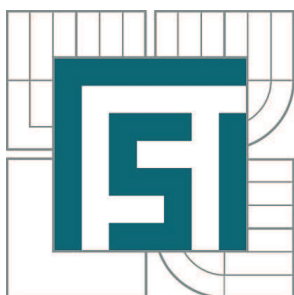


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

INTEGRACE PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY DO ENERGETICKÉHO SYSTÉMU PRÁDELNY

GAS TURBINE INTEGRATION INTO LAUNDRY ENERGY SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN TOFEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BOBÁK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Tofel

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

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

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

Integrace plynové mikroturbíny do energetického systému prádelny

v anglickém jazyce:

Gas Turbine Integration into Laundry Energy System

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude věnovat problematice integrace plynové mikroturbíny Capstone C30 do energetického systému profesní prádelny, která se realizuje v rámci Centra nových technologií pro strojírenství (NETME Centre) při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně jako model energeticky náročného procesu. Diplomant při řešení práce zužitkuje či si rozšíří znalosti v oblasti programování, numerických metod, tvorby bilančních modelů a finanční analýzy.

Cíle diplomové práce:

Seznámit se s procesem profesní údržby prádla se zaměřením na vybavení prádelenského provozu v NETME Centre.

Popsat základní vlastnosti plynové mikroturbíny Capstone C30 a možné způsoby její integrace do energetického systému prádelny, resp. způsoby využití tepla obsaženého ve spalínách a generované elektrické energie.

Na základě dat od výrobce vytvořit matematický model provozních stavů mikroturbíny se sekvenčním výpočtem tak, aby jej bylo možné implementovat do různých aplikací (VBA, Delphi, Java, PHP aj.). Výpočet může být řešen i v matematických softwarech (např. Maple), musejí být ale použity pouze základní aritmetické operace a cykly. Výpočet je vhodné členit na dílčí výpočty (pomocí funkcí/procedur/podprogramů). Vytvořit dokumentaci popisující vlastnosti výpočtu (např. jednotlivé vstupní proměnné a jejich definiční obory atd.).

Vytvořit zjednodušený model (např. pomocí aplikace MS Excel) skládající se z hlavních spotřebičů prádelny a ilustrovat na něm několik scénářů (provozních stavů) vzhledem k různému využití generované elektrické energie a tepla. Jednotlivé scénáře porovnat a zhodnotit pomocí základní finanční analýzy.

Seznam odborné literatury:

GIAMPAOLO, T. Gas turbine handbook: principles and practice. 4th ed. Lilburn ;: Fairmont Press, c2009, xiii, 447 s. ISBN 978-1-4398-0191-8.

KADRNOŽKA, J. Tepelné turbíny a turbokompresory: základy teorie a výpočtů. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 308 s. ISBN 80-7204-346-3.

TRTÍK, J. Uvádění do provozu plynové spalovací turbíny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 57 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph. D.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Bobák

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 15.11.2012

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá možností integrace plynové mikroturbíny do energetického systému prádelny. Popisuje systém profesní údržby prádla a představuje v průmyslové praxi používaná zařízení. Je zpracováno několik možných scénářů provozu a porovnání jejich nákladů na energie.

Klíčová slova

plynová mikroturbína, průmyslová prádelna, profesní údržba prádla, sušení prádla, energetická úspora, doba návratnosti investice

Abstract

This thesis deals with the possibility of the integration of gas microturbine into a laundry energy system. The thesis further describes the system of professional laundry care and used equipment in industrial practice. It presents several possible scenarios of operation and compares their energy costs.

Keywords

gas microturbine, industrial laundry, professional laundry maintenance service, linen drying, energy savings, payback period

Bibliografická citace

TOFEL, J. *Integrace plynové mikroturbíny do energetického systému prádelny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Bobák.

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury a zdrojů.

V Brně dne 12. 5. 2013

.....

Poděkování

Děkuji tímto za připomínky při vedení mé diplomové práce Ing. Petru Bobákovi. Také bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu při studiu vysoké školy.

Obsah

1	ÚVOD	11
2	PROFESNÍ PRÁDELNA - MODEL ENERGETICKY NÁROČNÉHO PROCESU (ENP).....	12
2.1	Kategorizace podle zpracovatelské kapacity.....	12
2.2	Skladba prádla	12
2.3	Průběh procesu profesní údržby prádla (PÚP).....	13
2.3.1	Příjem a třídění.....	13
2.3.2	Praní	13
2.3.3	Sušení	13
2.3.4	Žehlení a zpracování tvarového prádla	13
2.4	Využívaná zařízení a spotřebiče	14
2.4.1	Pračky	14
2.4.2	Sušiče.....	17
2.4.3	Žehliče	18
2.4.4	Tunelový dokončovač	19
2.5	Infrastruktura laboratoře	20
2.5.1	NETME Centre	20
2.5.2	Popis a schéma modelu ENP	20
2.6	Použité spotřebiče.....	22
3	PLYNOVÁ TURBÍNA CAPSTONE C30	24
3.1	Obecně o mikroturbínách	24
3.1.1	Princip.....	24
3.1.2	Dosavadní využití a aplikace	27
3.2	Vlastnosti a parametry mikroturbíny Capstone C30	29
3.3	Ovládání.....	32
3.4	Program pro určení provozních parametrů mikroturbíny podle dat výrobce.....	33
3.4.1	Popis programu turbína	33
3.4.2	Stanovení maximálního elektrického výkonu mikroturbíny a dalších provozních parametrů v daných podmínkách	34
4	VYUŽITÍ PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY V RÁMCI MODELU ENP	38
4.1	Možné scénáře provozu	38
4.1.1	1. scénář.....	39
4.1.2	2. scénář.....	40
4.1.3	3. scénář.....	41
4.1.4	4. scénář.....	42
4.2	Zhodnocení scénářů.....	43
4.3	Návratnost investice	43

4.3.1	Prostá doba návratnosti.....	43
4.3.2	Diskontovaná doba návratnosti	44
5	ZÁVĚR.....	46
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ	47
7	SEZNAM PŘÍLOH	49

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

symbol	popis	jednotka
CBW	continuous batch washer / kontinuální bubnová pračka	-
COD	compact dryer / kompaktní bubnová sušička	-
CF	cash flow	Kč
CNG	compressed natural gas / stlačený zemní plyn	-
DCF	diskontovaný cash flow	Kč
DF	diskontní faktor	%
DN	doba návratnosti	rok
E	elektrical / elektrický (např. ohřev)	-
ENP	energeticky náročný proces	-
G	gas / plyn, plynový (např. ohřev)	-
IN	investiční náklady	Kč
IPR	ironing press / žehlicí lis	-
IRO	ironer / žehlič	-
k	koeficient nadmořské výšky	-
KDCF	kumulovaný diskontní cash flow	Kč
LPG	liquefied petroleum gas / zkapalněný ropný plyn (propan-butan)	-
MT	mikroturbína	-
NTL	nízkotlaká (např. pára)	-
OZE	obnovitelné zdroje energie	-
P	výkon	kW
P_T	ideální výkon při dané teplotě	kW
PC	personal computer / osobní počítač	-
PÚP	profesní údržba prádla	-
RU	roční úspora	Kč

S	steam / pára, parní (např. ohřev)	-
STL	středotlaká (např. pára)	-
SW	software	-
TUR	turbine / turbína	-
VTL	vysokotlaká (např. pára)	-
WEX	washer extractor / vsádková pračka	-
X	korekce dle tlaku paliva	kW
φ	relativní vlhkost	%

1 ÚVOD

Praní a údržba prádla prošly za posledních 100 let obrovským vývojem. Doba postoupila od ručního praní prádla v potocích a na valchách k situaci, kdy má prakticky každá domácnost automatickou pračku. Přesto však existují velké průmyslové prádelny. Jejich klientelu tvoří především hotely, restaurace, školy a zdravotnická zařízení. Tyto subjekty již ve většině případů upustily od modelu, kdy provozují menší prádelny pro svou vlastní potřebu, ale využívají služeb velkých průmyslových prádelen. Ty dnes zajišťují kompletní servis od svozu, vlastního čištění, oprav až po rozvoz prádla zpět k zákazníkům. Největší zařízení disponují zpracovatelskou kapacitou až 20 tun prádla denně.

Podstatnou složku nákladů průmyslových prádelen tvoří výdaje za energie. Dílčí procesy údržby prádla jako je praní, sušení a žehlení, jsou značně energeticky náročné. Proto je snaha tyto náklady různými cestami snížit. Zdánlivě nevýznamná úspora může při takto velkých spotřebách představovat značný finanční přínos. Na energetické úspory lze také nahlížet z pohledu ekologie a ochrany životního prostředí. Z těchto důvodů vznikl ve spolupráci NETME Centre, divize energetiky, procesů a ekologie s Ústavem procesního a ekologického inženýrství, Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně projekt laboratoře energeticky náročných procesů (ENP). Laboratoř je plnohodnotně zařízení prádelna s denní kapacitou 500 kg prádla, vybavená velkým množstvím měřicích zařízení pro sledování různých veličin. Slouží především k získávání nových poznatků z procesu profesní údržby prádla (PÚP) a jejich převedení do praxe.

Jedním z prvních návrhů, se kterým bylo počítáno již při budování laboratoře, je využití plynové mikroturbíny v energetickém systému prádelny. Hlavní myšlenkou tohoto záměru je využití spalín jdoucích z mikroturbíny pro sušení prádla a současně výroba elektrické energie, která se využije pro vlastní spotřebu nebo bude případně prodávána do rozvodné sítě. Finanční úsporu přináší právě společná výroba elektrické energie spolu s teplem, tzv. kogenerace. Plynová mikroturbína má sama o sobě poměrně krátkou historii, první komerčně využitelné zařízení tohoto typu spatřilo světlo světa teprve v roce 1998 v USA. Právě ve Spojených státech amerických můžeme nalézt největší množství praktických aplikací a do Evropy, potažmo do České republiky se tato technologie dostává jen velmi pozvolna. Je tedy téměř jisté, že způsob aplikace navržený v laboratoři NETME Centre je jedinečný a do budoucna se ukáže, zda bude i úspěšný a v průmyslové praxi využitelný.

2 PROFESNÍ PRÁDELNA - MODEL ENERGETICKY NÁROČNÉHO PROCESU (ENP)

2.1 Kategorizace podle zpracovatelské kapacity

Zpracovatelská kapacita průmyslových prádelen se pohybuje v rozsahu několika set kilogramů až po desítky tun prádla denně. Pro představu kapacita největších provozů v České republice přesahuje 20 tun prádla denně. Zpracovatelské kapacitě je přizpůsobeno technologické vybavení konkrétního provozu, kdy prádelny s nízkou denní kapacitou nebudou využívat drahých kontinuálních praček (viz v dalších kapitolách) a naopak velkokapacitní prádelny budou jen stěží fungovat s jednoduchými bubnovými vsádkovými pračkami.

Provozy se dělí podle kapacity na [9]:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| • pradelny | - do 500 kg prádla za směnu, |
| • průmyslové prádelny střední | - 500 kg až 5 tun prádla za směnu, |
| • průmyslové prádelny velké | - nad 5 tun prádla za směnu. |

2.2 Skladba prádla

Prádlo je možné rozdělit z několika hledisek. Pro závěrečný způsob úpravy je důležité dělení do následujících kategorií na:

- rovné prádlo (ubrusy, povlečení, prostěradla),
- tvarové prádlo (košile, pláště, kalhoty, jiné pracovní oblečení),
- froté prádlo (osušky, ručníky, župany).

Další rozdělení zohledňuje původ prádla podle zákazníka. Následují příklady nejběžnějších zákazníků, pro každého z nich je charakteristické znečištění prádla:

- hotely,
- nemocnice,
- stravovací zařízení,
- vojenská kasárna.

V praxi je pro určení správného technologického postupu při pracím procesu důležité rozdělení prádla podle následujícího schématu, kdy se dělí:

- podle materiálu,
- podle barvy,
- podle gramáže,
- podle druhu a míry znečištění,
- prádlo biologicky kontaminované (infekční prádlo).

2.3 Průběh procesu profesní údržby prádla (PÚP)

2.3.1 Příjem a třídění

Po dopravení prádla od zákazníka do provozovny prádelny vstupuje prádlo do tzv. špinavé zóny a je z přepravních vaků přemístěno do vozíků. Následně je tříděno podle typu, hmotnosti nebo míry znečištění. V případě infekčně znečištěného prádla může třídění probíhat až po vyprání. Celý proces PÚP ukazuje obr. 1. [4], [5]

2.3.2 Praní

Pro zajištění rovnoměrného, ekologického a ekonomického provozu je důležité správné dávkování prádla. Spolu s dávkováním prací chemie jej zajišťuje vyškolená obsluha. Při nerovnoměrném dávkování prádla narůstají provozní náklady. Menší objemy a silně znečištěné prádlo jsou prány ve vsádkových pračkách, ostatní prádlo jde pomocí dopravníku do kontinuální bubnové pračky.

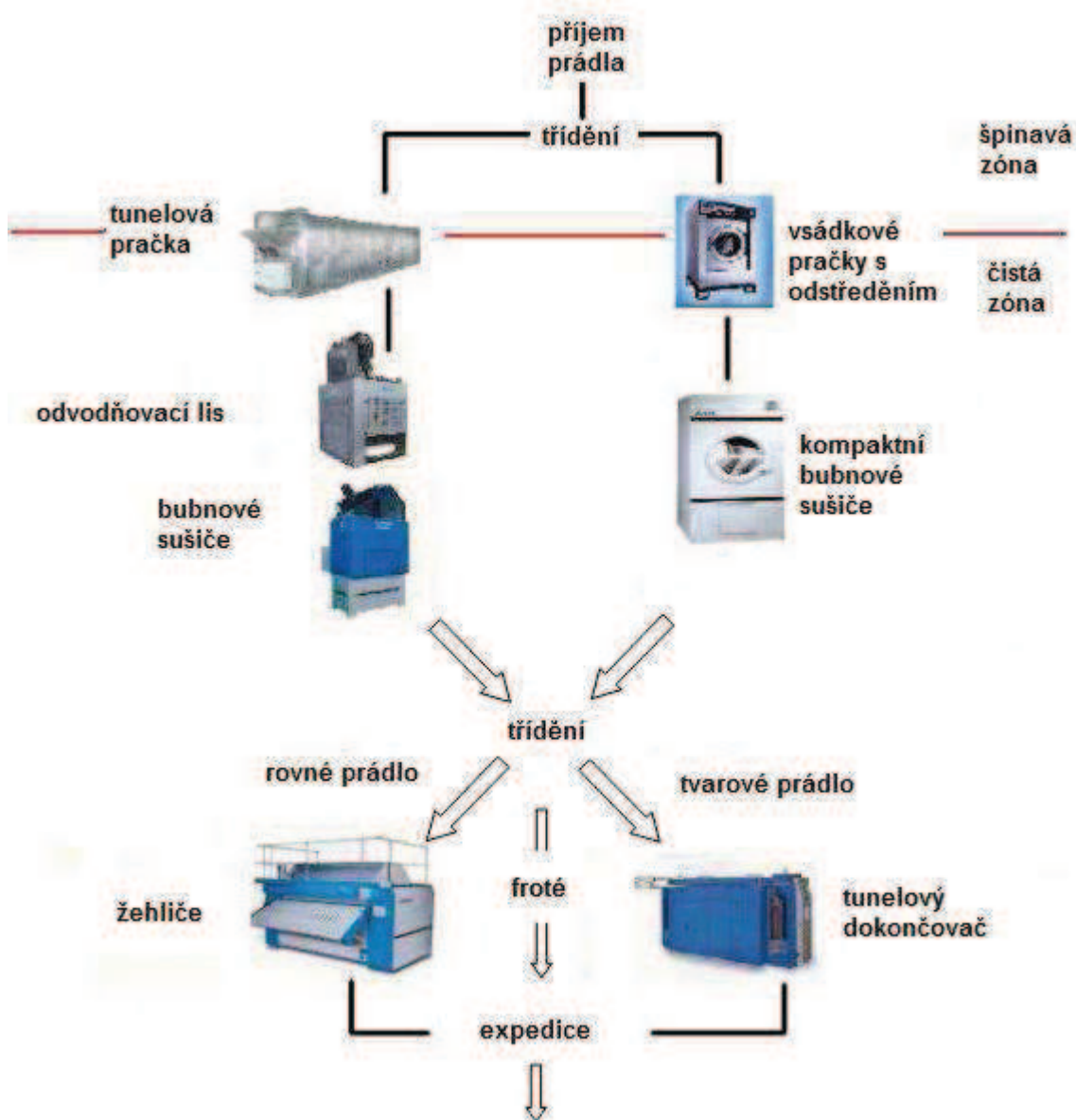
Vyprazdňování praček probíhá již v tzv. čisté zóně. Vsádkové pračky jsou vyprazdňovány ručně, kontinuální po odvodnění v lisu nebo v odstředivce automaticky. [4], [5]

2.3.3 Sušení

Z kontinuálních praček putuje prádlo pomocí dopravníku do sušiče, ze vsádkových praček znovu manuálně do bubnových sušiček. Tvarové prádlo by po procesu sušení mělo dosahovat relativní vlhkosti okolo 5 %, prádlo určené pro další zpracování na kalandru je přípustná relativní vlhkost až 45 %. Do těchto kategorií se také po procesu sušení prádlo třídí. Froté materiály se suší do sucha, následně jsou poskládány a poslány přímo na zabalení a expedici. [4], [5], [12]

2.3.4 Žehlení a zpracování tvarového prádla

Rovné prádlo se zpracovává na žehličích, tvarové prádlo v tunelovém dokončovači, na ručních žehlicích setech nebo se používají napařovací figuríny. Po těchto operacích následuje již jen složení, zabalení a expedice.



Obr. 1: Schéma procesu profesní údržby prádla

2.4 Využívaná zařízení a spotřebiče

2.4.1 Pračky

Pro volbu typu pracího zařízení je rozhodující kapacita provozu. Dva základní typy průmyslových praček jsou popsány níže.

Vsádkové bubnové pračky

Vsádkové pračky se využívají pro menší objemy prádla do cca 120 kg, opakované praní silně znečištěného prádla, praní textilií se zapuštěnými barvami a pro praní oděvů vysoké kvality. Využití také nacházejí při praní infikovaného prádla např. ze zdravotnických zařízení a praní prádla z čistých provozů (laboratoře). Citlivé prádlo jako vlněné přikrývky, záclony nebo také matrace je dokonce možné prát pouze ve vsádkových pračkách.

Vsádkové bubnové pračky se mohou konstrukčně lišit podle umístění plnicího otvoru (horní x boční plnění) nebo sklonu osy bubnu. Ve většině případů jsou ručně plněny a vyprazdňovány.

Po naplnění a uzavření pračky je náplň zvážena, otevře se přívod vody a do bubnu je napuštěno potřebné množství vody. Spotřeba vody se u vsádkových bubnových praček pohybuje okolo 13 l vody na 1 kg suchého prádla. Voda s sebou strhává detergent ze zásobníku. K ohřevu vody se využívá páry nebo elektrické energie.

První fáze, předepírání, trvá přibližně 10-12 minut, teplota lázně se pohybuje okolo 40 °C a je dávkováno až 70 % z celkového množství detergentů. Dochází k odstranění největších nečistot, a proto také odcházející voda jde na kanál a ne k recyklaci.

Druhá fáze hlavního praní trvá 10-15 minut podle teploty praní, teplota dosahuje až 90 °C a do bubnu jdou spolu s vodou zbývající detergenty. Odpadní voda jde obvykle bez užítu do kanalizace.

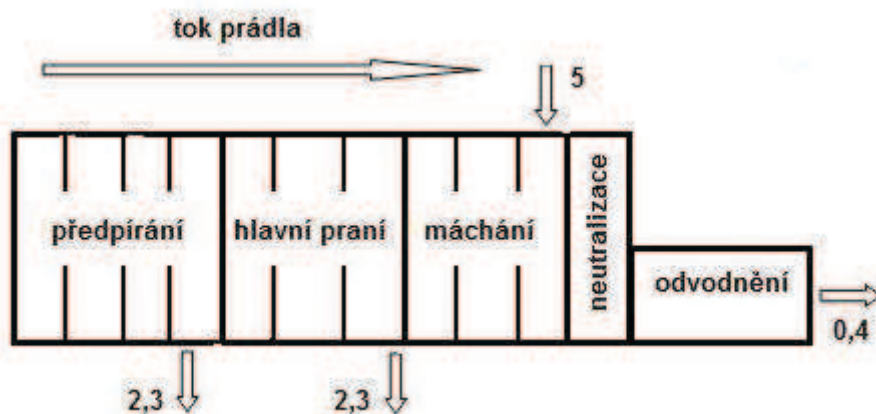
Při máchání jsou odstraňovány zbytky špíny a detergentů. Teplota lázně je maximálně 60 °C a odpadní voda je vhodná k recyklaci.

Na závěr celého procesu dochází k odstředování, kdy je mechanicky odstraněna část vlhkosti z prádla. Obsah vody v prádle po odstředění závisí na typu textilie, druhu bubnu, počtu otáček, teplotě prádla a době odstředování. [5], [12]

Kontinuální bubnové pračky

Kontinuální bubnové pračky (obr. 2) se využívají v profesionálních prádelenských provozech. Pracují s mnohonásobně větším objemem prádla než pračky vsádkové. Každé z těchto zařízení je vyráběno na míru pro konkrétního zákazníka, a tak lze jen obecně popsat základní schéma.

Pračku tvoří v podstatě několik za sebou zařazených perforovaných bubnů, které rozdělují zařízení na sekce, ve kterých při postupu prádla probíhají dílčí úkony. Dávkování vody a pracích prostředků může probíhat podle potřeby v jakékoliv části. Schéma kontinuální pračky se zjednodušeně naznačenými vstupy a odvody vody udaných v litrech na 1 kg suchého prádla je zobrazeno na obr. 3. Voda proudí skrze celou pračku, v jednotlivých sekcích může postupovat buď ve směru pohybu prádla, nebo i protiproudem. Právě spotřeba vody patří k přednostem kontinuálních praček, pohybuje se okolo 5 l vody na 1 kg suchého prádla. Buben provádí pouze kývavý pohyb kolem své osy, o 360° se otočí pouze jednou za určitý čas, a prádlo tak přepadne do další komory. Tento časový interval bývá označován jako takt a trvá od 100 do 180 sekund. Na konci kontinuální bubnové pračky bývá lis nebo centrifuga (odstředivka), které slouží k odvodnění prádla. [4], [5], [6], [12]



Obr. 3: Schéma kontinuální bubnové pračky
(čísla udávají v litrech spotřebu vody na 1 kg suchého prádla)

Předpírání

V první fázi se namáčí prádlo a dávkuje prací chemie. Je odstraněno až 95 % nečistot a voda použitá pro předpírání se tak z tohoto důvodu musí vypustit přímo do kanalizace. Teplota vody se většinou pohybuje okolo 15 °C.

Hlavní praní

Během hlavního praní dochází k odstranění zbytků nečistot, prádlo je případně běleno a desinfikováno. Voda se znovu vypouští přímo na kanál z důvodu možného obsahu infekčních látek. V této části pračky jsou nejvyšší teploty, až 95 °C.

Máchání

Při máchání se snižuje koncentrace detergentů a teplota lázně klesá ke 35 °C. Uvolňují se poslední zbytky nečistot, je možné přidat aviváže a jiné dokončovací chemie. Voda z máchání je odváděna neutralizací a recyklací.

Odvodňování

Odvodňování probíhá pomocí odstředivky nebo mechanického lisu, kdy vznikne slisování prádla tzv. „koláč“, nebo pomocí odstředivky. Vlhkost prádla se tím sníží na 45 až 55 %. Voda se rovněž používá k recyklaci.



Obr. 2: Ukázka kontinuální bubnové pračky [23]

Výhody kontinuálních bubnových praček jsou:

- vysoká produktivita – až 6 tun prádla za hodinu,
- velice nízká spotřeba vody – 5 litrů na jeden kilogram suchého prádla,
- nenáročnost na obsluhu v průběhu praní.

Nevýhody kontinuálních bubnových praček jsou:

- vysoké pořizovací náklady,
- nutnost rovnoměrného dávkování prádla z důvodů efektivity,
- požadavky na kvalitu vody.

2.4.2 Sušiče

Po mechanickém odvodnění prádla, které probíhá v lisu nebo odstředivce, je nutné odpařit zbývající vlhkost. Děje se tak pomocí bubnových sušičů (obr. 4).



Obr. 4: Ukázky bubnových sušičů [6]

Dělení sušičů

Sušiče lze rozdělit do několika kategorií:

- podle způsobu dávkování na:
 - kompaktní sušiče – slouží pro prádlo prané v jednotlivých pračkách, plnění a vyprazdňování probíhá ručně,
 - sušiče dávek – využití pro dávky prané v kontinuálních pračkách, plnění a vyprazdňování probíhá automaticky,
- podle způsobu plnění na:
 - plnění pomocí pásového podavače,
 - vakuově plnění,
 - plnění násypkou z pytlů,
- podle způsobu proudění vzduchu na:
 - radiální – sušicí médium proudí kolmo k ose rotace bubnu,
 - axiální – sušicí médium proudí ve směru osy rotace bubnu.

Sušiče lze také rozdělit dle způsobu vyprazdňování, na vyprazdňované vyklápěním, vyprazdňované proudem vzduchu (vyfukováním) a vyprazdňované pomocí žeber. [4], [5], [12]

Ohřev sušičů

Sušicím médiem je vzduch. Jeho teplota se pohybuje v rozmezí 150 a 180 °C podle typu prádla. [4] Podle způsobu ohřevu vzduchu lze pak sušiče rozdělit do následujících kategorií:

- s elektrickým ohřevem – využívají se jen pro sušičky s menší kapacitou maximálně do 30 kg prádla,
- s parním ohřevem – vzduch je ohříván na požadovanou teplotu v parním výměníku,
- s plynovým ohřevem – jako palivo slouží zemní plyn, který je spalován buď na hořácích s větrákem, nebo nově také na atmosférických plošných hořácích.

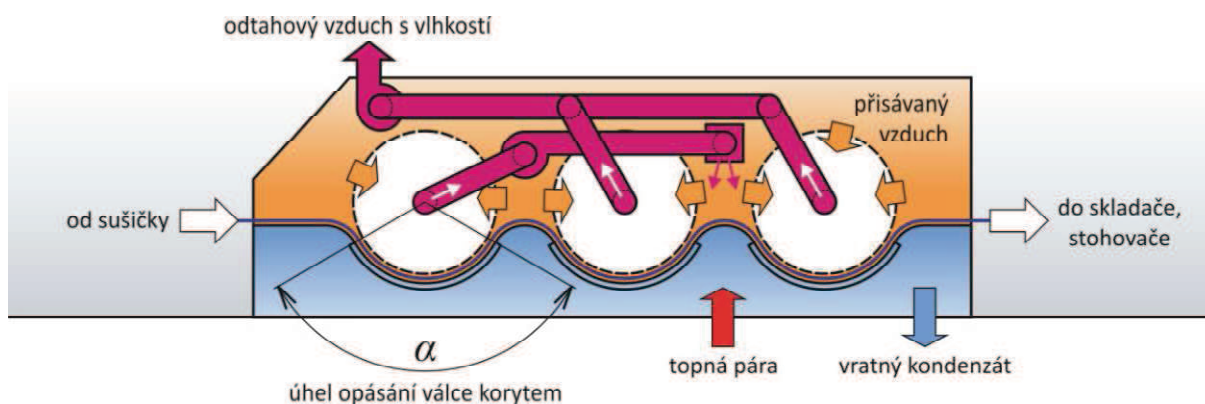
2.4.3 Žehliče

Žehliče se dělí podle konstrukce na válcové, označované jako mandly, a korytové označované jako kalandry. Tato zařízení slouží k finální úpravě prádla a současně ke zbavení prádla zbývajících vlhkosti.

Průmyslové mandly se skládají z jednoho nebo více válců. Ty jsou vyhřívány parou, zemním plynem nebo elektricky. Žehlené prádlo se vkládá mezi válec a topnou plochu nebo případně mezi dva protiběžné válce. Dochází tak rovnoměrnému žehlení. Na menších jednoválcových mandlech s topným ramenem lze žehlit také tvarové prádlo.

V kalandrech prádlo prochází mezi parou nebo plynem vytápěnou plochou koryta a podle zpracovatelské kapacity 1 až 3 válci zařazenými za sebou (obr. 5). Válce jsou opatřeny tzv. nábalý, které mají za účel vyrovnávat nerovnosti žehlené plochy a dokonalým utěsněním vytvářet požadované klima. Při kontaktu mezi korytem a prádlem dochází k přenosu tepla, prádlo je ohříváno, a odpařená voda je z prostoru kalandru odsávána společně s přisávaným vzduchem. Používají se pro

prádlo pravidelného tvaru jako je povlečení peřin a polštářů, ubrusy a další. Pro zvýšení produktivity bývá před kalandr často zařazen podavač a za kalandr skladače a stohovače prádla. Pro regulaci žehlení se kromě změny teploty využívá také změna rychlosti posuvu prádla v kalandru, tzv. kalandrovací rychlost. [4], [5]



Obr. 5: Schéma kalandru [4]

2.4.4 Tunelový dokončovač

Pro zpracování tvarového prádla slouží tunelový dokončovač (obr. 6.). Prádlo v něm prochází parní komorou, kde je připraveno pro další žehlení. V druhé komoře je proudem horkého vzduchu prádlo vyrovnáno. [6]



Obr. 6: Ukázka tunelového dokončovače [6]

2.5 Infrastruktura laboratoře

2.5.1 NETME Centre

V roce 2010 byl zahájen projekt výstavby NETME Centre, celým názvem New Technologies for Mechanical Engineering (Centrum nových technologií pro strojírenství), jako regionálního výzkumného a vývojového centra. Myšlenka projektu je založena na provázanosti centra s Fakultou strojního inženýrství VUT v Brně a dává si za cíl maximální spolupráci z aplikační sférou, rozvoj znalostí a posílení konkurenceschopnosti regionu.

Výzkumné centru je rozděleno na pět divizí:

- divize energetiky, procesů a ekologie,
- divize letecké a automobilní techniky,
- divize mechatroniky,
- divize virtuálního navrhování a zkušebnictví,
- divize progresivních kovových materiálů.

Laboratoř, kde je umístěn model energeticky náročného procesu, spadá pod divizi energetiky, procesů a ekologie.

Na projekt byly získány finanční prostředky z fondů EU a část financí byla poskytnuta také MŠMT. Celkové náklady dosáhly částky 768 mil. Kč. Budovy NETME Centra byly strategicky umístěny do těsné blízkosti Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, na ulici Technické. Oficiální datum ukončení projektu bylo stanoveno na leden 2014. Od ledna roku 2012 jsou však postupně otevírány již dokončené prostory. [8]

2.5.2 Popis a schéma modelu ENP

Model ENP je umístěn v budově D5 - NETME Centre v laboratoři č. 107. Model ENP je de facto plnohodnotnou prádelnou s kapacitou 500 kg prádla za směnu. Umožňuje provádění náročných experimentů, sběr provozních dat, optimalizaci procesu a ověření funkčnosti navržených opatření. Dispozice laboratoře je ukázána na obr. 8. Je vybavena systémem měření a archivace provozních dat. Zaznamenávány jsou například veličiny, jako je:

- hmotnost prádla, hmotnost strojů se vsádkou,
- průtok STL a NTL páry,
- průtok měkké, tvrdé a recyklované vody,
- průtok vzdušin,
- teplota a tlak provozních médií,
- deformace na vybraných místech konstrukce strojů,
- spotřeba zemního plynu,
- relativní vlhkost vzdušin.

Pro provoz spotřebičů v laboratoři bylo nutné instalovat celé množství přípojek a odvodů provozních a odpadních médií. Veškerý jejich přehled a specifikace jsou uvedeny níže.

Vstupy

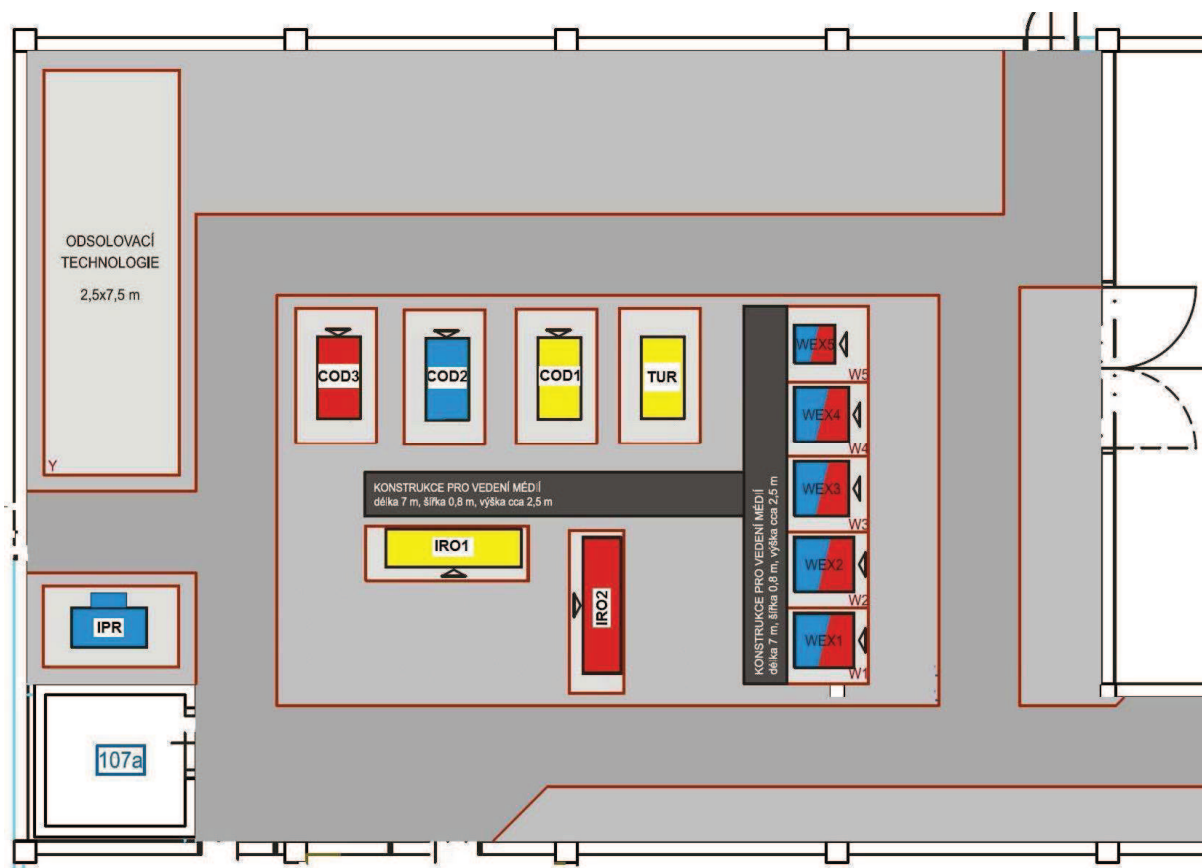
- pára – k dispozici je sdílený parní kotel o jmenovitém výkonu 1000 kg syté páry při tlaku 13 bar(g) za hodinu. Využitím parního akumulátoru je umožněn kontinuální odběr páry v rozsahu 50÷1000 kg/h. V laboratoři je pára dostupná na dvou tlakových úrovních. Na STL úrovni 3÷8 bar(g) a na NTL úrovni 0,3÷1 bar(g),
- sušicí médium – v laboratoři je umístěna plynová mikroturbína (TUR) sloužící jako generátor sušicího média (do 60 kW_t) a elektrické energie (do 28 kW_e),
- elektrická energie – jsou k dispozici 3 elektrické přípojky 230/380 V s celkovou rezervovanou kapacitou 140 kW,
- zemní plyn – je k dispozici NTL přípojka zemního plynu (3 kPa) s kapacitou cca 50 m³/h,
- pitná voda – vodovodní přípojka je v dimenzi 6/4“ (DN40) s rezervovanou spotřebou cca 5,5 m³/h (při 8 h/den). K dispozici je vlastní úprava vody (katex) s kapacitou až 7,5 m³/h,
- tlakový vzduch.

Výstupy

- na kanalizační síť – možnost využít jímku pro recyklaci vody,
- na odtahy technologické vzduchotechniky,
- na odtahy spalin do komínů.

2.6 Použité spotřebiče

Rozmístění spotřebičů v laboratoři je zobrazeno na obr. 7.



Obr. 7: Dispozice laboratoře ENP

Hlavní komponenty (spotřebiče) modelu ENP jsou:

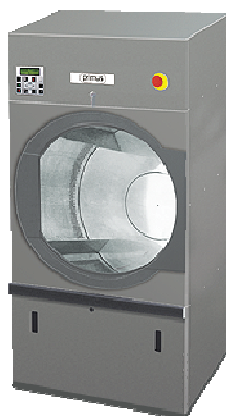
- **Pračky** (obr. 8)
 - 5 vsádkových bubnových průmyslových praček značky Primus řady FX s kombinovaným elektrickým a parním ohřevem:
 - 2 ks s kapacitou bubnu 24 kg - WEX 1, 2 – FX 240 (E+S),
 - 2 ks s kapacitou bubnu 18 kg - WEX 3, 4 – FX 180 (E+S),
 - 1 ks s kapacitou bubnu 8 kg - WEX 5 – FX 80 (E+S).



Obr. 8: Pračka Primus FX 240 [21]

- **Sušiče** (obr. 9)

- vsádkové kompaktní průmyslové sušiče značky Primus řady T:
 - o 2 ks s kapacitou bubnu 24 kg - COD 1 – T24 (G),
- COD 2 – T24 (S),
 - o 1 ks s kapacitou bubnu 16 kg - COD 3 – T16 (E).



Obr. 9: Sušič Primus T 24 [21]

- **Žehliče** (obr. 10)

- 2 ks válcové žehliče (mandly) - IRO 1 - I33-200 (G),
- IRO 2 - I33-200 (E).



Obr. 10: Válcový žehlič Primus I33-200 [21]

- **Prádelenský (žehlicí) lis**

- 1 ks žehlicí lis IPR (S).

Označení v závorce za jednotlivými spotřebiči značí způsob ohřevu, kdy:

- E – elektrický ohřev (electric),
- S – parní ohřev (steam),
- G – plynový ohřev (gas).

3 PLYNOVÁ TURBÍNA CAPSTONE C30

3.1 Obecně o mikroturbínách

V dnešní době pracují kogenerační jednotky s klasickými pohony – spalovacími pístovými motory, plynovými turbínami, případně Stirlingovým motorem. Upřednostňuje se především výroba elektřiny a až poté výroba tepla. Se vzrůstající energetickou náročností lidské společnosti a s tím spojenými negativními dopady na životní prostředí, v souladu s hledáním nových energetických zdrojů a nízkoemisních technologií se hledá rovněž ekologické uplatnění „alternativních“ paliv, které by bylo možné spalovat v jiných nových zařízeních jinými, novými technologickými postupy. Alternativním přístupem pro lepší využití OZE je použití mikroturbíny, která pracuje jak s klasickými palivy (např. zemní plyn), tak může využívat a s úspěchem využívá i paliva alternativní, např. bioplyn, skládkový plyn, degazační plyn apod. [10], [17]

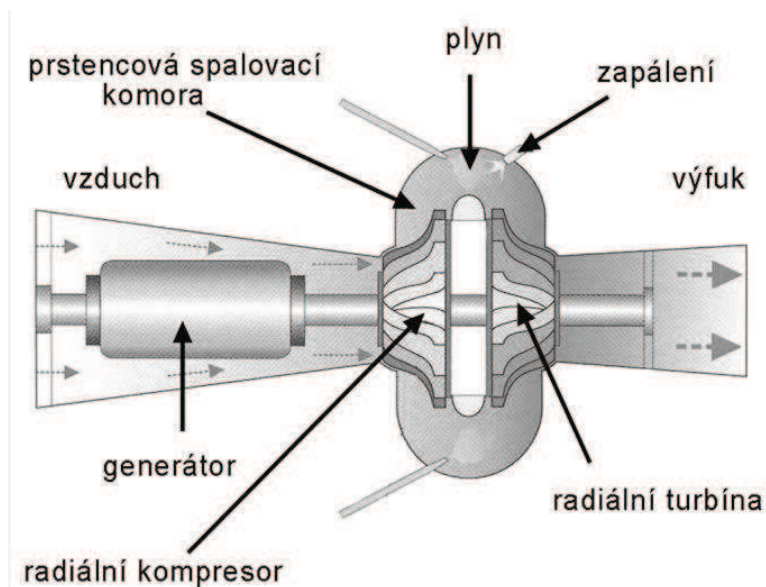
Spalovací turbína, někdy také označovaná jako plynová turbína, je tepelný stroj, jenž je poháněn spaliny vzniklými spalováním paliva ve spalovací komoře. To je spalováno za pomoci kompresorem stlačeného vzduchu. Spaliny při průchodu přes lopatky turbíny předávají část své kinetické energie a pohání tak např. generátor elektrické energie. [1], [2]

Počátky plynových mikroturbín patří do roku 1990, kdy na MIT v Bostonu profesor Alan H. Epstein představil myšlenku zařízení schopného zajišťovat výrobu elektrické energie a tepla pro menší energeticky nezávislé celky.

Po osmi letech, během kterých se musely vyřešit problémy například s odvodem tepla a vysokorychlostními ložisky, byla v roce 1998 představena první komerčně a hlavně prakticky využitelná mikroturbína.

3.1.1 Princip

Nejdříve je startérem roztočeno soustrojí. Do spalovací komory je po roztočení kompresoru stlačován vzduch a současně je pod tlakem přiváděno i palivo. Výbušná směs paliva a vzduchu je jednorázově elektricky zapálena. Hořením se zvyšuje objem a dochází k expanzi přes oběžné kolo turbíny. Po velmi krátkém čase je hoření stabilizováno. Expandující spaliny roztáčí oběžné kolo turbíny. Přidáváním paliva (plynu) se zvyšují otáčky a generátor vyrábí elektřinu. Elektronický řídicí systém připojuje generátor k rozvodné síti. Celý proces probíhá zcela automaticky.



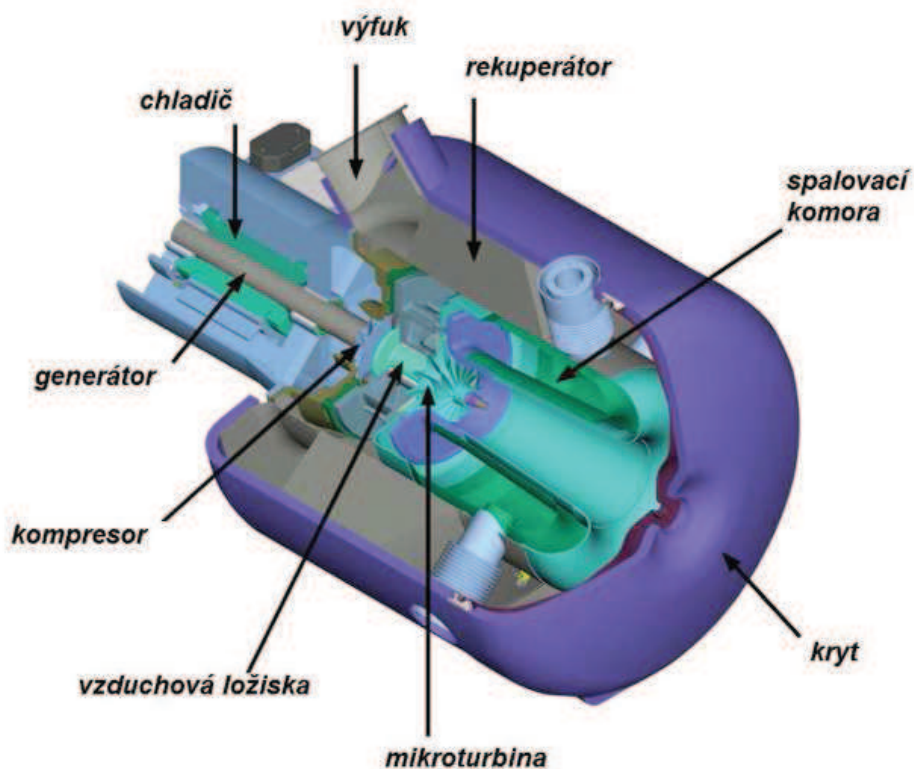
Obr. 11: Proudění v soustrojí mikroturbíny [10]

Mikroturbíny (obr. 11) představují zcela novou generaci spalovacích turbín. Používají vysokorychlostní generátory, které vydrží vysoké otáčky pro turbínu charakteristické. Proto není potřebná převodovka, to znamená, že odpadá nutnost průběžných kontrol stavu oleje, jeho doplňování i výměna. Díky absenci převodovky a nízké váze generátoru je celé soustrojí značně menší a lehčí. Proto je možné umístění těchto zařízení např. do vyšších podlaží budov a případně i pro mobilní použití.

Mikroturbína se skládá z vlastního turbínového soustrojí, magnetického generátoru, pokročilé výkonové elektroniky a vzduchových ložisek. Mikroturbína může spalovat různá plynná (CNG, LPG) a kapalná paliva (nafta, petrolej) a rovněž odpadní plyny – bioplyny, skládkový plyn, plyn z čističek odpadních vod.

Části mikroturbíny jsou popsány na obr. 12. Jedná se o jednohřídelový systém, jehož mechanický princip je stejný jako u spalovacích turbín, avšak mikroturbína Capstone je již novější generací turbín jak ve smyslu aplikačním, tak výrobním. Hlavní rozdíl je v konstrukci samotné mikroturbíny. Soustrojí mikroturbíny má jediný pohyblivý díl – není zde převodovka mezi hřídelí turbíny a generátorem, protože rotory rychloběžných generátorů snáší i vysoké otáčky (v tomto případě až 90 000 ot/min, oproti generátorům pomaloběžným – 20 000 ot/min), čímž se provoz zjednodušuje. Na jedné hřídeli je kompresor spalovacího vzduchu, mikroturbína a generátor. Soustrojí má vzduchová ložiska. Ta vydrží vysoké otáčky (až 120 000 ot/min), odpadá tím také mazání a olejové hospodářství. [1], [2], [18]

Zařízení vyžaduje minimální údržbu, teprve po 4000 hodinách provozu je nutné vyčistit vzduchové filtry a generální oprava se musí provést nejdříve po 20 tisících hodinách. Ve většině případů instalací tato doba může být až 80 tisíc hodin. Mechanická jednoduchost mikroturbíny je velkou výhodou oproti klasickým spalovacím motorům v kogeneračních jednotkách, které mají více jak stovku pohyblivých dílů, olejové hospodářství a náročnou údržbu a servis. [10], [17], [18]



Obr. 12: Soustrojí mikroturbíny [10]

Účinnost soustrojí mikroturbíny se zvyšuje zavedením rekuperace tepla. Teplo vzniklých spalin je využito pro předehřev spalovacího vzduchu ve výměníku tepla. Dál může být toto teplo spalin použito ve výměníku na ohřev topné vody pro vytápění objektů, vytápění skleníků, realizaci sušících pochodů, pro ohřev užitkové vody, pro transformaci na jiný druh energie, např. chladu nebo elektřiny. [1], [2], [10]

3.1.2 Dosavadní využití a aplikace

Česká republika

V roce 2002 bylo nainstalováno první zařízení tohoto typu v ČR v budově bývalé výměňkové stanice v Českém Brodě. Konkrétně mikroturbína Capstone C30 slouží k vytápění sídliště (obr. 13). Kogenerační jednotka spaluje zemní plyn. V budově jsou dva zásobníky teplé užitkové vody. Kogenerační jednotka je připojena k elektrické rozvodné síti a dodává 30 kW_e do sítě. Do horkovodní soustavy dodává vodu z dvou zásobníků, soustava je provozována s teplotním spádem 80/60 °C. [10]



Obr. 13: Kogenerační jednotka s přilehlým sídlištěm v Českém Brodě [10]

Druhým zařízením v ČR je totožný typ od výrobce Capstone umístěný v roce 2008 v laboratořích Katedry tepelné techniky VŠB–TU Ostrava. [10]

V roce 2012 byla instalována plynová mikroturbína Capstone C200 ve společnosti Safina, a. s., ve Vestci u Prahy. Společnost se zabývá zpracováním a výrobou produktů z drahých a neželezných kovů. Toto zařízení disponuje elektrickým výkonem 200 kW a tepelným přibližně 250 kW. Slouží však především k pokrytí spotřeby elektrické energie ve špičkových časech. [10]

Ústřední čistička odpadních vod v Praze Holešovicích využívá mikroturbínu namísto klasického pístového spalovacího motoru a generátoru pro spalování bioplynu pocházejícího fermentačních procesů. [14]

Podle dostupných zdrojů je tedy zařízení instalované v budově NETME Centre v Brně jedním z prvních v České republice, a má tak velký význam pro získávání provozních dat pro případné další aplikace nejen na našem území.

Zahraniční aplikace

Své první využití našly mikroturbíny jako ostrovní zdroje energie v odlehlých nebo jinak pro rozvody energie těžko dostupných oblastech. Své místo mají na ropných plošinách umístěných uprostřed moře, kde je pro ně dostatek paliva a kde je rovněž velice důležitý spolehlivý a dlouhodobě na údržbu nenáročný provoz.

V roce 2008 byly na skládce komunálního odpadu Jamacha ve Spring Valley v Kalifornii, USA instalovány čtyři mikroturbíny firmy Ingelsoll-Rand o výkonu 70 kW_e. Spalují skládkový plyn o obsahu methanu nižším než 35 % (obr.14). [18]



Obr. 14: Mikroturbíny na skládce komunálního odpadu v Kalifornii [18]

Velký rozmach lze zaznamenat v oblasti pohonů dopravních prostředků. Automobilové společnosti se zajímají o mikroturbíny jako o zdroj elektrické energie pro nabíjení akumulátorů hybridních vozidel.

Mikroturbíny se v USA, Číně a ve Velké Británii využívají pro pohon hybridních autobusů. V centrech měst využívají autobusy energii z baterií, mimo nejhustší oblasti se při poklesu jejich kapacity nastartují dvě turbíny o výkonu á 65 kW a baterie dobíjí. Pracují s mnohem nižšími emisemi, než naftové motory, protože pracují s konstantními otáčkami v ustáleném režimu. Na rozdíl od nich, naftové motory při neustálém rozjíždění, brždění a popojíždění pracují většinou v přechodovém režimu a produkují tak mnohem vyšší emise.

V roce 2010 představil britský výrobce automobilů na Pařížském autosalonu koncept vozu Jaguar C-X75 (obr. 15). Jedná se o supersportovní automobil poháněný čtyřmi elektromotory o celkovém výkonu 778 koní. Baterie, které pohání elektromotory, jsou dobíjeny pomocí dvou mikroturbín spalujících naftu. Hlavním cílem bylo navrhnout vůz, který bude mít srovnatelné výkonové parametry jako ostatní vozidla této kategorie, avšak při dosažení velice nízkých emisí těsně pod hranicí 100 g CO₂/km. O rok později však automobilka od záměru sériové produkce tohoto vozidla z důvodů ekonomické krize upustila a světlo světa tak spatřilo jen několik kusů. [22]



Obr. 15: Jaguar C-X75 [22]

Světově známý řetězec rychlého občerstvení McDonald zavedl v několika svých provozovnách v Chicagu plynovou mikroturbínu a podle dostupných údajů dosáhl takto měsíční úspory na výdajích za jednu provozovnu za energii až 1500 dolarů (cca 30 000 Kč). [15]

Masivnějšímu využívání mikroturbín stále brání vysoké pořizovací náklady. Pomoci by v budoucnu mohly hromadné dodávky turbín například pro již zmíněné výrobce autobusů a jiných dopravních prostředků. Větší výrobní série napomohou k výrazně nižší pořizovací ceně. Zejména cena mikroturbín je totiž jednou z nevýhod oproti klasickým spalovacím motorům.

Dalším významným faktorem je také účinnost. Již několikrát zmíněný výrobce mikroturbín Capstone však předpokládá v brzké době zvýšení ze současných 25-30 % na hodnoty až okolo 45 %.

3.2 Vlastnosti a parametry mikroturbíny Capstone C30

Pro model energeticky náročného procesu byla zvolena mikroturbína americké společnosti Capstone model C30 (obr. 16) o elektrickém výkonu 30 kW a tepelném výkonu přibližně 90 kW, což je pro tuto aplikaci zcela dostačující, jelikož pro sušič je nutné přivést 33 kW tepelné energie. Základní technické parametry MT Capstone C30 jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 16: Mikroturbína Capstone C30 [18]

elektrický výkon	30 kW
energie ve spalínách	327 MJ/hod
elektrická účinnost	25±2 %
teplota spalin	275 °C
akustické emise při plném výkonu	65 dBA
rozměry	0,76x1,5x1,8 m

Tab. 1: Základní technické parametry Capstone C30 [17], [18]

Tabulka 2 představuje kompletní modelovou řadu společnosti Capstone a přibližuje hlavní technické parametry konkrétních modelů. V červeném rámečku je vyznačen model C30.

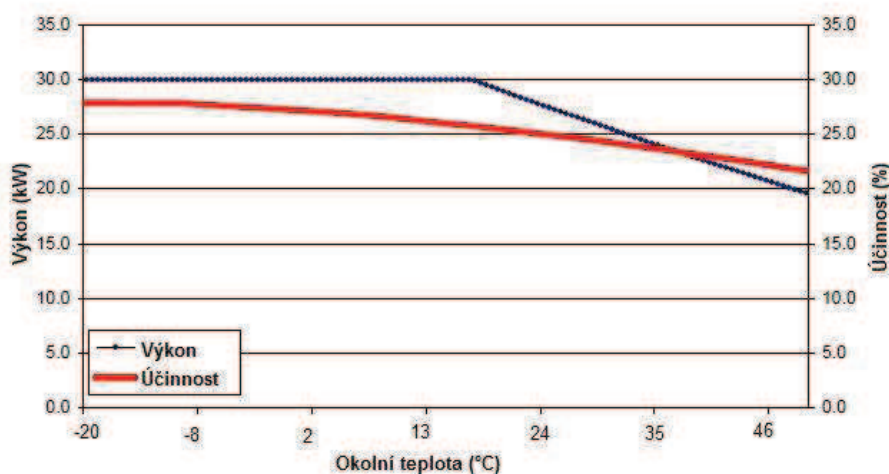
Model	Palivo	Výstupní výkon el. energie	Výstupní výkon teplo	Elektrická účinnost ⁽¹⁾	Spotřeba plynu	Teplota spalin	Čistý tepelný výkon	Rozměry ⁽²⁾ (šířka, hloubka, výška)
		kW	kW	%	kg/s	°C	MJ/kWh	m
Plynná paliva ⁽³⁾								
C30 LP	NG	28	50	25	0,31	275	13,8	0,76 x 1,5 x 1,8
C30HP	NG, P, LG, DG	30	50	26	0,31	275	13,8	0,76 x 1,5 x 1,8
C30 HZLC ⁽⁴⁾	NG	30	50	26	0,32	275	13,8	0,87 x 2,9 x 2,2
C65	NG, P	65	120	29	0,49	309	12,4	0,76 x 1,5 x 1,8
C65 ICHP	NG, P, LG, DG	65	120	29	0,49	309	12,4	0,76 x 2,2 x 2,4
C65 CARB	NG	65	120	28	0,51	311	12,9	0,76 x 2,2 x 2,6
C65 CARB	LG, DG	65	120	29	0,49	309	12,4	0,76 x 2,2 x 2,6
C65 HZLC ⁽⁴⁾	NG	65	120	29	0,50	325	12,9	0,87 x 3,2 x 2,3
C200 LP	NG	190	279	31	1,30	280	11,6	1,7 x 3,8 x 2,5
C200 HP	NG, P, LG, DG	200	241	33	1,30	280	10,9	1,7 x 3,8 x 2,5
C200 HZLC ⁽⁴⁾	NG	200	259	33	1,30	280	10,9	1,9 x 3,2 x 3,1
C600 LP	NG	570	851	31	4,00	280	11,6	2,4 x 9,1 x 2,9
C600HP	NG, P, LG, DG	600	746	33	4,00	280	10,9	2,4 x 9,1 x 2,9
C800 LP	NG	760	1146	31	5,30	280	11,6	2,4 x 9,1 x 2,9
C800 HP	NG, P, LG, DG	800	1007	33	5,30	280	10,9	2,4 x 9,1 x 2,9
C1000 LP	NG	950	1438	31	6,70	280	11,6	2,4 x 9,1 x 2,9
C1000 HP	NG, P, LG, DG	1000	1238	33	6,70	280	10,9	2,4 x 9,1 x 2,9

Tab. 2: Přehled modelové řady mikroturbín Capstone [17]

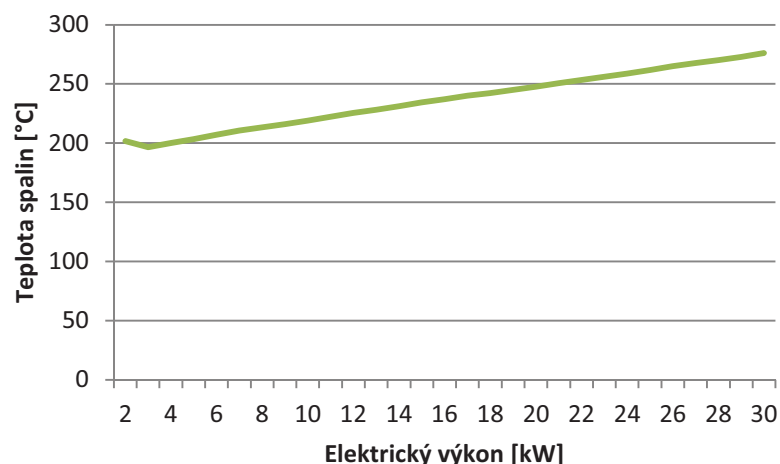
V tabulce 3 jsou představeny vybrané technické parametry mikroturbíny Capstone C30. Hodnoty jednotlivých parametrů jsou stanoveny pro konkrétní atmosférické podmínky (15 °C, 101,325 kPa, $\phi = 60\%$). Hodnoty týkající se tepelného výkonu jsou údaje popisující využitelnou energii MT při zařazení do běžného otopného systému, za výměníkem spaliny/voda, což je většina aplikací těchto jednotek. Graf 1 znázorňuje závislost elektrického výkonu a účinnosti na teplotě okolí, graf 2 závislost teploty spalin na elektrickém výkonu mikroturbíny.

El. výkon	Účinnost	Teplota spalin	Spalinový průtok	Energie spalin
(kW)	(%)	(°C)	(kg/s)	(kW)
2,0	8,8	201,67	0,11	21,89
5,0	15,2	203,33	0,14	28,93
10,0	20,6	218,89	0,18	40,44
15,0	23,2	234,44	0,21	51,87
20,0	24,9	247,78	0,24	63,60
25,0	25,7	261,67	0,28	76,49
30,0	26,0	276,11	0,31	90,85

Tab. 3: Vybrané technické parametry Capstone C30 v SI jednotkách [19]



Graf. 1: Vybrané provozní parametry při různém el. výkonu [19]



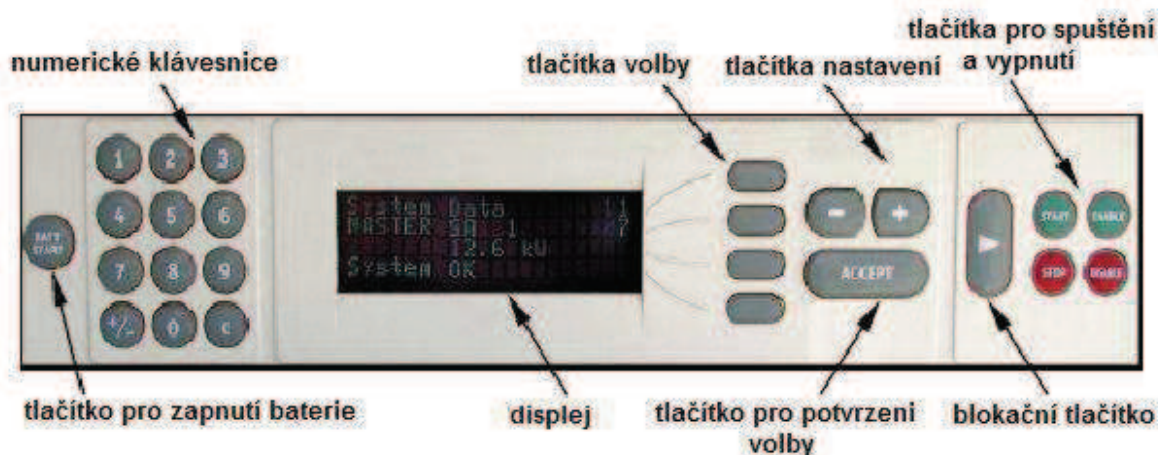
Graf. 2: Závislost teploty spalín na elektrickém výkonu

3.3 Ovládání

Existují dva způsoby komunikace s mikroturbínou a jejího ovládání. První možností je ovládání prostřednictvím panelu umístěného na samotném zařízení (obr. 17) nebo pomocí počítače. Ten může být připojen k uživatelskému rozhraní přímo nebo přes telefonní linku a modem. Pro komunikaci pomocí počítače je možné využít software Capstone Remote Monitoring (CRM) volitelně dodávaný výrobcem. K základnímu nastavení a ovládání však dostačuje ovládací panel a displej na zařízení. [20]

Mezi základní nastavení a řízení patří:

- spuštění a zastavení,
- nastavení výkonu,
- ukládání dat a zobrazení jejich historie,
- nastavení provozních parametrů,
- ovládání funkcí baterie, např. její dobíjení.



Obr. 17: Ovládací panel mikroturbíny Capstone C30 [20]

Displej na ovládacím panelu slouží pro sledování základních provozních parametrů. Jsou to údaje o:

- výstupním výkonu (kW),
- otáčkách (ot/min),
- výstupní teplotě spalín (°C nebo °F),
- fázovém napětí (V) a proudu (A).

Displej ovládacího panelu i připojený počítač můžou současně zobrazovat systémové údaje, ovládání je však možné provádět pouze jedním z nich. Nastartování a vypnutí turbíny je možné z ovládacího panelu bez jakékoliv autorizace, ostatní úkony včetně ovládání pomocí PC vyžadují přístupové heslo.

Spouštění mikroturbíny probíhá buď tlačítkem Start na panelu, nebo vzdáleně z PC. Ještě před tím je však nutné zapnout baterii. Po stisknutí startovacího tlačítka pracuje generátor jako motor a roztočí turbínu na správnou rychlost, při které je do spalovací komory přivedeno a zažehnuto palivo. Energie potřebná k roztočení generátoru je získána z baterie. Když sensory na výstupu z turbíny detekují zvyšující se teplotu, rozsvítí se kontrolka a turbína se roztáčí na plný výkon. Při studeném startu dosahuje doba najetí na plný výkon přibližně dvou minut.

Při vypínání zařízení pomocí tlačítka Stop na panelu, nebo pomocí PC, se postupně výkon snižuje a je odváděno teplo uložené v rekuperátoru. Důvodem je ochrana komponent před rychlým ochlazením. Doba ochlazování může být až deset minut, záleží na teplotě zařízení před vypnutím. Pokud baterie vyžaduje dobíjení, zůstane mikroturbína sama v činnosti, dokud baterie nedosáhne 90–95 % kapacity. [20]

3.4 Program pro určení provozních parametrů mikroturbíny podle dat výrobce

Program turbina byl vytvořen v prostředí MS Visual C++. Jeho úkolem je určit pomocí interpolace z tabulky hodnot dodaných výrobcem turbíny teplotu, hmotnostní průtok spalín a energii ve spalínách při libovolném elektrickém výkonu. Určí také skutečný elektrický výkon turbíny v prostředí laboratoře.

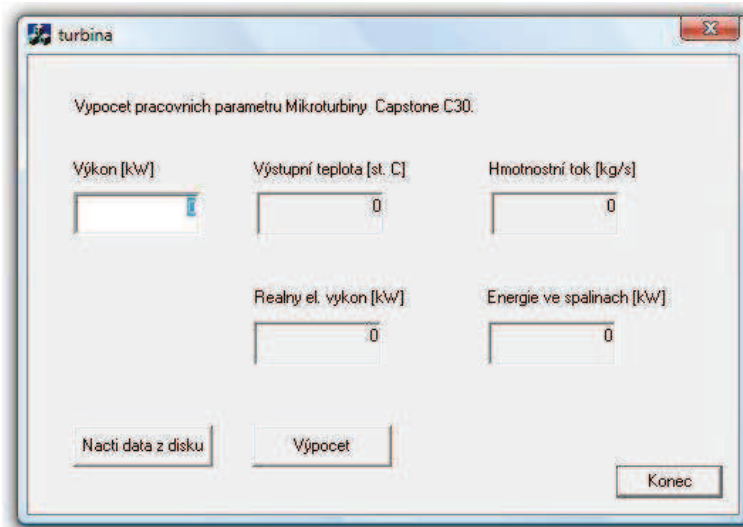
3.4.1 Popis programu turbina

Program načítá vstupní data pomocí tlačítka **Načti data** z externího txt. souboru. V tomto souboru jsou uložena data z tab. 3 jako teplota, průtok a energie spalín. Soubor musí být umístěn ve stejné složce jako program turbina.exe. V opačném případě se na obrazovce objeví upozornění. Poté je možné vepsat do editovatelného okna hodnotu elektrického výkonu, pro který požadujeme dopočet dat. Program provede kontrolu, zda je zadaný výkon v rozsahu parametrů. Pokud není, program zobrazí upozornění.

Samotný výpočet bude proveden pomocí tlačítka **Výpočet**. Vypočtené hodnoty teploty, hmotnostního průtoku spalín a energie ve spalínách jsou dopočteny pomocí lineárních interpolací dat z txt. souboru a následně zobrazeny v příslušných oknech. K dopočtu reálného elektrického výkonu bylo nutné určit korekční koeficienty

zohledňující teplotu okolí, nadmořskou výšku a typ paliva. Kapitola 3.3.2 popisuje podrobný postup při určování právě těchto koeficientů.

Pro ukončení a zavření celého programu slouží tlačítko **Konec**.



Obr. 18: Dialogové okno programu turbina

3.4.2 Stanovení maximálního elektrického výkonu mikroturbíny a dalších provozních parametrů v daných podmínkách

Provozní parametry mikroturbíny udávané výrobcem v příloženém manuálu jsou uváděny pro následující podmínky:

- 15 °C (°F)
- 101,325 kPa (14,696 psia)
- Relativní vlhkost $\phi = 60 \%$

Pro přepočet parametrů na reálné podmínky byl využit technický list dodaný výrobcem k mikroturbíně a program pro výpočet parametrů vytvořený jako součást této práce.

Výpočet

Budova, ve které je turbína umístěna, se nachází v nadmořské výšce 296 m n. m. Teplota v místnosti se bude pohybovat v rozmezí 20 až 24 °C [11]. Spalován bude zemní plyn, který je dodáván při tlaku 3 kPa.

Interpolací hodnot z tabulky 4 byla odečtena hodnota ideálního výkonu **28,7 kW** pro teplotu 22 °C (71,6 °F). Pro zjednodušení následujícího výpočtu je zavedeno označení P_T .

Ambient Temp (F)	Net Power (kW)	Net Efficiency (%)	Exhaust Temp (F)	Exhaust Mass Flow Rate (lbm/s)	Exhaust Energy (Btu/hr)	Fuel Flow Energy (Btu/hr LHV)	Heat Rate (Btu/kWhr LHV)
70	28.8	25.4	538	0.68	308000	387000	13400
71	28.6	25.3	539	0.68	307000	385000	13500
72	28.4	25.3	539	0.67	306000	383000	13500
73	28.2	25.2	540	0.67	305000	382000	13500
74	28.0	25.1	540	0.67	304000	380000	13600
75	27.8	25.1	540	0.67	303000	379000	13600
76	27.6	25.0	541	0.67	302000	377000	13600
77	27.4	24.9	541	0.66	301000	375000	13700
78	27.3	24.9	542	0.66	300000	374000	13700
79	27.1	24.8	542	0.66	299000	372000	13700
80	26.9	24.8	543	0.66	298000	371000	13800

Tab. 4: Hodnoty maximálního el. výkonu v závislosti na teplotě okolí [19]

Z tabulky 5 byla určena hodnota okolního tlaku v závislosti na nadmořské výšce. Pro hodnotu 296 m n. m. se bude následně pracovat s tlakem **98,325 kPa** (14,187 psia).

Altitude		Ambient Pressure		Altitude		Ambient Pressure	
(ft)	(m)	(psia)	(kPa)	(ft)	(m)	(psia)	(kPa)
0	0.00	14.696	101.325	7600	2316.48	11.081	76.404
200	60.96	14.590	100.594	7800	2377.44	10.997	75.823
400	121.92	14.485	99.868	8000	2438.40	10.913	75.245
600	182.88	14.380	99.146	8200	2499.36	10.830	74.671
800	243.84	14.276	98.428	8400	2560.32	10.747	74.100
1000	304.80	14.172	97.714	8600	2621.28	10.665	73.533
1200	365.76	14.069	97.004	8800	2682.24	10.583	72.969
1400	426.72	13.967	96.299	9000	2743.20	10.502	72.409
1600	487.68	13.865	95.598	9200	2804.16	10.421	71.853

Tab. 5: Hodnoty atmosférického tlaku pro nadmořskou výšku [19]

Dále je nutné stanovit podle okolního tlaku korekční koeficient **k**. Pro hodnotu tlaku 98,325 kPa (14,187 psia) byla z tab. 6 pomocí další interpolace odečtena hodnota **0,965**.

Ambient Pressure (psia)	Power Ratio	Ambient Pressure (psia)	Power Ratio	Ambient Pressure (psia)	Power Ratio
14.696	1.000	12.135	0.826	9.948	0.677
14.590	0.993	12.044	0.820	9.870	0.672
14.485	0.986	11.954	0.813	9.794	0.666
14.380	0.978	11.864	0.807	9.717	0.661
14.276	0.971	11.775	0.801	9.641	0.656
14.172	0.964	11.686	0.795	9.566	0.651
14.069	0.957	11.598	0.789	9.491	0.646
13.967	0.950	11.511	0.783	9.417	0.641
13.865	0.943	11.424	0.777	9.343	0.636

Tab. 6: Koeficienty upravující výkon mikroturbíny zohledňující nadmořskou výšku [19]

Poslední zbývajícím je korekce výkonu dle tlaku paliva **X**, o jejíž hodnotě rozhoduje vstupní tlak paliva, případně využití paliva kapalného. Podklady k určení hodnoty korekce jsou uvedeny v příloze 2. K hodnotě vstupního tlaku 3 kPa je přiřazena hodnota $X = 2,6$.

Výpočet skutečného výkonu je proveden podle následující rovnice [19]:

$$P = (P_T \times k) - X, \quad (1)$$

kde: P [kW].....skutečný el. výkon,
 P_T [kW]..... ideální výkon při dané teplotě okolí,
 k [-] koeficient nadmořské výšky,
 X [kW]korekce výkonu dle tlaku paliva.

Po dosazení:

$$P = (28,7 \times 0,965) - 2,6 = \mathbf{25,1 \text{ kW}} \quad (2)$$

Následně je pomocí programu turbína dopočtena teplota a hmotnostní tok spalin. Do programu však musí být zadán výkon turbíny při teplotě okolí, jak je popsáno v tabulce 4. Tyto údaje jsou stěžejní pro zajištění správného fungování zařízení pro regulaci teploty a toku spalin do sušiče.

Z obrázku 19 vyplývá, že při maximálním výkonu mikroturbíny při teplotě okolí 22 °C dosahují spaliny teploty **272 °C** při hmotnostním toku **0,297 kg/s**.

turbina

Vypocet pracovnich parametru Mikroturbiny Capstone C30.

Výkon [kW]	Výstupní teplota [st. C]	Hmotnostní tok [kg/s]
25.1	262.003	0.281
	Reálny el. výkon [kW]	Energie ve spalínach [kW]
	21.5715	76.798

Obr. 19: Dopočet teploty a hmotnostního toku spalín

4 VYUŽITÍ PLYNOVÉ MIKROTURBÍNY V RÁMCI MODELU ENP

4.1 Možné scénáře provozu

Zvolené spotřebiče a technické řešení laboratoře umožňují určitou variabilitu připojení na procesní média. Konkrétně ohřev prací vody může být uskutečněn pomocí páry nebo elektřiny. Pro sušiče může být použita pro ohřev vzduchu pára, spaliny proudící od hořáků na zemní plyn nebo v neposlední řadě spaliny pocházející ze spalovací turbíny. Pro zjištění ekonomicky nejvýhodnější varianty zapojení a provozu jednotlivých zařízení bylo zpracováno několik scénářů. Výstupem je vždy částka za energie za hodinu provozu při dané konfiguraci.

V tabulce 7 jsou uvedeny ceny energií, se kterými je v následujících scénářích kalkulováno. Elektrická energie produkovaná mikroturbínou je „zdarma“. Náklady na provoz mikroturbíny jsou totiž zohledněny v ceně tepla jí produkovaného. Údaj, který v tabulce chybí, je výkupní cena elektrické energie z mikroturbíny. Dohledatelné jsou pouze výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů, jako jsou např. fotovoltaické elektrárny. Byl tedy nastaven předpoklad výkupní ceny 2 Kč/kWh, a je tedy proto nutné brát cenové kalkulace s určitou rezervou.

Externí zdroje	Kč/kWh	Turbína	Kč/kWh
elektřina	4,63	elektřina	0
teplo	2	Teplo ve spalínách	0,8
zemní plyn	1		

Tab. 7: Ceny energií z externích zdrojů a z mikroturbíny [16]

Pro výpočet hodinových nákladů byly vybrány následující scénáře, při kterých je zvoleno zapojení kdy:

- je mikroturbína nastavena na pokrytí spotřeby elektrické energie pohonů spotřebičů a tepelná energie je využita pro potřeby sušiče,
- je mikroturbína nastavena na maximální výkon, spaliny využívány pro sušič a elektrické energie prodána do rozvodné sítě,
- je mikroturbína nastavena na maximální výkon, spaliny využívány pro sušič a veškerá elektrická energie je využita pro vlastní spotřebu,
- mikroturbína není v energetickém systému prádelny zapojena.

Hodnoty tepelného výkonu byly určeny pomocí SW turbína.

4.1.1 1. scénář

První scénář provozu počítá se zapojením mikroturbíny před sušičem T24. Zapojení ostatních spotřebičů a jejich jednotlivé konkrétní spotřeby energie jsou popsány v tabulce 8.

	el. pohony (kWh/h)	OHŘEV			
		elektrina (kWh/h)	pára (kWh/h)	zemní plyn (kWh/h)	spaliny z mikroturbíny (kWh/h)
PRAČKY					
FX 240 (E+S)	1,2		13,65		
FX 240 (E+S)	1,2		13,65		
FX 180 (E+S)	1,2		10,24		
FX 180 (E+S)	1,2		10,24		
FX 80 (E+S)	0,9		4,55		
SUŠIČE					
T 24 (G)	0,8				33
T 24 (S)	0,8		33		
T 16 (E)	0,8	24			
ŽEHLIČE					
I 33 (E)	0,26	27,9			
I 33 (G)	0,26			23	
lis	2		11,38		
žehlicí set	1,5				

Tab. 8: Zapojení a spotřeby – 1., 2. a 3. scénář

Mikroturbína je nastavena na:

- 13 kW elektrického výkonu,
- tepelný výkon je určen pomocí SW turbína na 51 kW.

Turbína je tedy nastavena jen pro pokrytí spotřeby elektrických pohonů spotřebičů a je využita pro vlastní spotřebu prádelny. Spaliny z MT jsou vedeny do sušiče.

V tabulce 9 jsou také rozepsány spotřeby jednotlivých energií a finanční náklady. Při tomto provozním scénáři byly určeny hodinové náklady na energie na **498 Kč**.

		Σ náklady
Σ spotřeba zemního plynu	23 kWh/h	23 Kč/h
Σ spotřeba páry	96,71 kWh/h	193 Kč/h
Σ spotřeba el. energie pro ohřevy	51,9 kWh/h	241 Kč/h
Σ spotřeba elektřiny pro pohony (el. z turbíny)	12,12 kWh/h	0 Kč/h
Σ energie spalin z turbíny	51 kWh/h	41 Kč/h
celkové náklady na hod. provozu		498 Kč/h

Tab. 9: Náklady na provoz – scénář č. 1

4.1.2 2. scénář

Při tomto scénáři se počítá s totožným zapojením spotřebičů jako v předchozím případě. Rozdíl je však v nastavení mikroturbíny. Nastavena je na maximální výkon, tedy:

- 25 kW elektrického výkonu,
- 76 kW tepelného výkonu.

Při tomto provozním stavu turbíny musí být před sušičem odveden přebytek spalin přímo do komína. Veškerá elektrická energie je prodána a distribuována do veřejné rozvodné sítě.

V tabulce 10 jsou znovu rozepsány spotřeby jednotlivých energií a finanční náklady. V tomto případě byly stanoveny hodinové náklady na energie na **523 Kč**.

		Σ náklady
Σ spotřeba zemního plynu	23 kWh/h	23 Kč/h
Σ spotřeba páry	96,71 kWh/h	193 Kč/h
Σ spotřeba el. energie pro ohřevy	51,9 kWh/h	240 Kč/h
Σ spotřeba elektřiny pro pohony	12,12 kWh/h	56 Kč/h
Σ energie spalin z turbíny	76 kWh/h	61 Kč/h
zisk z prodeje elektřiny	25 kWh/h	-50 Kč/h
celkové náklady na hod. provozu		523 Kč/h

Tab. 10: Náklady na provoz - scénář č. 2

4.1.3 3. scénář

Při třetím scénáři provozu se počítá rovněž s totožným zapojením spotřebičů jako v předchozích dvou případech. Turbína je nastavena na maximální výkon, tedy:

- 25 kW elektrického výkonu,
- 76 kW tepelného výkonu.

Při tomto provozním stavu turbíny musí být před sušičem odveden přebytek spalin přímo do komína. Veškerá elektrická energie je však využita pro vlastní provoz.

V tabulce 11 jsou znovu rozepsány spotřeby jednotlivých energií a finanční náklady. V tomto případě byly stanoveny hodinové náklady na energie na **462 Kč**.

		Σnáklady
Σ spotřeba zemního plynu	23 kWh/h	23 Kč/h
Σ spotřeba páry	96,71 kWh/h	193,42 Kč/h
Σ spotřeba el. energie pro ohřevy z toho:	51,9 kWh/h	
turbína	12 kWh/h	0 Kč/h
veřejná síť	40 kWh/h	185,2 Kč/h
Σ spotřeba elektřiny pro pohony	12,12 kWh/h	0 Kč/h
Σ spaliny	76 kWh/h	60,8 Kč/h
celkové náklady na hod. provozu		462 Kč/h

Tab. 11: Náklady na provoz - scénář č. 3

4.1.4 4. scénář

Poslední scénář uvažuje provoz prádelny bez jakéhokoliv využití mikroturbíny. Zapojení a spotřeby jednotlivých spotřebičů jsou uvedeny v tabulce 12.

	el. pohony (kWh/h)	OHŘEV			
		elektřina (kWh/h)	pára (kWh/h)	zemní plyn (kWh/h)	spaliny z mikroturbíny (kWh/h)
PRAČKY					
FX 240 (E+S)	1,2		13,65		
FX 240 (E+S)	1,2		13,65		
FX 180 (E+S)	1,2		10,24		
FX 180 (E+S)	1,2		10,24		
FX 80 (E+S)	0,9		4,55		
SUŠIČE					
T 24 (G)	0,8			33	
T 24 (S)	0,8		33		
T 16 (E)	0,8	24			
ŽEHLIČE					
I 33 (E)	0,26	27,9			
I 33 (G)	0,26			23	
lis	2		11,38		
žehlicí set	1,5				

Tab. 12: Zapojení a spotřeby – 4. scénář

V tabulce 13 jsou rozepsány spotřeby jednotlivých energií a finanční náklady při zapojení uvedeným způsobem. Z hodnoty hodinových nákladů na energii **546 Kč** a porovnání s předchozími scénáři, je zřejmé, že mikroturbína přináší určité finanční úspory.

		Σnáklady
Σ spotřeba zemního plynu	56 kWh/h	56 Kč/h
Σ spotřeba páry	96,71 kWh/h	193 Kč/h
Σ spotřeba el. energie pro ohřevy	51,9 kWh/h	240 Kč/h
Σ spotřeba elektřiny pro pohony	12,12 kWh/h	56 Kč/h
celkové náklady na hod. provozu		546 Kč/h

Tab. 13: Náklady na provoz – scénář č. 4

4.2 Zhodnocení scénářů

Tabulka 14 uvádí celkový přehled nákladů na energie jednotlivých scénářů. Scénář č. 4 neuvažuje využití mikroturbíny pro provoz prádelny, a je tedy zvolen jako referenční hladina pro srovnání se dvěma dalšími variantami, které mikroturbínu využívají. Při hodinové úspoře 84 Kč se ukazuje jako ekonomicky nejvýhodnější scénář č. 3, který předpokládá nastavení tepelného výkonu turbíny na pokrytí spotřeby sušičky a využití elektrické energie turbínou vyrobené pro provoz prádelny. Po porovnání scénářů č. 1, č. 2 a č. 3 se ukazuje, že prodej vyrobené elektrické energie do sítě je finančně nevýhodný a je tedy vhodné elektřinu využívat pro vlastní spotřebu. Tato čísla jsou ovlivňována vývojem ceny energií a je možné, že v budoucnosti se ukáže výhodnější provozovat zařízení podle jiného scénáře.

scénář	náklady na energie [Kč/h]	úspory [Kč/h]
1.	498	48
2.	523	13
3.	462	84
4.	546	0

Tab. 14: Porovnání scénářů

4.3 Návratnost investice

4.3.1 Prostá doba návratnosti

Tímto pojmem se rozumí doba, za kterou investice vytvoří výnosy ve výši pokrývající náklady na vybudování nebo rekonstrukci projektu.

V tomto případě je počáteční investice 2 500 000 Kč. Výpočet výnosů vychází z předchozí kapitoly, kdy byly porovnány provozní scénáře s využitím a bez využitím mikroturbíny při provozu. K dispozici jsou tedy následující čísla, kde je:

hodinová úspora	84 Kč,
denní úspora (8 hodin provozu denně)	672 Kč,
roční úspora (při 250 pracovních dnech)	168 000 Kč.

Prostou dobu návratnosti projektu (DN) tedy získáme podílem investičních nákladů (IN) a roční úspory (RU).

$$DN [\text{roky}] = \frac{IN [\text{Kč}]}{RU [\text{Kč/rok}]} \quad (3)$$

$$DN = \frac{2\,500\,000}{168\,000} \cong 15 \text{ let} \quad (4)$$

Prostá doba návratnosti je v tomto případě 15 let. Vzhledem k výrobcem deklarované životnosti zařízení 40 let (výrobce udává až 80 000 hodin, roční provoz v tomto případě 2 000 hodin) se tedy zařízení zaplatí přibližně po jedné třetině doby životnosti.

4.3.2 Diskontovaná doba návratnosti

Předchozí metoda výpočtu doby návratnosti nezohledňuje časovou hodnotu peněz, tedy inflaci. Tyto faktory jsou zohledněny ve výpočtu diskontované doby návratnosti. V tabulce 15 je zpracována analýza diskontované doby návratnosti,

kde:

IN.....investiční náklady,

CF.....cash flow – příjmy (v tomto případě úspory na energiích),

DF.....diskontní faktor – v tomto případě finanční diskontní faktor, nastavený na 3 %

DCF.....diskontovaný cash flow – snížený diskontním faktorem,

KDCF.....kumulovaný diskontovaný cash flow – zbylá částka chybějící k zaplacení investice zohledňující ztrátu hodnoty peněz.

ROK	IN	CF	DF	DCF	KDCF
1	2 500 000		1	-2 500 000	-2 500 000
2		168 000	0,9700	162 960	-2 337 040
3		168 000	0,9409	158 071	-2 178 969
4		168 000	0,9127	153 329	-2 025 640
5		168 000	0,8853	148 729	-1 876 911
6		168 000	0,8587	144 267	-1 732 643
7		168 000	0,8330	139 939	-1 592 704
8		168 000	0,8080	135 741	-1 456 963
9		168 000	0,7837	131 669	-1 325 294
10		168 000	0,7602	127 719	-1 197 575
11		168 000	0,7374	123 887	-1 073 688
12		168 000	0,7153	120 171	-953 517
13		168 000	0,6938	116 566	-836 952
14		168 000	0,6730	113 069	-723 883
15		168 000	0,6528	109 676	-614 207
21		168 000	0,5438	91 357	-21 891
22		168 000	0,5275	88 617	66 726
39		168 000	0,3143	52 800	1 224 795
40		168 000	0,3049	51 216	1 276 011

Tab. 15: Diskontovaná doba návratnosti

V tabulce jsou tučně vyznačeny řádky, které představují milníky investice. Patnáct let představuje dobu prosté návratnosti, dvacátý druhý rok je diskontovanou dobou návratnosti a čtyřicet let je doba životnosti. Tabulka tedy ukazuje, že diskontovaná doba návratnosti nastane přibližně v polovině životnosti zařízení.

Při výpočtu diskontované doby návratnosti byly však zanedbány některé faktory, jako jsou nutné investice do servisu zařízení, předepsaná výměna některých komponent a předpokládaný růst cen energií. Ve skutečnosti by tedy byla doba návratnosti delší. Další otázkou je doba životnosti zařízení. Stále chybí dlouhodobé zkušenosti z provozováním mikroturbín. Je možné, že bude vlivem intenzivnějšího provozování zařízení dosažena dříve než za předpokládaných 40 let. Tato investice je však investicí do výzkumu a vývoje a její smysl nespočívá jen v okamžité finanční návratnosti pro toto konkrétní zařízení.

5 ZÁVĚR

V první části této práce je představen současný způsob profesní údržby prádla. Je popsáno dělení prádelenských provozů podle zpracovatelské kapacity, technologické vybavení průmyslových prádelen a vhodnost jednotlivých spotřebičů pro konkrétní provoz v závislosti právě na zpracovatelské kapacitě a typu prádla. Pozornost je věnována popisu jednotlivých fází čištění prádla. Je také představena právě vznikající laboratoř energeticky náročných procesů v rámci NETME Centre, její technické vybavení a infrastruktura.

Další kapitola se věnuje představení samotné plynové mikroturbíny, historii tohoto zařízení, principu funkce a výhodám a stinným stránkám pro praktické aplikace. Mezi výhody oproti klasickým spalovacím motorům lze zcela určitě zařadit nízkou produkci emisí, nízkou hlučnost, spolehlivost a malé nároky na údržbu. Na druhou stranu však mluví proti jejím aplikacím stále vysoká pořizovací cena a nižší účinnost. Tato negativa by ale měla být do budoucna odstraněna. Je popsána plynová mikroturbína Capstone C30, která je umístěna v laboratoři, a její technické parametry.

V rámci praktické části této práce je vytvořen jednoduchý program turbína, pomocí kterého lze určit základní provozní parametry turbíny, jako je teplota, hmotnostní tok a energie ve spalínách (tepelný výkon). Určí také maximální možný elektrický výkon zařízení při konkrétních podmínkách v laboratoři.

Pro hodnocení finanční výhodnosti aplikace mikroturbíny je sestaveno několik možných scénářů provozu, kdy výstupem jsou vždy náklady na energii za hodinu provozu. Při porovnání nákladů při provozu bez využití mikroturbíny a scénáře, který počítá s využitím tepla pro sušič a spotřebou elektrické energie pro provoz laboratoře, se ukazuje určitá finanční úspora. Tato částka je podkladem pro hodnocení finanční návratnosti investice. Je určena jak prostá doba návratnosti, tak i doba návratnosti zohledňující inflaci, a tedy časové znehodnocování peněz. Z obou propočtů vyplývá, že po výrobcem udávané době životnosti se tento projekt z peněz investicí uspořené zaplatí před vypršením doby životnosti. Stále je však doba návratnosti poměrně dlouhá. Jedním z důvodů jsou stále velice vysoké pořizovací náklady na toto zařízení. Ty by však měly s rostoucím využíváním a tudíž i prodejem mikroturbín klesat. Je také nutné brát v potaz fakt, že tento projekt je investicí do vědy a výzkumu a očekává se, že v budoucnu přinese poznatky využitelné v praxi. Ty by poté měly vést k aplikacím, které přinesou další finanční zisky.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] GIAMPAOLO, T. Gas turbine handbook: principles and practice. 4th ed. Lilburn: Fairmont Press, 2009, 447 s. ISBN 978-1-4398-0191-8.
- [2] KADRNOŽKA, J. Tepelné turbíny a turbokompresory: základy teorie a výpočtů. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 308 s. ISBN 80-7204-346-3.
- [3] TRTÍK, J. Uvádění do provozu plynové spalovací turbíny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 57 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph. D.
- [4] BOBÁK, P.: *Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 47 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph. D.
- [5] BOHANESOVÁ, Bohuslava a Hana KOZLOVSKÁ. *Oděvní materiály II*. Praha: Informatorium, 1998. ISBN 80-85427-28-9.
- [6] TŮMA, Z. Model moderní komerční prádelny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph. D.
- [7] Stehlík, P.: Laundry lessons, PROCTER&GAMBLE PROFESSIONAL [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z [www: <http://www.pgprofsupport.com>](http://www.pgprofsupport.com)
- [8] *NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství*. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [online]. [cit. 2013-04-28]. Webová prezentace dostupná z: <http://www.netme.cz>
- [9] *Oborová informační příručka – obor praní, žehlení, opravy a údržba prádla, bytového textilu a osobního zboží*. Brno 2008. Asociace prádelen a čistíren [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z [www: <http://www.apac.cz/zaklady-podnikani/prani-pradla>](http://www.apac.cz/zaklady-podnikani/prani-pradla)
- [10] *Asociace mikroturbín, o.s.* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z [www: <http://www.mikroturbina.cz/mikroturbina.htm>](http://www.mikroturbina.cz/mikroturbina.htm)
- [11] *Portál TZB – info, Vnitřní výpočtové teploty*, [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z [www: <http://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>](http://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-dle-csn-en-12831-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210)
- [12] *Škola textilu* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z [www: <http://www.skolatextilu.cz/zus/index.php?page=8>](http://www.skolatextilu.cz/zus/index.php?page=8)
- [13] *Laundry sustainability* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z [www: <http://www.laundry-sustainability.eu/cz/>](http://www.laundry-sustainability.eu/cz/)
- [14] *České energetika* [online]. [cit. 2013-04-24] Dostupné z [www: <http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/instalace_spalovaci_mikroturbiny.html>](http://www.ceskaenergetika.cz/nezarazene_clanky/instalace_spalovaci_mikroturbiny.html)

- [15] *WBDG, National Institute of Building Sciences*, [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z www: < <http://www.wbdg.org/resources/microturbines.php> >
- [16] *Portál ceny energie* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z www: <<http://www.cenyenergie.cz/elektrina/ceny-elektriny-2013-o-kolik-zdrazuj-dominantni-dodavatele.aspx>>
- [17] *GGC Energy* [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z www: <<http://ggcenergy.cz/produkty#c30>>
- [18] *Capstone Turbine corporation*, [online], 2013 [cit. 2013-03-20], dostupné z www: <<http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/>>
- [19] *Technical Reference Capstone Model C30 Performance* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z www: <http://www.multigen.com.au/wp-content/themes/multigen/docs/C30/410004_C30_Performance.pdf>
- [20] *Uživatelský manuál Capstone C30* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z www: <http://www.wmrs.edu/projects/BAREnergy/resource%20docs/c-30%20manuals/400001_C30_C60_MicroTurbine_Users_Manual.pdf>
- [21] *Primus laundry equipment* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z www: <<http://www.primuslaundry.com/cz/>>
- [22] *Autorevue* [online]. [cit. 2013-03-06]. Dostupné z www: <http://www.autorevue.cz/jaguar-c-x75-780-koni-a-dve-turbiny_1>
- [23] *Texas textile services* [online]. [cit. 2013-03-06]. Dostupné z www: <http://www.texastextile.com/classic_washer.php>

7 SEZNAM PŘÍLOH

- [P1] CD s elektronickou verzí práce a programem turbina
- [P2] Podklady k určení provozních parametrů dodané výrobcem