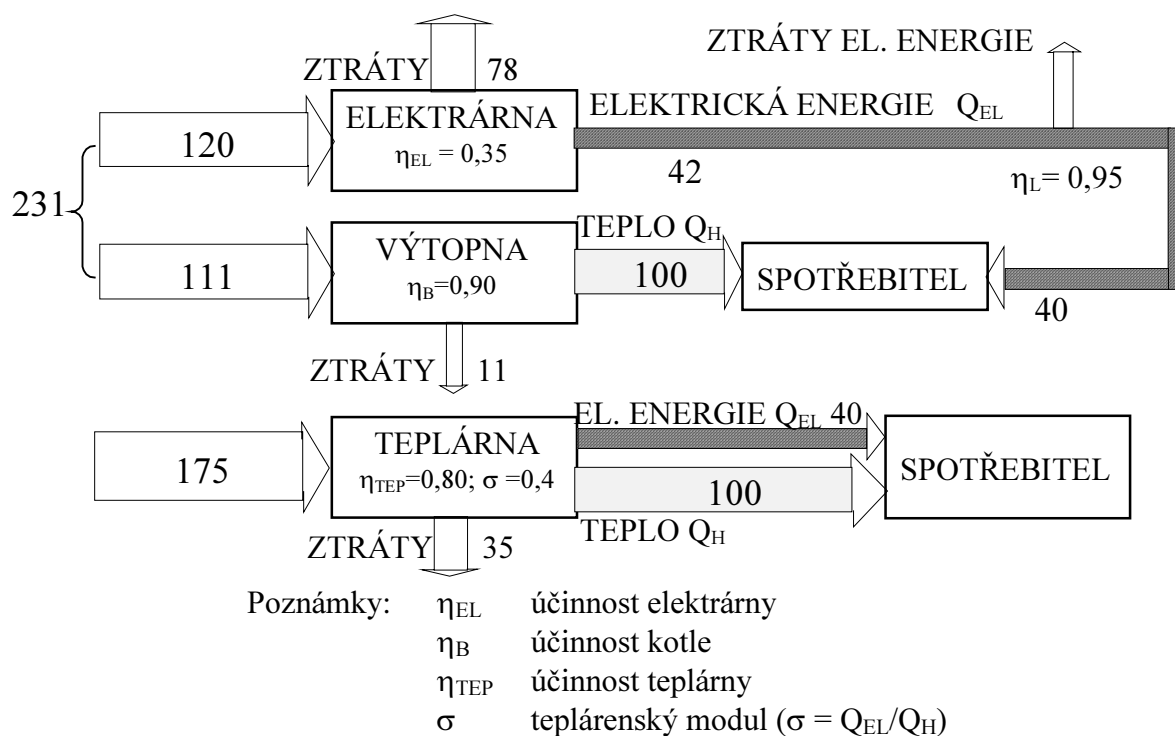
### 3.1 Kogenerace

Existují tři základní pohledy na výrobu tepla a elektrické energie:

- V prvním případě vyrábíme pouze elektrickou energii a teplo, které odchází nevyužito, se považuje za odpad (tepelné elektrárny).
- Druhým způsobem je výroba pouze tepla, přičemž se zcela nevyužije exergie (tj. schopnost vykonat pomocí uvolněného tepla práci) obsažená v palivu (jedná se zejména o výtopny).
- Třetím a v současné době nejlepším řešením je sdružená výroba tepla a elektrické energie – kogenerace, která vychází ze snahy o maximální využití energie uvolněné při spalování paliva.

Energie uvolněná spalováním paliva se využije k výrobě elektrické energie a následně k výrobě páry, popř. ohřevu teplotosného média. Ve srovnání

s klasickým spalováním v kondenzačních elektrárnách, u kterých se pohybuje účinnost kolem 40 %, lze při kombinované výrobě tepla a elektrické energie dosáhnout celkové účinnosti až 90 % při současném snížení množství vyprodukovaných emisí na jednotku energie [4]. To je patrné z obr. 2, kde jsou názorným způsobem porovnány účinnosti oddělené a kombinované výroby elektrické energie a tepla.



Obr. 2 Porovnání účinností oddělené a kogenerační výroby elektrické energie a tepla

Z uvedeného jednoduchého schématu si lze učinit obrázek i o ekologickém aspektu kogenerace. V místě spotřeby tepla (umístění kogeneračního zdroje) se emise ze spalování paliv lokálně zvýší, avšak globálně se jedná o značnou redukci emisí (např. v nejexponovanějších místech ČR – v oblastech uhelných pánví s elektrárnami s kondenzačními parními turbínami - se emise příslušející spálení energetického uhlí sníží).

### 3.2 Parametry výpočtu pomocí jednoduchých modelů

Aby bylo možné úspěšně navrhnout vhodný typ EEZ, je nezbytné disponovat spolehlivými a ověřenými matematickými modely. Pro řešení a ověřování postupů pro integraci EEZ do procesu bylo nutné vytvořit matematické modely EEZ (pec, kotel, parní turbína, spalovací turbína, kotel na odpadní teplo) [5, 6, 7], které je možné s dostatečnou výpočtovou přesností použít pro rychlé výpočty různých typů resp. kombinací EEZ. Současně se tak projektantům a technologům poskytuje užitečný výpočtový nástroj pro usnadnění jejich práce.

EEZ lze rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny patří zdroje, které neprodukují žádnou elektrickou energii. Jsou to pec, parní kotel a kotel na odpadní teplo. Druhou skupinu tvoří ostatní energetické zdroje, které současně s tepelnou

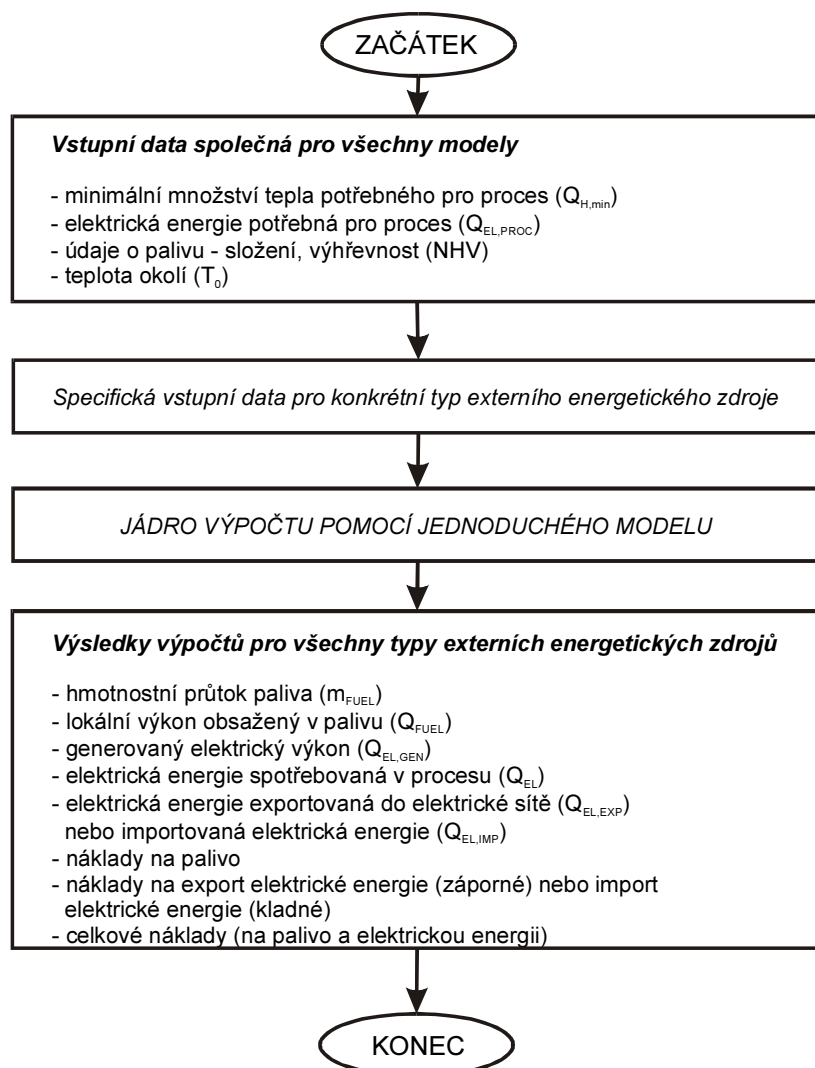


energií vyrábějí také energii elektrickou. V této skupině budou zastoupeny především parní a spalovací turbíny.

Jednoduché matematické modely jsou vhodné v návrhovém stadiu procesu a poskytují kromě energetických a provozně ekonomických parametrů i emisní odhady, které jsou v této fázi návrhu procesu postačující. Přesnost výsledků závisí na komplexnosti modelování jednotlivých případů. Postup výpočtu pomocí jednoduchých modelů je patrný z obr. 3 a sestává ze čtyř částí:

- zadání vstupních dat společných pro všechny modely,
- zadání specifických vstupních dat pro konkrétní typ externího energetického zdroje,
- jádra výpočtu pomocí zvoleného jednoduchého modelu,
- výstupu požadovaných výsledků výpočtu.

V dalším textu se zaměříme na stručný popis jednotlivých typů externích energetických zdrojů, včetně uvedení principu, na jejichž základě byl daný typ EEZ vytvořen.



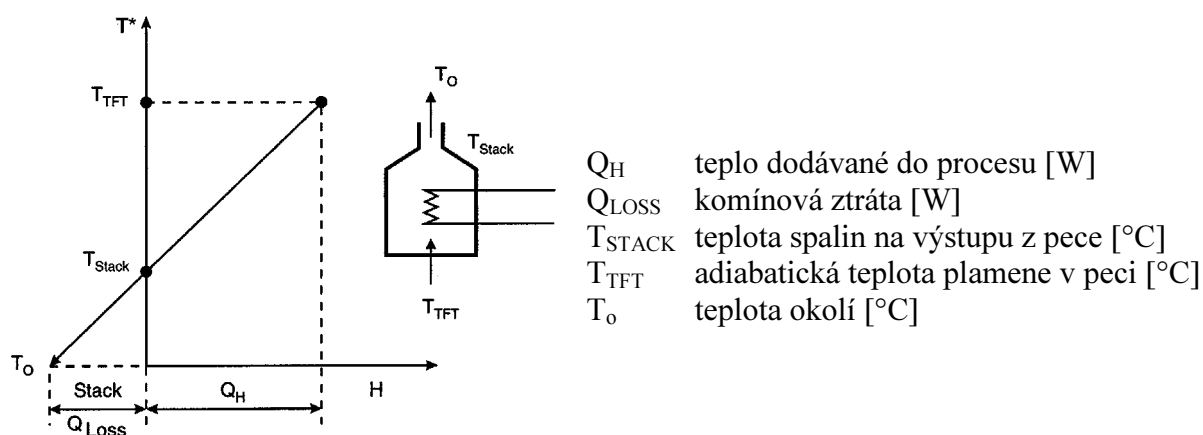
Obr. 3 Algoritmus výpočtu hlavních parametrů jednoduchých termodynamických modelů EEZ

### 3.3 Jednoduché termodynamické modely vybraných externích energetických zdrojů

Pro výpočet základních parametrů a charakteristických údajů pro externí energetické zdroje (teplo uvolněné spalováním, množství paliva atd.) byly vytvořeny a ověřeny jednoduché termodynamické modely externích energetických zdrojů, jejichž přesnost je ve stadiu návrhu procesu zcela dostačující.

#### 3.3.1 Procesní pec

Procesní pece se používají k ohřevu pracovního média (chladných procesních proudů) prostřednictvím spalin a patří mezi zařízení, spotřebovávající značnou část tepelné energie dodávané do procesu. Popisovaný model procesní pece vychází z jednoduché přímkové reprezentace spalin v diagramu „teplota - tepelný tok“ [3, 5, 8] (v anglosaské literatuře označovaném jako „temperature – enthalpy“ resp. T-H).



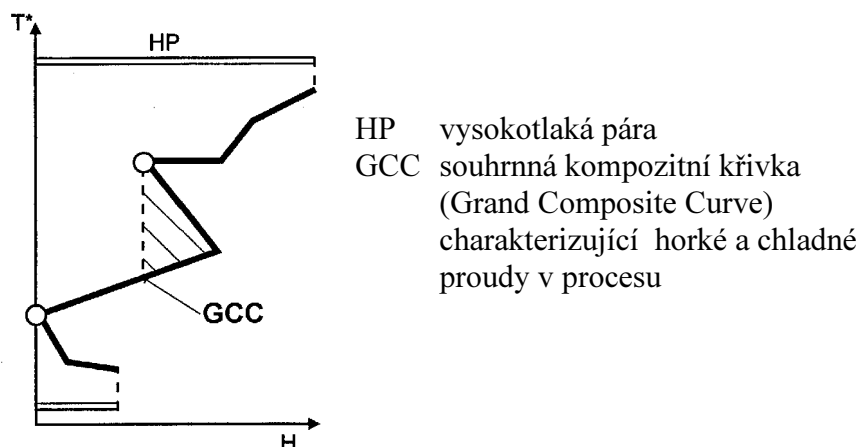
Obr. 4 Znáznornění procesní pece v diagramu T-H

Model vychází z předpokladu, že spaliny o vysoké teplotě (používá se adiabatická teplota plamene stanovená na základě znalosti příslušného paliva) jsou použity přímo pro ohřev chladných procesních proudů. Bližší popis modelu a základní omezení, která je třeba respektovat při nasazení procesní pece jako energetického zdroje jsou uvedena v dizertační práci.

Z rozboru uvedeného v dizertační práci vyplývá nutnost uvažovat pec v celkovém kontextu, tj. zařízení musí být integrováno do celkového systému, tzn. daného procesu.

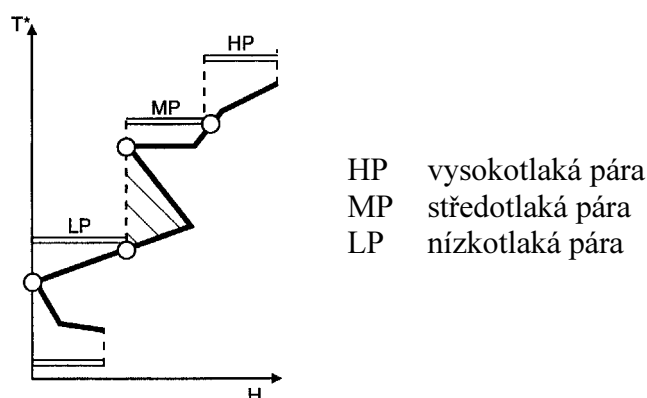
#### 3.3.2 Parní kotel

Parní kotel resp. parní generátor slouží v rámci procesu k výrobě páry případně ohřevu vody (teplovodní nebo horkovodní kotle), přičemž vyrobená pára je dále použita jako horký servis.



Obr. 5 Parní kotel jako EEZ

V práci je popsán jednoduchý matematický model sloužící k výpočtu základních charakteristických údajů [5]. Je proveden rozbor vlivu rozdělení dodávané páry do více tlakových úrovní, přičemž je poukazováno na to, že samotné rozdělení tlaku dodávané páry do více tlakových úrovní páry nemá přímý vliv na spotřebu paliva. Zde se jedná o upřesnění přístupů různých autorů, neboť je nutné konstatovat, že rozdělení výroby páry do více tlakových úrovní není ekonomické bez využití parních turbín.



Obr. 6 Parní kotel s více tlakovými úrovněmi jako EEZ

### 3.3.3 Parní turbína

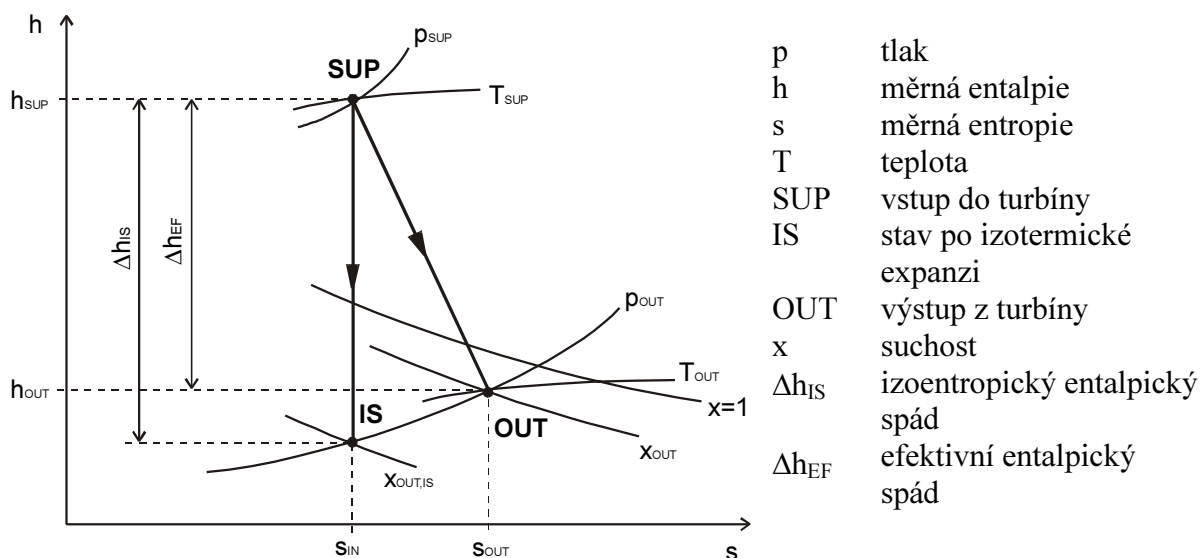
Parní turbíny se v procesním průmyslu používají jednak v podnikových teplárnách k pohonu elektrického generátoru, jednak k pohonu pracovních strojů (napájecí čerpadla apod.). V systémech zásobování parou nacházejí uplatnění zejména:

- protitlakové turbíny,
- protitlakové turbíny s jedním regulovaným odběrem páry,
- kondenzační turbíny s jedním nebo více regulovanými odběry páry.

Parní turbína jako taková, nespaluje žádné palivo a tudíž ji jako samostatné zařízení nelze použít přímo k zásobování procesu. Význam parních turbín vystupuje do popředí teprve ve spojení se zařízeními resp. systémy, vyrábějícími procesní

páru, tj. např. parní kotel nebo spalovací turbína ve spojení s kotlem na odpadní teplo. Navíc se parní turbíny od běžných zdrojů výrazně liší tím, že generují elektrickou energii, kterou lze dále využít pro vlastní spotřebu, případně ji exportovat a prodávat do rozvodných sítí.

V dizertační práci je popsán vytvořený model výpočtu protitlakové parní turbíny, založené na zjednodušené reprezentaci expanzní čáry v diagramu „entalpie-entropie“ (viz obr. 7) [7].



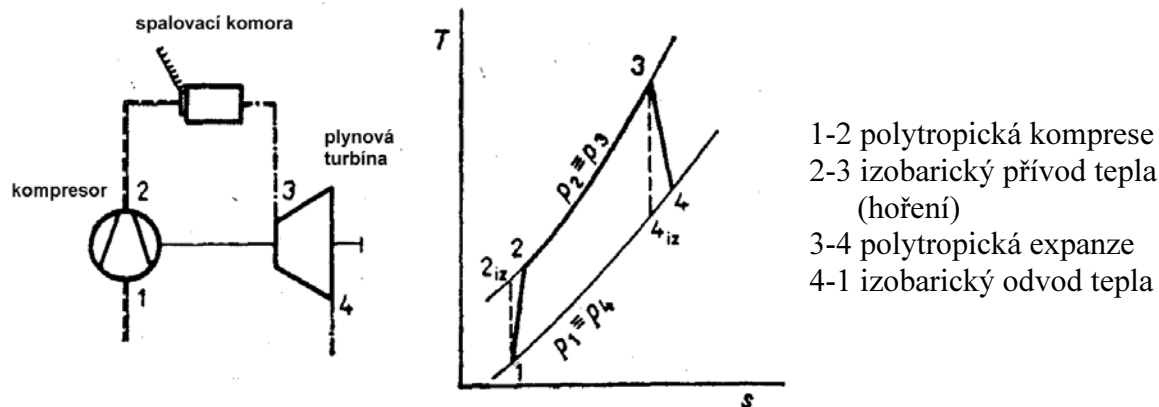
Obr. 7 Zjednodušená reprezentace expanzní čáry v diagramu „entalpie – entropie“

Srovnání vytvořeného modelu je provedeno s modelem publikovaným v lit. [9] na reálném příkladu. Z uvedeného rozboru je patrné, že model založený na reprezentaci parní turbíny v diagramu „entalpie-entropie“ je přesnější a snadněji pochopitelný pro inženýry v praxi. Na základě tohoto modelu a postupů uvedených v [10] byl dále sestaven model kondenzační parní turbíny s jedním regulovaným odběrem páry, vhodným pro nasazení zejména v případech, kdy odběr páry pro proces není rovnoměrný. V práci jsou uvedeny diagramy pro rychlý odhad teploty a entalpie odběrové páry v případě nasazení odběrové kondenzační parní turbíny jako externího energetického zdroje.

### 3.3.4 Spalovací turbína

Názvem spalovací turbína označujeme podle ČSN 08 3500 lopátkové soustrojí, tvořené nejméně kompresorem, spalovací komorou a plynovou turbínou s příslušenstvím a pomocným zařízením. Užitečný výkon na hřídeli se získává v turbíně expanzí spalin vzniklých ve spalovací komoře spalováním paliva v proudu vzduchu stlačeného kompresorem.

Vlastní model spalovací turbíny, popsáný v dizertační práci, vychází ze všeobecně známé zjednodušené (idealizované) reprezentace spalovací turbíny s jednoduchým oběhem v diagramu „teplota – entropie“ (viz obr. 8) [11].

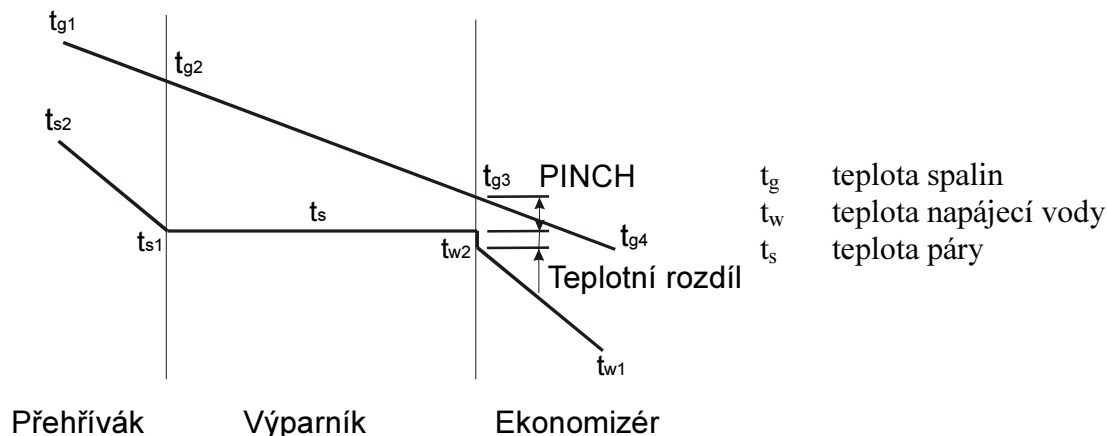


Obr. 8 Schéma spalovací turbíny s jednoduchým oběhem v diagramu T-s

Vzhledem k tomu, že v inženýrské praxi se nenavrhuje pro každý případ nová spalovací turbína, ale využívá se spalovacích turbín běžně dostupných na trhu, je uveden postup, jak využít tento model při návrhu EEZ.

### 3.3.5 Kotel na odpadní teplo

Kotel na odpadní teplo jako takový nespaluje žádné palivo, ale slouží k využití odpadního tepla obsaženého ve spalinách k ohřevu pracovního média (vody) popřípadě k výrobě páry, která je dále spotřebována v procesu. Samotný model vychází z jednoduché reprezentace teplotního profilu spalin a páry dle obr. 9 [12, 13].



Obr. 9 Teplotní profil spalin a páry kotle na odpadní teplo

V dizertační práci je uvedena problematika návrhu kotle na odpadní teplo s ohledem na jeho integraci do procesů. Je popsán vliv teploty spalin a tlaku generované páry na množství vyráběné páry.

### 3.3.6 Paroplynové cykly

Pod pojmem „paroplynový cyklus“ rozumíme zařízení založené na kombinaci plynového a parního cyklu [11, 14, 15]. Tepelná energie spalin vystupujících ze spalovací turbíny je využita v kotli na odpadní teplo pro výrobu syté popř.

přehřáté páry. Ta je dále vedena buď přímo do procesu, nebo je její energie využita ke generování elektrické energie pomocí parní turbíny (kondenzační, protitlakové, odběrové).

Mezi hlavní důvody pro zavádění paroplynových cyklů do výrobních podniků patří:

- nutnost redukce ceny tepelné i elektrické energie
- zvýšení výrobní kapacity
- zavádění nových procesů s využitím těchto cyklů
- výměna zastaralých, neefektivních a neekonomických externích energetických zdrojů
- redukce množství spalin a tím i škodlivých emisí
- bezpečnost externích energetických zdrojů
- výrazně vyšší výroba elektrické energie
- možnost využití zařízení pro dodávku elektrické energie v odběrových špičkách
- úspora paliva primárních energetických zdrojů (20 až 30%)
- snížení škodlivých exhalací pod limitní hodnoty

Při výpočtu paroplynových cyklů je třeba vyjít z požadavků na tepelnou a elektrickou energii pro daný proces. Na základě výpočtu potřebných parametrů (množství spalin, teplota spalin) následuje výběr vhodného typu parní turbíny a její výpočet. Hlavním výstupem je množství požadované páry na vstupu do turbíny o požadovaných parametrech (teplota, tlak). Pokud zvolený typ parní turbíny neodpovídá požadavkům procesu, je zapotřebí tento krok zopakovat. Následuje volba odpovídajícího typu spalovací turbíny. Na základě znalosti jejich základních charakteristik (zejména teplota spalin na výstupu z turbíny a jejich hmotnostní průtok) se provede výpočet kotle na odpadní teplo a to tak, aby uspokojil požadované množství páry na vstupu do turbíny o daných parametrech. Pokud zvolená kombinace spalovací turbíny a kotle na odpadní teplo nepokryje požadavky procesu, je zapotřebí tento krok zopakovat.

### 3.4 Stanovení koncentrací emisí

V důsledku spalování fosilních paliv v externích energetických zdrojích se do ovzduší dostávají látky působící negativně na životní prostředí, jako jsou [5]:

- oxidy uhlíku  $CO_2$ ,  $CO$ ,
- oxidy síry  $SO_x$ ,
- oxidy dusíku  $NO_x$ ,
- nespálené uhlovodíky  $UHC$ ,
- pevné částice (oxidy kovů, nespálený uhlík).

Ve stadiu návrhu externích energetických zdrojů není z časových a finančních důvodů možné provést detailní výpočet koncentrací všech výše uvedených typů emisí a proto byla v předkládané práci věnována pozornost pouze nejvýznamnějším z nich. Jedná se o oxidy uhlíku, síry, dusíku a popel.

Pro posouzení vlivu procesů na životní prostředí byl použit přístup lokálních a globálních emisí [3, 5]. Lokální emise jsou definovány jako emise, které produkuje podniková teplárna (popř. jiný místní zdroj) v důsledku výroby páry pro ohřev chladných technologických proudů. Globální emise jsou emise, které korespondují jak s touto podnikovou teplárnou tak se skutečností, že podnik odebírá elektrickou energii a tím vlastně způsobují emise v tepelné elektrárně. Globální emise je tedy možné určit pomocí jednoduché rovnice:

Globální emise	=	Emise z místních zdrojů
	+	Emise z elektrárny korespondující s množstvím elektrické energie dodané do podniku z rozvodné sítě
	-	Redukce emisí v elektrárně korespondující s množstvím elektrické energie exportované z podniku do rozvodné sítě

Hodnocení z pohledu lokálních a globálních emisí tedy nevychází jenom z emisí produkovaných místními zdroji (jak bývá ve většině studií uváděno), ale i z emisí produkovaných dalšími energetickými zdroji, které se nacházejí mimo výrobní podnik. Lze konstatovat, že tento přístup odráží skutečný vliv procesu na životní prostředí.

Pro výpočet emisí oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a oxidů síry (SO<sub>x</sub>) lze využít dva základní přístupy, lišící se od sebe zejména náročností výpočtu a přesností dosažených výsledků. Pro rychlé určení přibližných průtočných množství CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> a popela lze použít jednoduchých modelů popsaných v dizertační práci, případně modelů založených na základních stechiometrických rovnicích [16].

Predikce koncentrace emisí NO<sub>x</sub> se dá provádět různým způsobem, např. využitím jednoduchého matematického modelu vycházejícího z naměřených dat a využití chemické kinetiky [17], případně lze použít modelů zařazených do softwarových systémů na bázi CFD (Computational Fluid Dynamics). Ty jsou však velmi náročné na výpočtový čas a z tohoto důvodu jsou ve stadiu návrhu procesu nepřiměřeně drahé. Další možností je srovnání s podobným již pracujícím zařízením, přičemž se předpokládá, že množství emisí nově budovaného zařízení se nebude výrazně lišit od srovnávaného zařízení [5]. V případě použití srovnávací metody lze vycházet z přibližných hodnot uvedených v dizertační práci.

### **3.5 Ekonomická analýza investic do výroby a efektivního využití energie**

Investice do zdrojů a úspor energie [18, 19] je nutné posuzovat jako každou jinou kapitálovou investici. Každému investování by měla předcházet ekonomická

analýza zamýšleného projektu. Jejím smyslem je poskytnout konkrétní představu o toku hotovosti v závislosti na výchozích představách a zhodnotit kvalitu projektu použitím některých z kritérií uváděných v dizertační práci jako jsou:

- doba návratnosti investice – vyjadřující počet let, za které výnosy z provozu projektu uhradí počáteční investici
- čistá současná hodnota – slouží k porovnání finančních částek z různých časových období
- Vnitřní výnosové procento – hledá se taková úroková míra, při které se současná hodnota budoucích příjmů rovná právě vloženému kapitálu

V dizertační práci je popsán ekonomický význam výše uvedených kritérií, vhodná oblast použití, nutné podmínky pro správnou aplikaci kritéria a postup hodnocení v případě, že uvedená kritéria dávají různé výsledky.

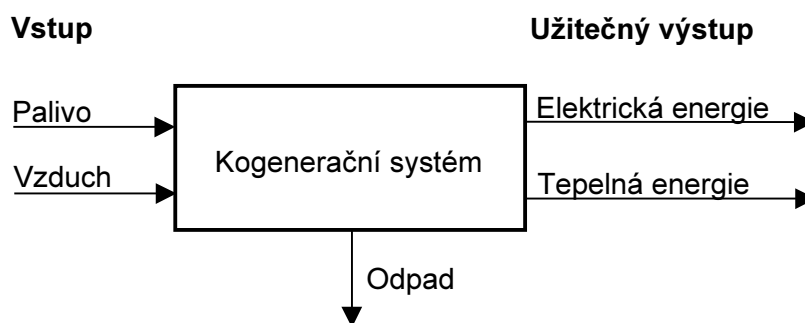
### 3.6 Technická analýza

Ekonomickému hodnocení investičních variant by měla předcházet technická analýza, jejímž výstupem jsou přijatelné varianty řešení založené na zajištění pokrytí potřeb energie a požadované úrovně energetických služeb.

Technická analýza projektu vymezí konkrétní hodnoty, ze kterých ekonomické posouzení vychází:

- energetické potřeby, které má projekt uspokojit (kvantifikace budoucí spotřeby),
- kapacity, které může projekt poskytnout (množství páry, elektrické energie apod.),
- životnost zařízení a způsob jeho provozu a údržby,
- doba a časový postup realizace projektu,
- technická omezení projektu (emisní limity apod.)

Technická analýza navržených variant je založená na hodnocení systému znázorněného na obr. 10 [20, 21, 22].



Obr. 10 Zjednodušené schéma kogeneračního systému

Pro hodnocení takto znázorněného systému lze použít kritéria:

- energetická,
- ekologická,
- ekonomická,
- smíšená.



V dizertační práci jsou popsána základní, v praxi používaná kritéria, včetně rozboru jejich významu. Jedná se o:

- účinnost využití paliva,
- „účinnost“ výroby elektrické energie,
- energie v palivu přeměněná na elektrickou energii,
- teplotní modul,
- index úspory energie,
- úspora energie obsažené v palivu,
- míra úspory energie,
- účinnost systému podle druhého zákona termodynamiky,
- ekonomická účinnost,
- účinnost dle PURPA [23],
- ekologické kritérium.

## **4 VYTVOŘENÉ PROGRAMOVÉ SYSTÉMY**

Dizertační práce je zaměřena zejména na možnosti modelování a aplikace vytvořených jednoduchých modelů externích energetických zdrojů. Jedná se zejména o optimální návrh vhodného systému zásobování teplem a elektrickou energií na základě znalosti základních charakteristických vlastností řešeného procesu. Jako podpůrné „výpočtové nástroje“ pro tyto aktivity byly na základě popsaných matematických modelů vytvořeny softwarové systémy.

### **4.1 Programový systém UTIL 2.1**

Programový systém UTIL 2.1 [24] integruje vybrané postupy a modely uvedené v dizertační práci do jednoho celku. Na základě vstupních dat lze rychle odhadnout optimální typ energetického zdroje již ve stadiu návrhu procesu a vyloučit tak možnosti, které jsou neperspektivní. Důsledkem je úspora času konstruktéra, který může být použit pro řešení dalších dílčích problémů. Programový systém UTIL 2.1 zajišťuje výpočet množství lokálních a globálních emisí CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, popela, výpočet nákladů na palivo a celkových nákladů na zajištění provozu pro tyto typy externích energetických zdrojů:

1. Pec
2. Kotel
3. Kotel + protitlaková parní turbína
4. Kotel + kondenzační parní turbína s jedním odběrem
5. Kotel + kondenzační parní turbína se dvěma odběry
6. Spalovací turbína
7. Spalovací turbína + kotel na odpadní teplo
8. Spalovací turbína + kotel na odpadní teplo + protitlaková parní turbína
9. Spalovací turbína + kotel na odpadní teplo + protitlaková odběrová parní turbína

10. Spalovací turbína + kotel na odpadní teplo + kondenzační odběrová parní turbína
11. Spalovací turbína + kotel na odpadní teplo + kondenzační odběrová parní turbína se dvěma odběry

## **4.2 Programový systém SteamTab**

Součástí systému UTIL je i software SteamTab, sloužící k výpočtu termofyzikálních vlastností vody a vodní páry v širokém rozsahu vstupních hodnot. Systém SteamTab byl dále implementován do programových prostředí TurboPascal, MathCad a MS Excel.

# **5 APLIKACE: ŘEŠENÍ SPECIFICKÝCH PROBLÉMŮ Z OBLASTI NÁVRHU EXTERNÍCH ENERGETICKÝCH ZDROJŮ**

Využití vytvořených prostředků je demonstrováno na některých aplikacích v procesním průmyslu. Jedná se o optimalizaci tlaku odběrové páry odběrových parních turbín [25] a náhradu stávající procesní (ohřevné) pece spalovací turbínou v procesu atmosferické destilace ropy.

## **5.1 Optimalizace odběrů parních turbín s více odběry**

Při použití parních turbín s více odběry jako základu systému EEZ jsou tlaky odběrové páry jednotlivých odběrů voleny projektantem na základě požadavků procesu. Otázkou však zůstává, zda takto navržené tlaky páry jsou optimální z hlediska využití elektrického výkonu parní turbíny. Často i malá změna tlaku odběrové páry a s tím spojené změny v síti výměníků tepla nebo parametrů dalších zařízení mohou přinést výrazné úspory v podobě většího množství vyrobené elektrické energie.

Elektrický výkon odběrových parních turbín závisí na množství páry protékající jednotlivými stupni parní turbíny. Množství páry, které protéká jednotlivými odběry turbíny je dáno tepelným výkonem těchto odběrů (závisí na výparném teple) a stavu páry na výstupu z turbíny. Obecně platí, že čím více protéká páry nižšími stupni, tím větší je množství vyráběné elektrické energie.

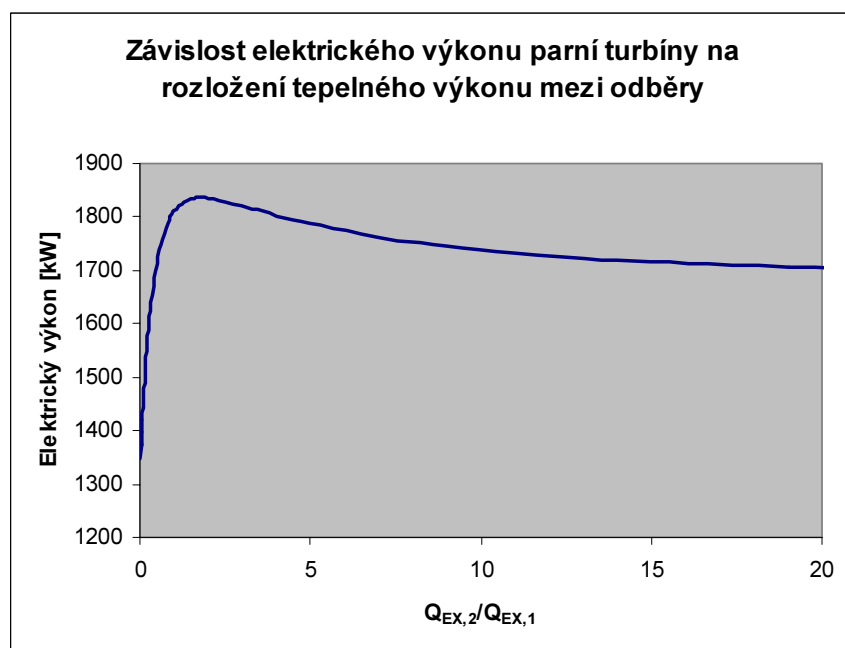
Cílem optimalizačního algoritmu uvedeného v dizertační práci je nalezení takových tlaků odběrové páry (jinými slovy množství páry protékající jednotlivými stupni) na výstupech z turbíny, pro které je elektrický výkon dané turbíny maximální, při zajištění potřebné dodávky tepla do procesu.

Aplikace optimalizačního algoritmu v procesním průmyslu je demonstrována na volbě vhodného typu externího energetického zdroje pro proces vyžadující 15 MW tepelné energie a 3,5 MW elektrické energie [26]. Byly uvažovány dvě základní varianty:

*Varianta 1:* Pára vyrobená v kotli na odpadní teplo je vedena na vstup protitlakové parní turbíny, kde expanduje na nižší tlak a následně je vedena do procesu.

*Varianta 2:* Uvažuje se parní kotel v kombinaci s odběrovou protitlakovou parní turbínou, kde po částečné expanzi páry je odebrána část páry a zbylé množství je vedeno do druhého stupně parní turbíny a po následné expanzi je použito v procesu. Tlak páry druhého odběru byl buď pevně zadán nebo vypočten s využitím uvedeného optimalizačního algoritmu.

Z výsledků uvedených v dizertační práci je patrné, že maximálního elektrického výkonu parní turbíny bylo dosaženo při poměru tepelného výkonu mezi druhým a prvním odběrem 1,86 (pro vstupní hodnoty uvedené v dizertační práci). Závislost elektrického výkonu na rozložení tepelného výkonu mezi jednotlivé odběry je uvedena na obr. 11.



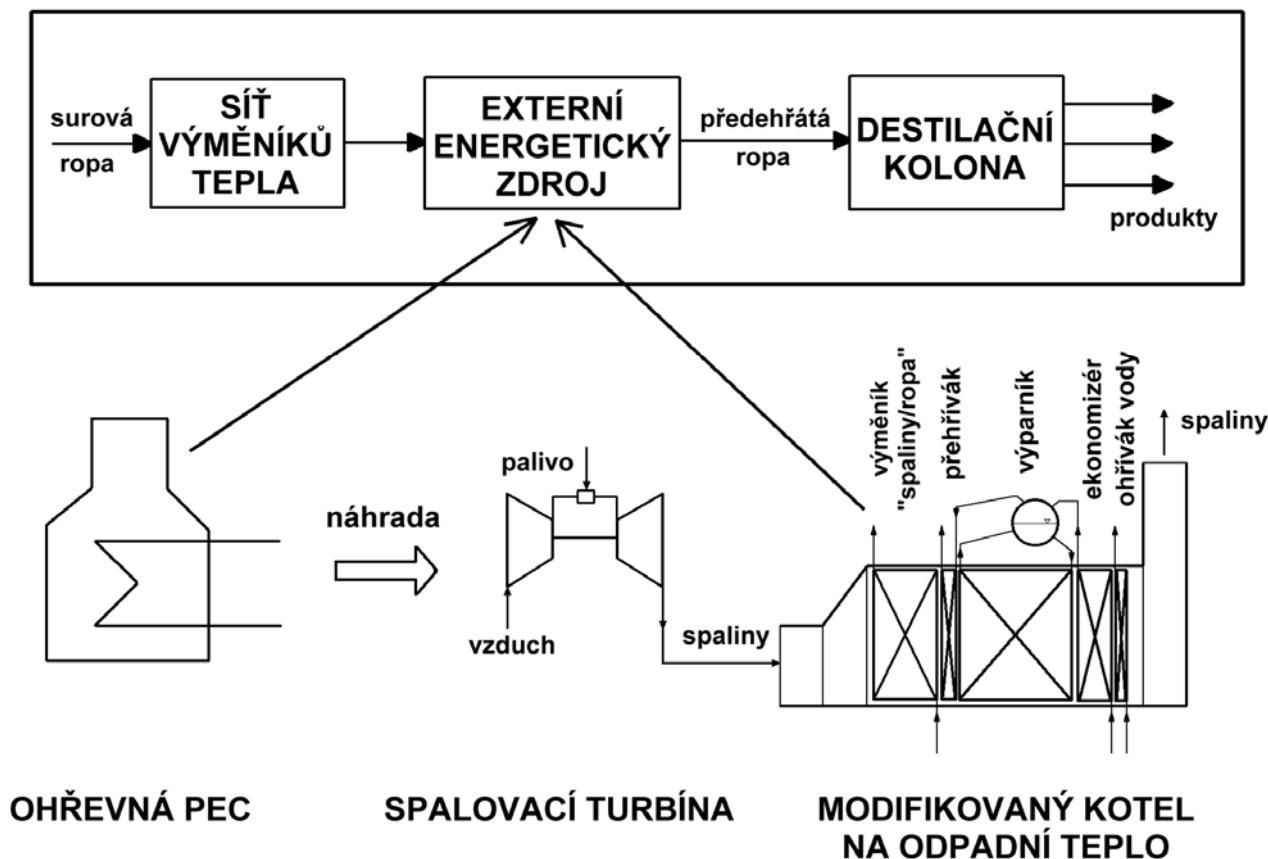
Obr. 11 Závislost elektrického výkonu parní turbíny na rozložení tepelného výkonu mezi odběry

Pro takto získanou hodnotu byl následně proveden výpočet dalších důležitých parametrů – množství potřebného paliva, množství produkovaných emisí a náklady na zajištění procesu. Ve všech hodnocených kritériích vychází nejlépe varianta s optimalizovanou hodnotou tlaku odběrové páry.

## 5.2 Využití spalovací turbíny při procesu atmosférické destilace ropy

Využití spalovací turbíny je naznačeno v případové studii, zabývající se náhradou stávajícího energetického zdroje (ohřevné pece) v procesu atmosférické destilace ropy spalovací turbínou [27]. Zjednodušené schéma systému ohřevu ropy je znázorněno na obr. 12.

## ATMOSFÉRICKÁ DESTILACE ROPY



OHŘEVNÁ PEC

SPALOVACÍ TURBÍNA

MODIFIKOVANÝ KOTEL  
NA ODPADNÍ TEPLA

Obr. 12 Systém ohřevu ropy v procesu atmosférické destilace ropy

Na základě rozboru procesu atmosférické destilace ropy je s využitím metodiky Pinch Analysis stanoveno minimální množství tepelné energie potřebné pro proces. S takto získanou hodnotou je dále počítáno v případové studii.

Využití spalin v navrhovaném řešení náhrady stávajícího zdroje lze rozdělit do tří základních etap (systémů výměny tepla):

- použití spalin pro ohřev procesního proudu (výměník „spaliny/ropa“),
- výroba procesní páry o parametrech 0,8 MPa a 190°C,
- ohřev napájecí vody před odplynovákem.

Výpočet jednotlivých systémů výměny tepla je proveden na základě modelů, uvedených v dizertační práci. Takto získané systémy výměny tepla byly následně integrovány do modifikovaného kotle na odpadní teplo, jehož základní charakteristické údaje jsou uvedeny v tab. 1.

Srovnání současné situace s navrhovanou instalací spalovací turbíny a kotle na odpadní teplo z pohledu využití paliva je provedeno v tab. 2. Byly porovnávány tyto základní parametry: tepelná účinnost, účinnost výroby elektrické energie, teplárenský modul a účinnost využití paliva. Z hodnot uvedených v tab. 2 je možné se domnívat, že náhrada ohřevné pece spalovací turbínou s modifikovaným kotlem na odpadní teplo je z pohledu účinnosti využití paliva neefektivní. Pokud ale vyjdeme z účinnosti jednotlivých zařízení při oddělené výrobě tepla a elektrické

energie a z předpokladu, že veškerá elektrická energie je spotřebována v místě provozu spalovací turbíny, zjistíme, že navrhovaná náhrada energetického zdroje přinese výrazné úspory paliva potřebného pro zásobování daného procesu teplem a elektrickou energií, což koresponduje s principy kogenerace uvedenými na obr. 2.

Dále bylo provedeno srovnání množství produkovaných emisí CO<sub>2</sub> a SO<sub>x</sub> z lokálního a globálního pohledu (viz obr. 13). Množství zredukovaných emisí NO<sub>x</sub> v případě navrhované výměny stávající pece spalovací turbínou v kombinaci s modifikovaným kotlem na odpadní teplo je 78,2 t/rok.

<b>Teplota spalin</b>		
- na vstupu do kotle	517	°C
- na vstupu do přehříváku	388	°C
- v místě výstupu páry z výparníku	383	°C
- na vstupu do výparníku	190	°C
- v místě vstupu vody do ekonomizéru	170	°C
- na výstupu z ohříváku (kotle)	150	°C
<b>Teplota pracovního média</b>		
- vody na vstupu do ohříváku	45	°C
- vody na výstupu z ohříváku	94	°C
- vody na vstupu do ekonomizéru	105	°C
- vody na výstupu z ekonomizéru	155	°C
- páry na výstupu z výparníku	170	°C
- páry na výstupu z přehříváku	190	°C
- ropy na vstupu do výměníku	262	°C
- ropy na výstupu z výměníku	359	°C
<b>Hmotnostní průtoky</b>		
- spalin	179,20	kg/s
- vody	17,47	kg/s
- páry (0,8 MPa, 190 °C)	17,13	kg/s
- ropy	106,84	kg/s
<b>Tepelný výkon</b>		
- ohříváku vody	3 616	kW
- ekonomizéru	3 686	kW
- výparníku	37 286	kW
- přehříváku	816	kW
- výměníku „spaliny/ropa“	28 203	kW
- kotle	73 607	kW

Tab. 1 Základní charakteristické údaje modifikovaného kotle na odpadní teplo

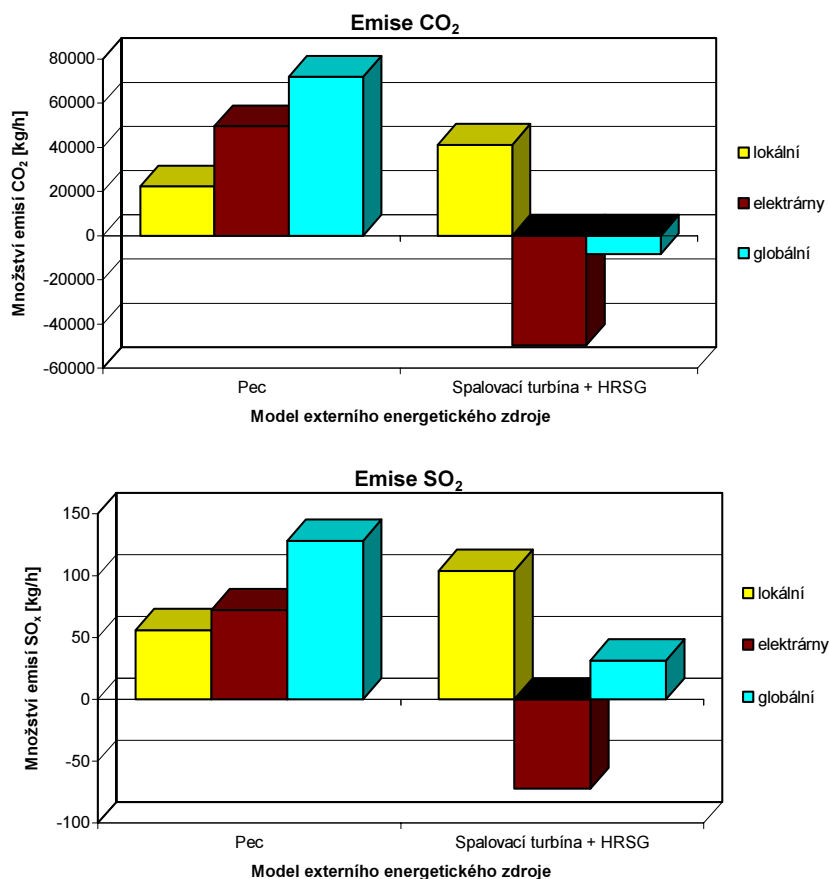
Z obr. 13 může být závažný fakt, že množství globálních emisí CO<sub>2</sub> je v případě nasazení spalovací turbíny s modifikovaným kotlem na odpadní teplo záporné. Tato

skutečnost je způsobena jak relativně velkým množstvím vyráběné elektrické energie tak faktem, že výrobní podnik provozující spalovací turbínu redukuje výkon kondenzační parní elektrárny o výkon spalovací turbíny a současně i o množství paliva, které tomuto výkonu odpovídá. Obdobná situace platí i pro emise SO<sub>2</sub>.

Ekonomická studie navrhované náhrady stávající pece spalovací turbínou je provedena z pohledu projektu a investora. Výsledky ekonomické analýzy jsou uvedeny v tab. 3. Průběh souhrnného diskontovaného toku hotovosti jak z pohledu projektu tak i investora je zřejmý z obr. 14.

		<b>Pec</b>	<b>Spalovací turbína + modifikovaný kotel</b>
Užitečný tepelný výkon	kW	28 203	73 607
Elektrický výkon	kW	-	52 800
Tepelný výkon uvolněný spalováním	kW	32 794	153 504
Tepelná účinnost	%	86,00	47,95
Účinnost výroby elektrické energie	%	-	34,40
Teplárenský modul	-	-	0,75
Účinnost využití paliva	%	86,00	82,35

Tab. 2 Účinnost přeměny v závislosti na použitém typu EEZ

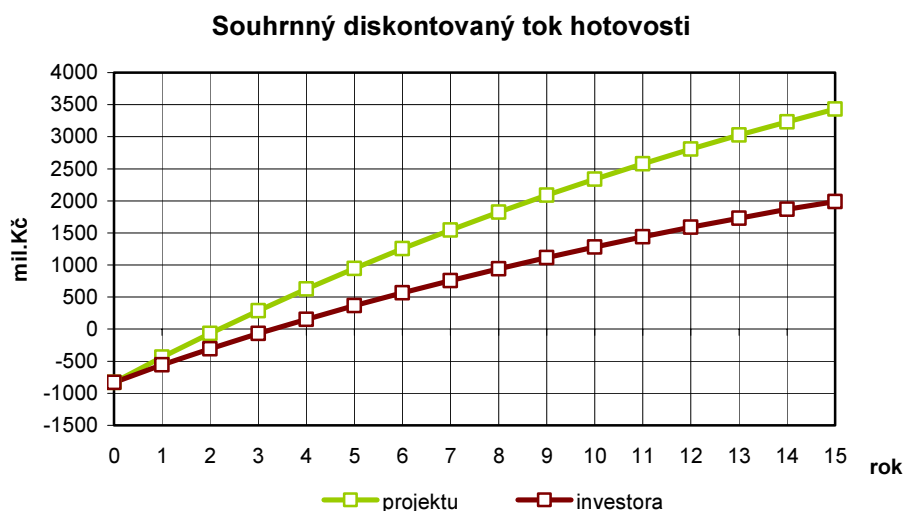


Obr. 13 Produkce emisí CO<sub>2</sub> a SO<sub>x</sub> dle použitého typu EEZ

Z výsledků uvedených v této kapitole je zřejmé, že navrhovaná náhrada stávajícího energetického zdroje je vysoce ekonomicky výhodná a nezanedbatelný je i její vliv na životní prostředí ve srovnání se stávajícím systémem zásobení teplem a elektrickou energií.

<b>Projekt</b>		
- investiční náklady	830,0	mil. Kč
- diskontní míra	5,0	%
- vnitřní výnosové procento	49,3	%
- čistá současná hodnota	3 430,4	mil. Kč
- doba splatnosti	2,2	rok
<b>Investor</b>		
- investiční náklady	830,0	mil. Kč
- diskontní míra	5,0	%
- vnitřní výnosové procento	32,8	%
- čistá současná hodnota	1 988,3	mil. Kč
- doba splatnosti	3,3	rok

Tab. 3 Posouzení investice z pohledu projektu a investora



Obr. 14 Souhrnný diskontovaný tok hotovosti z pohledu projektu a investora

## 6 ZÁVĚR

Dizertační práce se zabývá problematikou efektivního využití energetických zdrojů v procesním průmyslu. Uvedeného cíle lze dosáhnout aplikací vhodného typu externího energetického zdroje, jehož výběr je proveden v návaznosti na metodiku Pinch Analysis. Nezanedbatelnou součástí výběru optimálního typu energetického zdroje je jeho zhodnocení z pohledu ekonomického, technického a vlivu na životní prostředí.

Předpokládané využití metodiky a postupů uvedených v dizertační práci je založeno na komplexnosti přístupu k dané problematice. S pomocí jednoduchých termodynamických modelů externích energetických zdrojů v kombinaci s postupy hodnotícími kvalitu návrhu energetického zdroje lze již ve fázi návrhu procesu vyloučit neefektivní varianty, a vybrat takové alternativy řešení, které jsou optimální jak z pohledu investora, tak i vlivu na životní prostředí.

Jednoduché termodynamické modely navíc spolu se znalostí základních charakteristik procesu umožňují rychle reagovat na změny v procesu a tím umožňují optimální návrh energetického zdroje tak, aby respektoval tyto změny.

Z pohledu ochrany životního prostředí lze podstatný přínos dizertační práce vidět v globálním hodnocení produkovaných emisí, kdy nejsou uvažovány jenom emise produkované v místě provozu energetického zdroje, ale i emise související s dodávkou tepla a elektrické energie z rozvodných sítí.

V rámci dizertační práce byl vytvořen softwarový systém UTIL 2.1, který lze využít k rychlému výběru optimálního systému energetických zdrojů a to takovým způsobem, aby bylo dosaženo nejnižších provozních nákladů navrhovaného energetického systému a minimálního negativního vlivu na životní prostředí z hlediska emisí.

V práci je uvedena případová studie, zabývající se náhradou stávající pece v procesu atmosférické destilace ropy spalovací turbínou v kombinaci s kotlem na odpadní teplo. Přestože se jedná o netradiční způsob využití spalovacích turbín, lze na základě příslušných analýz a potenciálních projektů očekávat aplikace v průmyslu zpracování ropy, čímž se dosáhne významných úspor paliva a pozitivního vlivu na životní prostředí.

## 7 LITERATURA

- [1] Linnhoff B., Townsend D. W., Boland D., Hewitt G. F., Thomas B. E. A., Guy A. R. and Marshland R. H. " *User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy*, IChemE, Rugby, UK, 1982
- [2] Linnhoff B., Sahdev V.: *Pinch Technology*, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. B3, pp. 13-1-13-6, Fifth Edition, 1987
- [3] Smith R.: *Chemical Process Design*, McGraw-Hill, INC., New York, 1995
- [4] Krbek J., Ochrana L., Polesný B.: *Průmyslová energetika*, Nakladatelství PC-DIR Brno, učební texty vysokých škol, 1996
- [5] Smith R. and Delaby O.: Targeting Flue Gas Emissions. *Trans IChemE*, 69, Part A, pp. 492-505, 1991
- [6] Stehlík P., Fiala A.: Some Aspects of Utilities Selection, Energy Saving and Emissions Reduction in Process Industry, *Fourth International Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment*, 7-10 July, Lisboa, Portugal, 1997
- [7] Fiala A., Stehlik P. and Martinak P., Evaluation of Environmental and Economic Process Design through Utilities Selection, 13-th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA '98, *1<sup>st</sup> Conference on*



- Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES'98*, Proceedings on CD ROM, Prague (1998)
- [8] Jegla Z.: *Furnaces Integration into Processes for Energy Consumption Reduction*, PhD Thesis, Technical University of Brno, CZ, June 1999
- [9] Townsend D. W., Linnhoff B.: *AIChE Journal*, 29: 766
- [10] Kadrnožka J.: *Parní turbíny a kondenzace*, VUT Brno, 1987
- [11] Kousal M.: *Spalovací turbíny*, SNTL, Praha, 1980
- [12] Ganapathy, V.: Heat-Recovery Steam Generators: Understand the Basics, *Chemical Engineering Progress*, 92, pp. 32-45, August 1996
- [13] Ganapathy V., *Waste Heat Boiler Deskbook*, The Fairmont Press, Inc., USA, 1991
- [14] Joseph, A., Orlando: *Cogeneration Planner's Handbook*, The Fairmont Press, Inc., USA, 1991
- [15] Nelson, E., H.: *Guide to Natural Gas Cogeneration*, The Fairmont Press, Inc., USA, 1991
- [16] Rédr M., Příhoda M.: *Základy spalovací techniky*, SNTL, Praha, 1991
- [17] Bebar L., Kermes V., Stehlik P., Canek J., Oral L.: Low NOx Burners – Recent Development, Equipment, Experience, Modelling, *IT3 Conference*, Philadelphia, Pennsylvania, May, 2001
- [18] Allen D. H.: *Economic Evaluation of Projects*, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire, CV2 13HQ, England, 1991
- [19] Peters M.S. and Timmerhaus K. D.: *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1991
- [20] Stecco, S. S. and Manfrida, G.: A rational efficiency analysis of comparisons and trends in gas turbines for cogeneration, *ASME Paper No. 85-IGT-13*, 1985
- [21] Huang, F. F.: Performance evaluation of selected combustion gas turbine cogeneration systems based on first and second law analysis, *Journal of Engineering for Gas Turbine Power*, Vol. 112, pp. 117-121, January 1990
- [22] Sarabchi, K. and Polley, G. T.: Parametric analysis of gas turbine cogeneration plant from first and second law viewpoints, *IGTI-V.7, ASME COGEN-TURBO*, pp. 485-491, 1992
- [23] Anonymous: The Purpose of PURPA, *Mechanical Engineering*, p. 56, New York 1988
- [24] Martinák P.: *Externí energetické zdroje v procesním průmyslu*, diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 1997
- [25] Martinák, P., Stehlik P.: Optimisation of Passout Steam Turbine Extraction in Process Design, *13th International Congress of Chemical and Process Engineering (CHISA '98)*, Prague, Czech Republic, 1998
- [26] Martinak P. and Stehlik P., Optimum Selection of Co-Generation System Based on Technical and Economic Analysis, 6th World Congress of Chemical Engineering, Proceedings on CD ROM, Melbourne, Australia, (23-27 September, 2001)

- [27] Goudappel E., Herfkens A. H, Beishuizen T.: Gas Turbines for Crude Oil Heating and Cogeneration, *Petroleum Technology Quarterly*, spring 2000, pp. 99-109
- [28] Král D.: *Snižování energetické náročnosti procesních jednotek*, dizertační práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 1995

## 8 ABSTRACT

Effective and efficient selection of utility systems in the process industries can be considered as the main subject of this PhD thesis. The selection takes into account first of all heat and power demand of a process. This is evaluated using Pinch Analysis as a convenient and well-proven methodology in engineering practice.

Simple mathematical models of utility systems (furnace, boiler, steam turbine, gas turbine and heat recovery steam generator (HRSG)) are used for an optimum selection of utility systems. A detailed description of these models including problems connected with their applications and related constraints, which have to be respected during design, create a core of the thesis.

Combining process integration based on Pinch Analysis and simple thermodynamic models enables improving the process design procedure from the point of view of energy supply optimisation.

An inverse procedure is also shown in the thesis. In this case a minor change in utility system and a consequent change in process can bring surprising cost reduction.

A strong emphasis is laid on the evaluation of utility (heat and power) systems design both from the economic and environmental point of view. A method of evaluation based on so-called global emissions (when not only on-site (local) emissions but also those from the central power station are taken into consideration) is applied in the work.

A software system UTIL 2.1 has been created. This system (which is based on simple thermodynamic models and emissions production evaluation) enables to evaluate various alternatives of utility systems. Thus we can make a selection of eligible alternatives and to choose the best available utility system. Software UTIL 2.1 comprises also a subsystem SteamTab for calculation of thermo physical properties of water and steam. Based on requirements of designers from industrial practice, this system was also implemented into TurboPascal, MathCad and MS Excel.

Applying the methodology and software described above is demonstrated through examples. The first one deals with an optimum selection of steam turbine extractions of bleeding steam turbine. The second one is aimed at substituting existing utility system (process furnace) in case of atmospheric crude oil distillation process by gas turbine together with a modified heat recovery steam generator (HRSG). Economic and environmental evaluation shows very important benefit of using this alternative.

Results of the submitted PhD thesis can also be considered as a contribution to sustainable development and reveal a big potential in application of this methodology.

## 9 CURRICULUM VITAE AUTORA

### Osobní údaje

#### Petr Martinák

Narozen: 8. 1. 1974 v Uherském Hradišti

Bydliště: Zlechov 521

Národnost: česká

### Vzdělání

- 1997 – 2000 doktorské studium na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, obor „Konstrukční a procesní inženýrství“
- 1992 – 1997 studium na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, specializace „Konstrukční a procesní inženýrství“, studium ukončeno státní zkouškou
- 1988 – 1992 Střední průmyslová škola v Uherském Hradišti, obor „Strojírenská technologie“

### Pedagogická praxe

- 1997 – 1998 výuka studentů FSI VUT Brno, pracovní náplň: blok cvičení předmětů „Tepelné pochody“ a „Energie a emise“
- 1998 výuka „Termomechaniky“ pro zahraniční studenty (v angličtině)

### Zaměstnání

- 2000 – dosud asistent, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství

### Odborné aktivity

- 1997 Úspěšné absolvování kurzu: *Cogeneration and Site Utility Systems in the Process Industries*. The University of Manchester Institute of Science and Technology, Department of Process Integration, Manchester, December 1997
- 2001 Úspěšné absolvování kurzu: *Sustainability Assessment of Natural Gas Technologies*, Eurosummer school, 19 – 23 November, Lisboa, Portugal
- 1997 – 2001 Therm-centrum, pracoviště při Ústavu procesního a ekologického inženýrství FSI VUT Brno: řešení problémů přenosu tepla v průmyslových aplikacích, spoluřešitelství mezinárodních projektů a národních grantů, publikační činnost

## Seznam nejdůležitějších prací autora

Martinak P., Stehlik P., and Hajek J., Selection of Utilities from Various Points of View, in: Pierucci S. and Klemes J., (eds.), *Process Integration, Modelling and Optimization*, AIDIC Conference Series, Italy (2001)

Fiala A., Stehlik P. and Martinak P., Evaluation of Environmental and Economic Process Design through Utilities Selection, 13-th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA '98, *1<sup>st</sup> Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES'98*, Proceedings on CD ROM, Prague (1998)

Martinak P. and Stehlik P., Optimisation of Passout Steam Turbine Extractions in Process Design, *13-th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA '98, 1st Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES'98*, Proceedings on CD ROM, Prague (1998)

Martinak, P. and Stehlik, P., Environmental and Economics Aspects of Using Passout Steam Turbine as Utility System, *2nd Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES'99*, pp. 445-450, Budapest, Hungary (May 31-June 2, 1999)

Martinak, P., Vacek, T. and Stehlik, P., Equipment Costing Procedures in the International Environment, *14th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2000, 3rd Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2000*, Proceedings on CD ROM, Prague, Czech Republic (August 27-31, 2000)

Stehlik P., Martinak P., Havlen L., Puchyr R., Hajny Z. and Oral J., Improved Process and Equipment Design in Relation to Waste to Energy Systems, *International Conference on Incineration & Thermal Treatment Technologies*, Proceedings on CD ROM, Philadelphia, Pennsylvania, (May 14-18, 2001)

Martinak P., Stehlik P., Salek J. and Hajek J., Selection of Utilities From Various Points of View, *4th Conference on Process Integration, Modeling and Optimization for Energy saving and Pollution Reduction PRES'01*, Florence, Italy, (20-23 May, 2001)

Bebar L., Martinak P., Trunda P., Stehlik P., Hajny Z., Oral J., Waste to Energy in The Field of Thermal Processing of Wastes, *4th Conference on Process Integration, Modeling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction PRES'01*, Florence, Italy, (20-23 May, 2001)

Martinak P. and Stehlik P., Optimum Selection of Co-Generation System Based on Technical and Economic Analysis, *6th World Congress of Chemical Engineering*, Proceedings on CD ROM, Melbourne, Australia, (23-27 September, 2001)

Madadnia J., Martinak P., Coelho D., Stehlik P. and Liyanage N., Feasibility of Cogeneration for University of Technology (A Case Study), *12<sup>th</sup> IAHR Symposium in Cooling Towers and Heat Exchangers*, pp. 219–227, UTS, Sydney, Australia (November 11 – 14, 2001) (Plenary Lecture)

Bebar L., Martinak P., Havlen L., Stehlik P. and Oral J., Thermal Processing of Wastes Using Gasification, *21st International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies*, Proceedings on CD ROM, New Orleans, Louisiana, USA (May 13 – 17, 2002)

Bebar L., Martinak P., Stehlik P. and Oral J., Substituting Fossil Fuels by Syngas from Gasification in the Process and Power Industries, *Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Proceedings on CD ROM, Dubrovnik, Croatia (June 2 – 7, 2002)

Martinak P., Stehlik P. and Bebar L., Possible Approach for Optimum Selection of Utility Systems, *15th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2002, 5th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2002*, Proceedings on CD ROM, Prague, Czech Republic (August 25 – 29, 2002)