

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

**Ing. Petr Bobák**

**SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PROCESU PROFESNÍ  
ÚDRŽBY PRÁDLA**

ENERGY INTENSITY REDUCTION OF A PROFESSIONAL  
LAUNDRY CARE PROCESS

Zkrácená verze PhD Thesis

Obor: Konstrukční a procesní inženýrství  
Školitel: prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
Oponenti: prof. Dr.-habil. Ing. Jiří Klemeš, DSc., dr. h. c.  
prof. Ing. Pavel Noskievič, CSc.  
Datum obhajoby: 16. 5. 2014



## **Klíčová slova**

Údržba prádla, praní, sušení, prádelna, sběr dat, měření, modelování, energetická náročnost, energie, teplo, voda, infrastruktura

## **Keywords**

Laundry care, washing, drying, laundry, data acquisition, measuring, modelling, energy intensity, energy, heat, water, infrastructure

## **Místo uložení dizertační práce**

Areálová knihovna Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně

© Petr Bobák, 2014

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*



# OBSAH

1 ÚVOD.....	7
2 ZAMĚŘENÍ A CÍLE PRÁCE.....	8
3 PROCES PROFESNÍ ÚDRŽBY PRÁDLA A SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ.	10
4 HLAVNÍ VÝSLEDKY A PŘÍNOSY PRÁCE .....	13
4.1 Modelování procesu profesní údržby prádla.....	13
4.1.1 <i>Matematický popis toku vody procesem</i> .....	13
4.1.2 <i>Bilanční model vsádkové pračky</i> .....	13
4.1.3 <i>Bilanční model sušicího zařízení</i> .....	14
4.2 Návrh sběru provozních dat .....	15
4.2.1 <i>Sběr dat v komerčních prádelnách</i> .....	15
4.2.2 <i>Sběr provozních dat v laboratorních podmínkách</i> .....	16
4.3 Univerzální experimentální infrastruktura a model energeticky náročného procesu.....	17
4.4 Organizace dat – návrh informačního systému.....	23
4.5 Definice možností hodnocení a snižování energetické náročnosti procesu .....	24
4.5.1 <i>Hodnocení energetické náročnosti</i> .....	24
4.5.2 <i>Snižování spotřeb</i> .....	25
4.5.3 <i>Případová studie I: Vliv regionu na strukturu provozních nákladů</i> .....	25
4.5.4 <i>Případová studie II: Rekuperace odpadního tepla</i> .....	25
4.5.5 <i>Případová studie III: Komplexní rekonstrukce prádelny</i> .....	25
5 ZÁVĚR.....	26
LITERATURA .....	28
ŽIVOTOPIS.....	30
PŘEHLED VLASTNÍ LITERATURY .....	32
ABSTRACT .....	33
ABSTRAKT .....	34



# 1 ÚVOD

Téma práce zapadá do obecné celosvětové tendence hledat cesty ke snižování nároků průmyslu na energetické a vodní zdroje, aby byla zajištěna jejich dlouhodobá udržitelnost. Práce je úzce spjata s *Centrem nových technologií pro strojírenství při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně* – tzv. *NETME Centre*. Jde o regionální výzkumné a vývojové centrum zaměřené na aplikovaný výzkum, které umožňuje uvádět do praxe taková řešení, která spojují zájmy provozovatele (efektivita investice) a vlády (ochrana životního prostředí).

Komplexnost procesu profesní údržby prádla (PÚP), který je předmětem této práce, s sebou nese nutnost využít znalosti z různých oborů lidské činnosti. Proto se také dá PÚP označit za takřka učebnicový příklad z oboru procesního inženýrství. Je zde prostor pro energetiku, konstrukční inženýrství, matematické inženýrství, chemii, informatiku, automatizaci či ekonomii. Tato interdisciplinarita zvyšuje rozhled a kvalifikaci výzkumných pracovníků a zapojených studentů a tím jejich atraktivitu na trhu práce. Zájem *Ústavu procesního a ekologického inženýrství (ÚPEI)* o optimalizaci provozu profesních prádelen byl iniciován v roce 2006 projektem *Optimalizace spotřeby tepla a vody na profesní prádelně*. Již od počátku se kolektiv řešitelů projektu musel potýkat s nedostatkem reálných provozních dat, který byl způsoben jednak nízkou úrovní měření a archivace dat v prádelnách a dále neochotou provozovatelů poskytnout svůj provoz k výzkumným účelům, resp. experimentálnímu měření. V roce 2009 proto byla do návrhu projektu *NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství* zahrnuta myšlenka vybudovat vlastní průmyslovou prádelnu s plnohodnotným výzkumným zázemím v rámci *VUT v Brně* pod označením *model energeticky náročného procesu (model ENP)*.

Model ENP dal své jméno a definoval hlavní oblast zájmu nové laboratoři – *Laboratoři energeticky náročných procesů (LENP)*, která je součástí *NETME Centre* a zároveň *ÚPEI*. Laboratoř (obr. 1) zahájila testovací provoz v polovině roku 2013 a od února 2014, kdy přešla do ostrého provozu, již zpracovává pravidelné dávky prádla a na získaných provozních datech staví základní a aplikovaný výzkum.



obr. 1: Prostor LENP před vybudováním infrastruktury a instalací modelu energeticky náročného procesu v létě roku 2012 (vlevo) a po dokončení instalačních prací v létě roku 2013 (vpravo)

## 2 ZAMĚŘENÍ A CÍLE PRÁCE

Cílem předkládané dizertační práce bylo zavést systematický přístup k řešení problematiky optimalizace procesu PÚP jako specifického představitele energeticky náročného procesu z pohledu spotřeby energie a vody, resp. dalších provozních nákladů. Konkrétně bylo požadováno:

- a) modelovat proces profesní údržby prádla, resp. jeho dílčí operace,
- b) navrhnout a naplánovat systematický sběr provozních dat z reálných provozů a jejich zpracování,
- c) vybudovat univerzální experimentální infrastrukturu a na jejím základě vytvořit plně funkční model průmyslové prádelny s plnohodnotným výzkumným zázemím v rámci projektu NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství,
- d) definovat možnosti hodnocení a snižování energetické náročnosti procesu,
- e) podílet se na řešení konkrétních případových studií.

Práce úzce navazuje na autorovu bakalářskou práci [1], která sloužila především k seznámení se s prádelenským oborem a ve které byl proveden teoretický návrh systému pro určení stěžejních parametrů procesu profesní údržby prádla (PÚP), a dále navazuje na autorovu diplomovou práci [2], jež v této oblasti prezentuje vytvořené výpočtové nástroje.

Oproti pracím [1] a [2] se tato práce zabývá také provozem průmyslových prádelen s nižší kapacitou (do 2 000 až 4 000 kg prádla za směnu) vybavenými pouze vsádkovými pračkami. Zabývá se konvenčními technologiemi praní v teplé vodní lázni za použití odpovídající prací chemie. Uváděné postupy však lze využít i pro alternativní technologie, jako například ozónové praní, praní s použitím nízkoteplotních enzymů či ultrazvuku. Ve všech případech je jako smáčedlo pro nečistoty používána voda, která musí mít určité vlastnosti a která se po praní musí z prádla odstranit sušením.

Zvolený technologický postup, jenž zaručí, že prádlo bude zbaveno znečištění, a který v zásadě předurčí i energetické nároky dílčích operací (předepsáním teploty a poměru prací lázně, maximální teploty sušení či žehlení a dalšími parametry), je brán jako status quo. Práce hledá možnosti jak snižovat spotřebu dílčích operací procesu, resp. procesu jako celku při zachování předepsaných technologických podmínek, které zaručí kvalitní produkt – čisté prádlo. Práce se nezabývá sekundárními spotřebami energií, např. na osvětlení provozu či provoz kancelářské techniky. Za snížení energetické náročnosti provozu se nepovažuje nahrazení primárních zdrojů alternativními zdroji, pokud tento zdroj nevyužívá odpadních produktů provozu. Neuvažují se proto různé solární a geotermální systémy apod.

Souhrn použitých metod při řešení práce uvádí tab. 1. Jak je z tabulky patrné, zásadní význam pro splnění cílů práce měla výstavba Laboratoře energeticky náročných procesů s experimentální infrastrukturou a modelem ENP. Samotná výstavba laboratoře představovala komplexní vědecko-inženýrský úkol. Bylo potřeba zajistit stavební připravenost budovy, navrhnout kompletní technické řešení infrastruktury, vytvářet výkresovou dokumentaci a také sestavit konkrétní technické

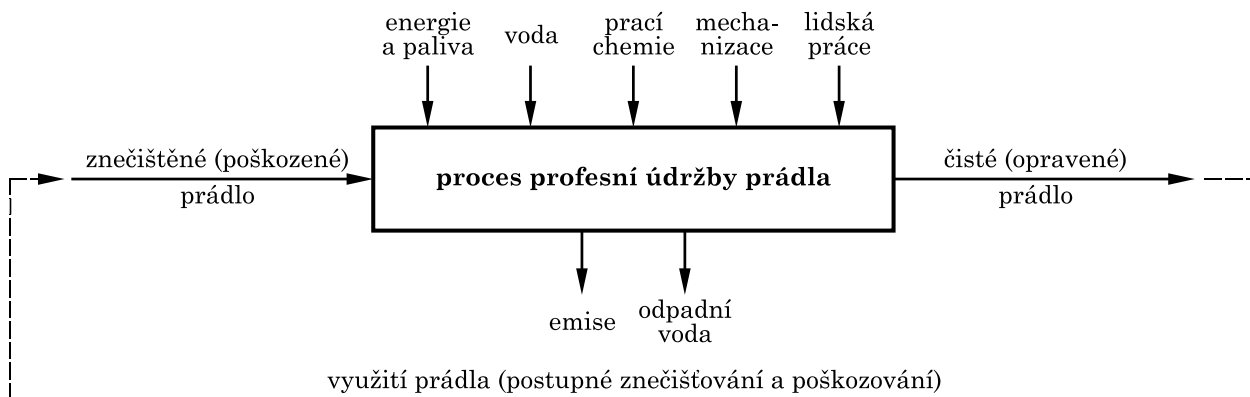
specifikace pro zadání veřejných zakázek. Velké množství dodavatelských firem kladlo vysoké nároky na koordinaci montážních prací, které vyžadovaly prakticky trvalý dohled.

**tab. 1: Souhrn metod pro naplnění dílčích záměrů**

<b>záměr</b>	<b>metody naplnění záměru</b>
Soustavně zvyšovat povědomí o zákonitostech procesu profesní údržby prádla a dílčích operací	studiem dostupné literatury, konzultacemi s odborníky z praxe (provozovateli prádelen a technology), účastí na odborných konferencích (Interclean/Cleantech 2009 až 2013, Brno; Texcare Forum v rámci Texcare International 2012, Frankfurt nad Mohanem), vlastním pozorováním v navštívených prádelenských provozech, později: získanou zkušeností při provozování vlastního prádelenského provozu (modelu energeticky náročného procesu)
Soustavně sledovat současný stav prádelenských technologií a vývojové trendy	sledováním webových stránek a bulletinů výrobců, účastí na veletrzích prádelenské techniky a přidružených technologií (Expo Detergo International 2010, Milán; Texcare International 2012 Frankfurt nad Mohanem; Euro ID 2013, Frankfurt nad Mohanem)
Modelovat proces PÚP	tvorbou hmotnostních a energetických bilančních modelů, výstavbou experimentálního prádelenského provozu (modelu ENP)
Získat soubor věrohodných provozních dat	sběrem dat v prádelenských provozech (problematické), sběrem dat ve vlastním experimentálním provozu (modelu ENP)

### 3 PROCES PROFESNÍ ÚDRŽBY PRÁDLA A SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Proces profesní údržby prádla (PÚP) lze chápat jako soubor dílčích, na sebe navazujících operací, které umožňují znovu využít prádlo, které bylo znečištěno, resp. poškozeno v takové míře, jež mu brání k plnění alespoň jedné jeho základní funkce (hygienická, ochranná, estetická aj.). Jde tak ze své podstaty o recyklační či regenerační proces. Ze schématu na obr. 2 je patrné, co je v případě procesu PÚP surovinou (vlevo), produktem (vpravo), hlavními zdroji (nahore) a odpady (dole).



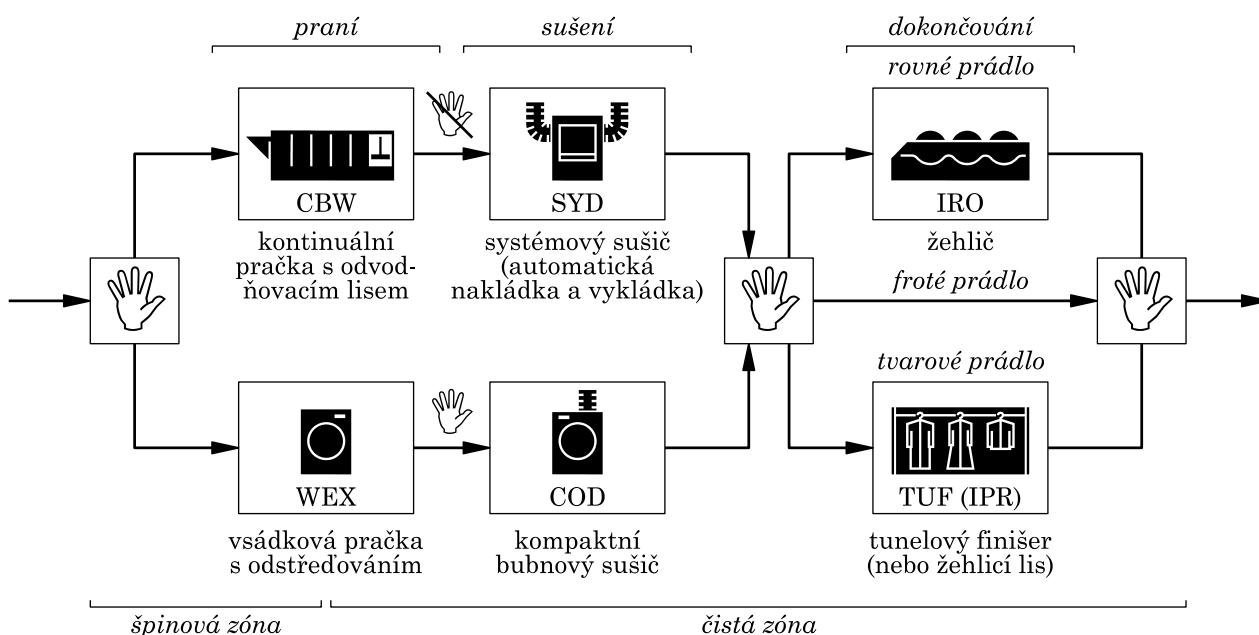
obr. 2: Základní schéma procesu profesní údržby prádla

Typický pracovní postup profesní prádelny, jenž je dán sledem dílčích operací procesu PÚP, je následující: doprava znečištěného prádla od zákazníka do prádelny, příjem prádla, dočasné uskladnění prádla, třídění prádla dle materiálu a míry znečištění, praní (smáčení, předpírka, hlavní praní, máchání, finalizace) a odvodnění, předsušení (před žehlením) nebo sušení do sucha (froté prádlo), třídění rovného a tvarového prádla, dokončování (žehlení, skládání), oprava (šití) poškozených kusů, kontrola kvality, balení, dočasné uskladnění, expedice prádla, doprava čistého prádla zpět k zákazníkovi. Klíčovou operací celého procesu v tradičním pojetí je praní ve vodní lázni s detergenty. Jde o komplexní fyzikálně-chemický proces, který ovlivňují čtyři hlavní faktory: teplota lázně, mechanická akce, čas a účinek prací chemie. Kapacita průmyslových prádelen se pohybuje v řádu stovek kilogramů až desítek tun zpracovaného prádla za směnu.

Nejdůležitější dělení prádla, které určuje strojní vybavení prádelny a toky prádla po prádelně (viz obr. 3), je následující:

- rovňé prádlo (jednoduché nebo dvojité; např. prostěradlo, povlečení, ubrus),
- tvarové prádlo (např. plášť, blůza, košile, kalhoty, montérky),
- froté prádlo (bez rozlišení na rovné a tvarové; např. osuška, ručník, župan).

Aby bylo možné určit správný technologický postup a podmínky (např. teplotu prací lázně, vhodné detergenty, teploty sušení a žehlení), je potřeba prádlo dále rozlišovat dle barvy (bílé, barevné), materiálu (bavlna, PES, směsi BA/PES aj.), druhu a míry znečištění a dle kontaminace biologicky aktivními látkami (infekční prádlo).



obr. 3: Obecné technologické schéma provozu průmyslové prádelny

Dalšími specifickými vlastnosti procesu PÚP jsou:

- Proměnlivost vlastností suroviny – kromě výše popsané odlišnosti tvaru, materiálu, barvy a znečištění prádla se mění jeho hmotnost podle vlhkosti, která se do něj dostává smáčením vodou (uměle) nebo vzdušnou vlhkostí (přirozeně).
- Subjektivní vnímání kvality produktu – je nutné využít speciální metody pro objektivní hodnocení kvality praní, resp. hodnocení vlivu praní na textilie.
- Množství provozních a odpadních látek a zdrojů tepla – provozními látkami jsou voda (také ve formě páry), detergenty, tlakový vzduch, vlhký vzduch, spaliny zemního plynu a textilní otěr (prach, vlákna). Stroje mají standardně elektrický, parní nebo plynový ohřev.
- Znečištění procesních proudů – prakticky všechny hlavní výstupní proudy z prádelenských zařízení obsahují nečistoty.
- Dynamika procesů – proces PÚP se vyznačuje velkým množstvím dynamických dějů. Aby byly systémy rekuperace tepla účinné, musí být vybaveny autonomním měřením a regulací, což ovšem výrazně zvyšuje pořizovací náklady.
- Nespojitost a nízká současnost dílčích operací – přímá rekuperace tepla mezi aparáty je omezena jednak návazností operací praní, sušení a žehlení a také přerušováním provozu strojů pro účely nakládky a vykládky prádla.

Rešerše k tématu byla provedena pomocí databáze *Scopus*, jež je nejrozsáhlejší databází abstraktů a citací odborné recenzované literatury a kvalitních webových zdrojů na světě [3]. Výsledky rešerše ukázaly, že za posledních deset let (od r. 2004, včetně, do r. 2014) bylo publikováno celkem 407 titulů, které měly v názvu slovo *laundry* (tzn. prádelna, prádlo). Z těchto 407 titulů má však pouze 16 publikací

v názvu zároveň slovo *energy* (tzn. energie) nebo *heat* (tzn. teplo). Konkrétně tedy upřesňující vyhledávací dotaz zněl: *TITLE (laundry AND (energy OR heat))*.

Naprostá většina publikací z oblasti prádelenství se totiž věnuje chemickým aspektům procesu. Častá je tematika úpravy odpadních vod z prádelen, resp. odstraňování nebezpečných látek z odpadních vod. Publikace v této oblasti dobře shrnuje rešerše, na níž je postaven článek [6].

Z analýzy všech 16 výše zmíněných publikací s tematikou spotřeby energií v prádelnách vyplynulo, že od roku 2010, kdy začal Ústav procesního a ekologického inženýrství o tomto tématu publikovat, bylo vydáno celkem 8 prací, z nichž 5 prací má autorský kolektiv právě z ÚPEI. To naznačuje, že se pravděpodobně žádná jiná instituce na světě výzkumu snižování energetické náročnosti procesu PÚP systematicky nevěnuje nebo o tom nepublikuje. Výběr z rešerše článků, které nemají původ na ÚPEI, je uveden v tab. 2.

**tab. 2: Výběr z rešerše článků, které nemají původ na ÚPEI**

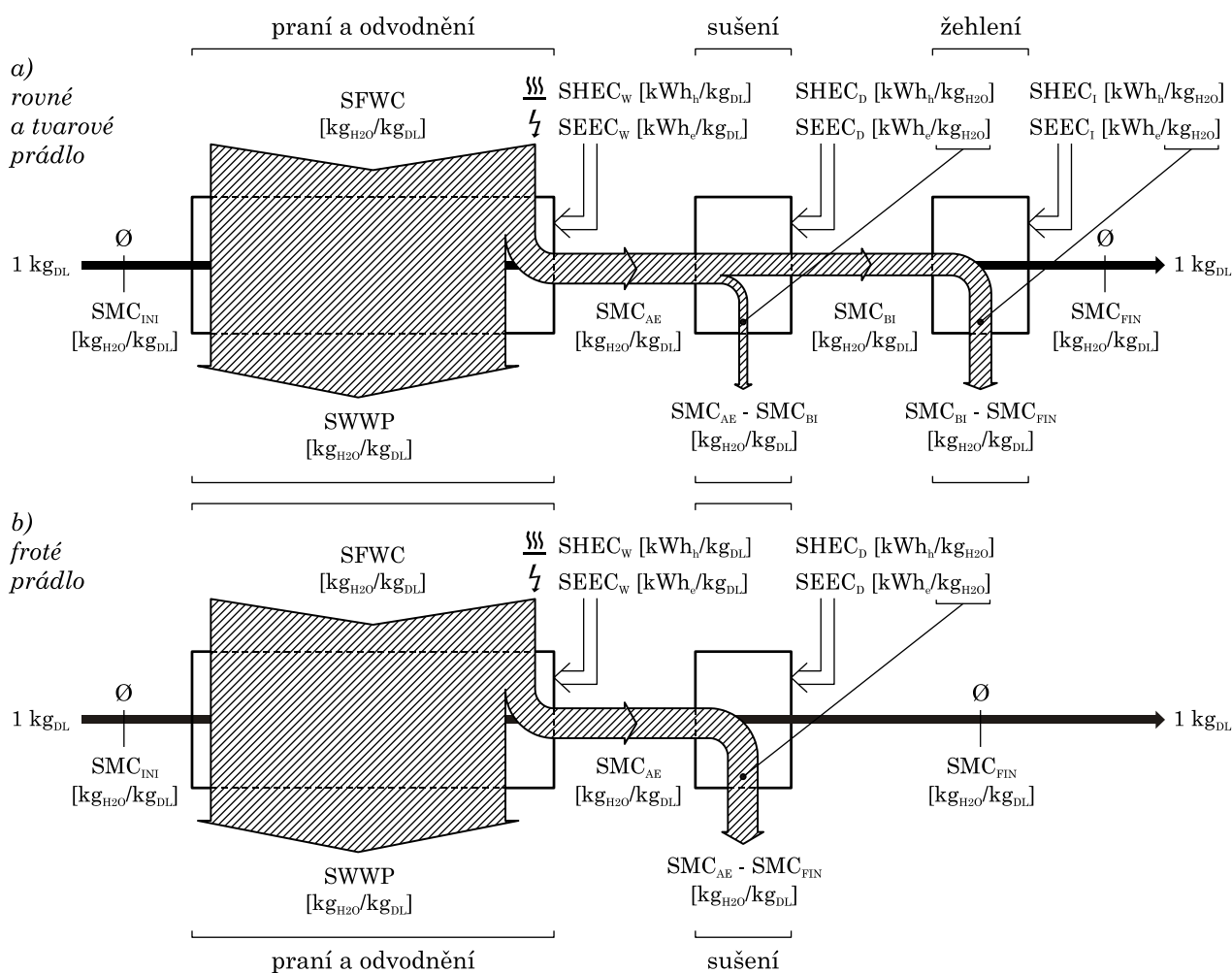
	<b>autor (rok)</b>	<b>popis probírané problematiky</b>
[5]	Rice et al. (2013)	Článek hodnotí využití ozónu v nemocniční prádelně a dopad této technologie na ekonomiku provozu a snižování spotřeb energií. Podle abstraktu je návratnost použitého systému (tři generátory ozónu) 16 měsíců.
[6]	Katsanis et al. (2009)	Článek hodnotí systém zpětného využití odpadního tepla z praní v nemocniční prádelně. Návratnost technologie je odhadována na 3 až 5 let.
[7]	Katsanis et al. (2008)	Studie zkoumá jednotlivé části pracího procesu s cílem získat co nejpřesnější údaje o spotřebách energií a vody v nemocničních prádelnách. Údaje mají posloužit k návrhu budoucích prádelen.
[8]	Kosek (2008)	Autor hodnotí využití tepla z odpadní vody k předehřátí vody vstupující do pracího procesu. Zmíněna je dále důležitost filtrace odpadní vody před jejím vstupem do výměníku tepla.
[9]	Williamson et al. (2004)	Článek hodnotí účinnost plynového sušiče s recirkulací vzduchu používaného v průmyslovém prostředí. Ve zkoumaném případě vedla recirkulace ke snížení účinnosti procesu a prodloužení doby sušení, přičemž nedošlo k úsporám energie.

## 4 HLAVNÍ VÝSLEDKY A PŘÍNOSY PRÁCE

### 4.1 MODELOVÁNÍ PROCESU PROFESNÍ ÚDRŽBY PRÁDLA

#### 4.1.1 Matematický popis toku vody procesem

Energetická náročnost procesu závisí na tocích vody procesem, proto byl v prvním kroku sestaven matematickým popis těchto toků. Při znalosti měrných spotřeb energií a vody lze snadno určit, resp. odhadnout celkovou spotřebu procesu, resp. jeho energeticky nejnáročnějších operací (praní, sušení, žehlení). Výchozí schéma je na obr. 4. Schéma zobrazuje tok vody procesem a vázané měrné spotřeby energie a vody.

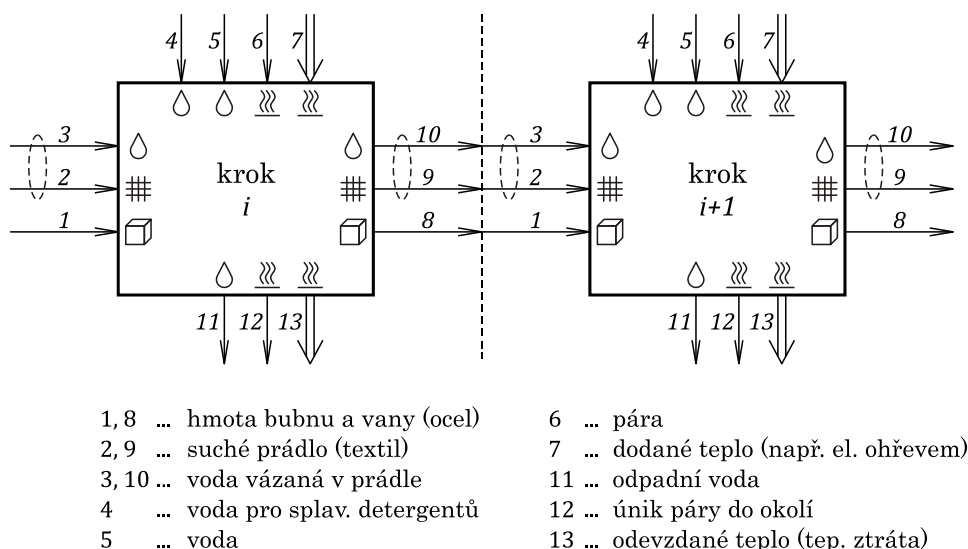


obr. 4: Schéma toku vody procesem a vázaných měrných spotřeb

#### 4.1.2 Bilanční model vsádkové pračky

Navržený matematický model vsádkové pračky respektuje členění operace praní na jednotkové kroky (předpírka, hlavní praní, máchání atd.), pro které jsou samostatně řešeny hmotnostní a energetické bilance. Na schématu modelu na obr. 5 je vidět jak na sebe jednotkové kroky navazují prostřednictvím průběžných proudů suchého prádla (č. 2, 9), vody vázané v prádle (č. 3, 10) a hmoty stroje (č. 1, 8), která představuje jeho tepelnou akumulaci. Tyto průběžné proudy křížují proudy

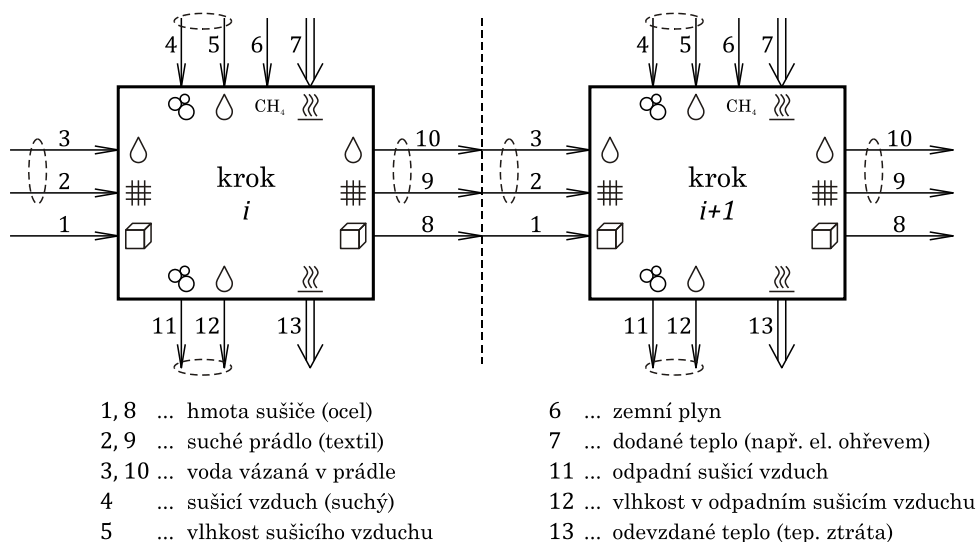
upravené vody (č. 5), vody pro splavování detergentů (č. 4), topné páry (č. 6) a dodaného tepla, např. pomocí elektrického ohřevu (č. 7), jako vstupy a dále proudy odpadní vody (č. 11), topné páry uniklé do okolí (č. 12) a odevzdaného tepla představující tepelné ztráty (č. 13) jako výstupy. Proudů č. 1–6 a 8–12 jsou materiálové proudy, proudy č. 7 a 13 pouze energetické. Model byl použit pro výpočet teoretické spotřeby tepla na ohřev prací lázně pro 4 různé případy.



obr. 5: Schéma bilančního modelu pračky, resp. jednotlivých kroků operace praní

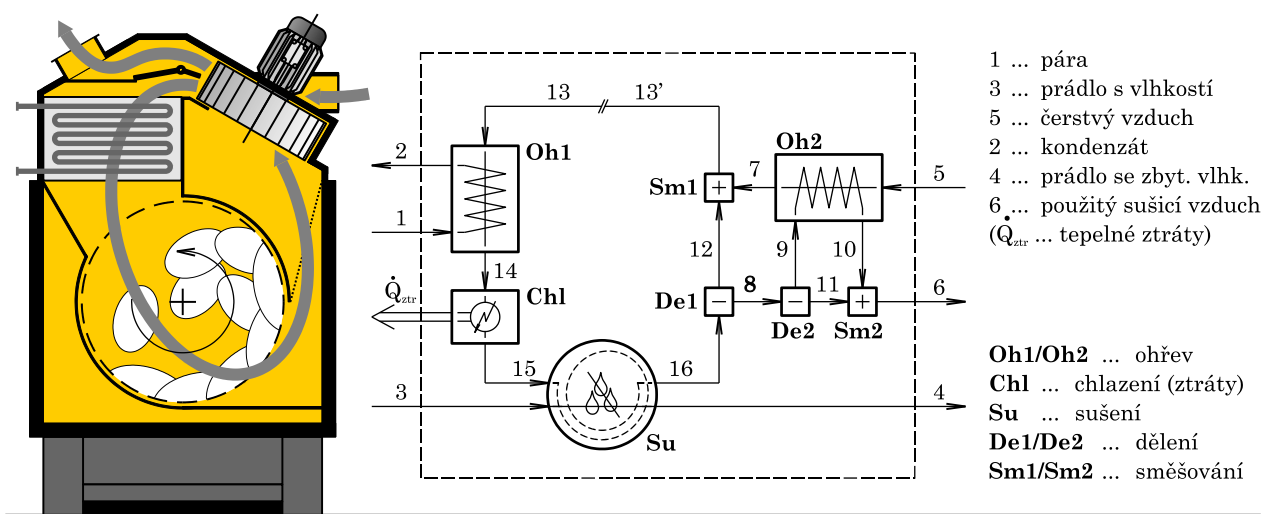
#### 4.1.3 Bilanční model sušicího zařízení

Na stejném principu, na kterém je založen model vsádkové pračky představený v minulé podkapitole, byl navržen model bubnového sušiče. Lze ho však využít i pro ostatní sušicí zařízení – žehlič a finišer. Model, jehož schéma je na obr. 6, rovněž respektuje fakt, že se sušicí cykly mohou skládat z více kroků (např. rozvolnění prádla, sušicí fáze a fáze ochlazování) a lze pro něj sestavit obdobnou soustavu rovnic, jako to bylo provedeno v případě vsádkové pračky.



obr. 6: Schéma bilančního modelu sušiče, resp. jednotlivých kroků operace sušení

Jelikož některé sušiče využívají vnitřní recirkulaci sušicího vzduchu, resp. rekuperaci tepla z odpadního sušicího vzduchu, byl dále navržen bilanční model, jehož schéma s popisem je na obr. 7, který je složen z jednotkových operací (ohřev, chlazení, dělení, směšování aj.) tak, aby principiálně odpovídal reálnému systému.



obr. 7: Schéma modelu bubnového sušiče složeného z jednotkových operací

## 4.2 NÁVRH SBĚRU PROVOZNÍCH DAT

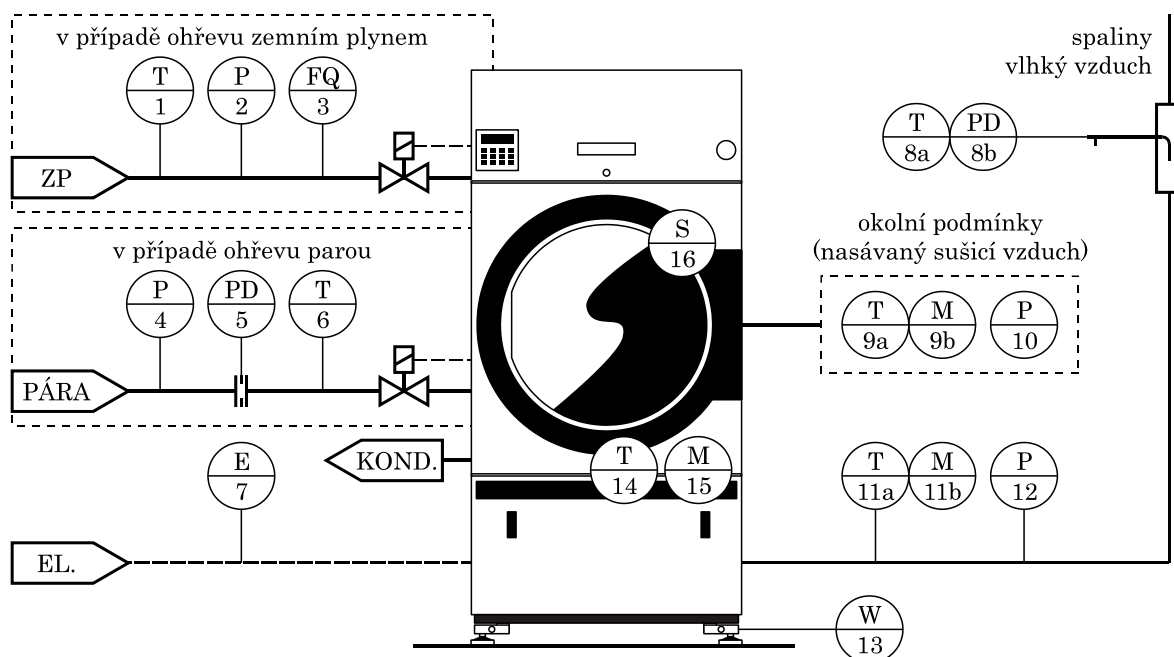
### 4.2.1 Sběr dat v komerčních prádelnách

Dostatek aktuálních informací (dat) o spotřebách provozu a jeho dílčích zařízeních je zásadní pro včasné odhalení poruch či nestandardních provozních stavů. Provozovatel, který denně sleduje dílčí spotřeby, rychle pozná, že je „něco špatně“ tím, že hodnoty spotřeb vybočují z normálu. Snadno tak například odhalí vadný ventil, který trvale propouští vodu do kontinuální pračky, a zamezí tak zbytečným finančním ztrátám způsobeným navýšením nákladů na čerstvou vodu a její úpravu. Pokud se sleduje i produktivita provozu (množství zpracovaného prádla) nebo ještě lépe jeho dílčích zařízení, je vhodné spotřeby k produktivitě vztahovat.

Obecné osmero pokynů pro sběr provozních dat v průmyslových prádelnách a jejich zpracování je následující:

- 1) Instalovat měřidla na přípojky energií a vody (obvykle lze využít fakturační měřidla).
- 2) Oddělit spotřeby technologie (kotelna, pračky, sušiče, žehliče atd.) od druhotných spotřeb (vytápění, sanitární zázemí, kanceláře atd.) instalací podružných měřidel.
- 3) Všechny nebo alespoň klíčové technologické spotřebiče vody vybavit vodoměry.
- 4) Všechny nebo alespoň klíčové technologické spotřebiče a zdroje páry nebo teplé vody, které pro ohřev využívají zemní plyn, vybavit plynoměry a manometry.
- 5) Všechny nebo alespoň klíčové technologické spotřebiče a zdroje páry nebo teplé vody, které pro ohřev využívají elektrickou energii, vybavit elektroměry (pro měření činné energie).





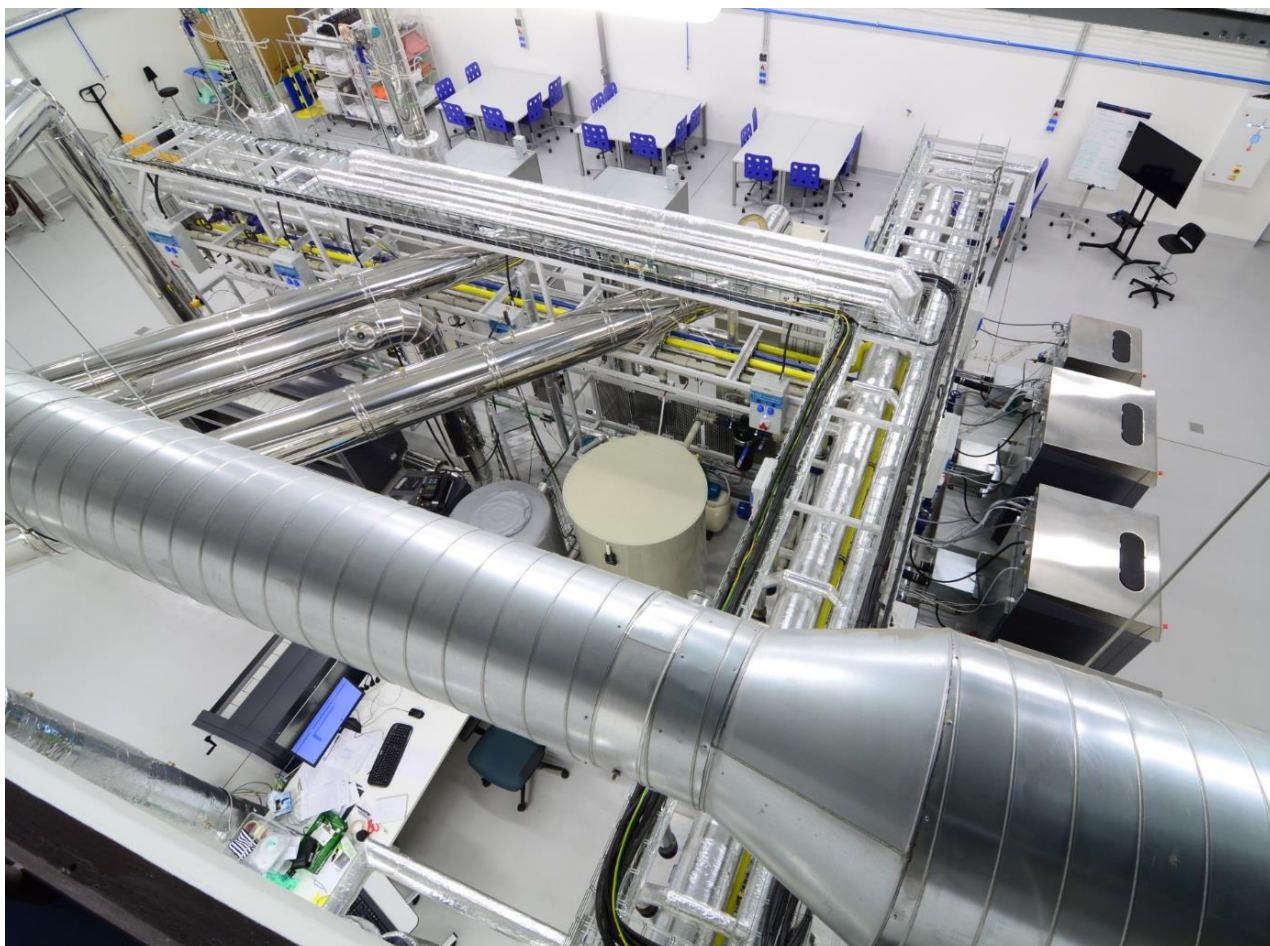
obr. 9: Zjednodušené schéma P&I se souborem měřidel pro zjišťování provozních parametrů bubnového sušiče s elektrickým, plynovým nebo parním ohřevem

Symbols měřených veličin ve schématech na obr. 8 a obr. 9 značí: T – teplota, M – vlhkost, P – tlak, PD – diferenční tlak, FQ – kumulovaný průtok, E – elektrické veličiny, W – hmotnost.

### 4.3 UNIVERZÁLNÍ EXPERIMENTÁLNÍ INFRASTRUKTURA A MODEL ENERGETICKY NÁROČNÉHO PROCESU

Motivace k vybudování univerzální experimentální infrastruktury a modelu energeticky náročného procesu v rámci Laboratoře energeticky náročných procesů (LENP, obr. 10), NETME Centre, byla popsána v úvodu. Samotná infrastruktura umožňuje připojit a testovat široké spektrum domácích a průmyslových spotřebičů – kromě praček, sušičů, žehliček a jiné prádelenské techniky to mohou být např. reaktory, myčky, sterilizátory, chladničky, mrazničky – a dále různá sekundární zařízení – úpravny vody, automatické dávkovače, výměníky tepla, zásobníky tepla, tepelná čerpadla, kogenerační jednotky a podobně. Jsou k dispozici přípojky elektřiny, vody, zemního plynu, tlakového vzduchu, dvou parokondenzátních okruhů, chladicího okruhu, dále technologická vzduchotechnika, spalínovody a připojení na kanalizaci. Moderní měřicí technika umožňuje centralizovaný sběr dat z měření nejrůznějších fyzikálních veličin – od měření teplot, tlaků a průtoků přes vlastnosti elektrické sítě po tenzometrické měření deformací konstrukce strojů.

Integrací uceleného souboru prádelenské techniky a provozního příslušenství do infrastruktury vznikl plně funkční model průmyslové prádelny s kapacitou až 500 kg prádla za směnu s nadstandardním výzkumným zázemím jako již zmiňovaný model energeticky náročného procesu (ENP). Kapacita 500 kg prádla za směnu je dostatečně nízká na to, aby provoz nebyl ekonomicky příliš náročný a zároveň dostatečně vysoká na to, aby měl model dostatečnou vypovídající schopnost.



**obr. 10: Laboratoř energeticky náročných procesů – pohled z galerie v patře na stojanovou ocelovou konstrukci s rozvody médií a připojené spotřebiče v přízemí laboratoře**

Model ENP tvoří pračky, sušiče, žehliče, žehlicí lis, úpravná vody a systém dávkování prací chemie, soubor testovacího prádla, systém identifikace prádla na radiové frekvenci a nezbytného provozního příslušenství, které musí být součástí každé průmyslové prádelny.

Soubor praček, sušičů a žehličů byl volen tak, aby obsahoval větší počet geometricky shodných strojů s různými druhy ohřevu. To umožňuje pružně měnit zpracovatelský výkon provozu od cca 150 do 500 kg prádla za směnu a objektivně porovnávat různé způsoby ohřevu, resp. různá optimalizační opatření mezi stroji shodné velikosti a kapacity.

Jádro technologie tvoří pět průmyslových odpružených praček (obr. 11) značky Primus modelové řady FX s kombinovaným parním a elektrickým ohřevem. Konkrétně:

- a) 2 ks modelu FX240 s nominální kapacitou bubnu 24 kg (ozn. WEX1 a WEX2),
- b) 2 ks modelu FX180 s nominální kapacitou bubnu 18 kg (ozn. WEX3 a WEX4),
- c) 1 ks modelu FX80 s nominální kapacitou bubnu 8 kg (ozn. WEX5).

Sušení prádla do sucha a předsušování prádla před žehlením zajišťují tři průmyslové bubnové sušiče (obr. 12) Primus modelové řady T s různými typy ohřevu. Konkrétně:



**obr. 11: Sestava vsádkových praček (zleva: WEX1 až WEX5)**



**obr. 12: Plynová mikroturbína (zcela vlevo) a sestava bubnových sušičů (zleva: COD1 až COD3)**



**obr. 13: Sestava válcových žehliček (zleva: IRO1, IRO2)**

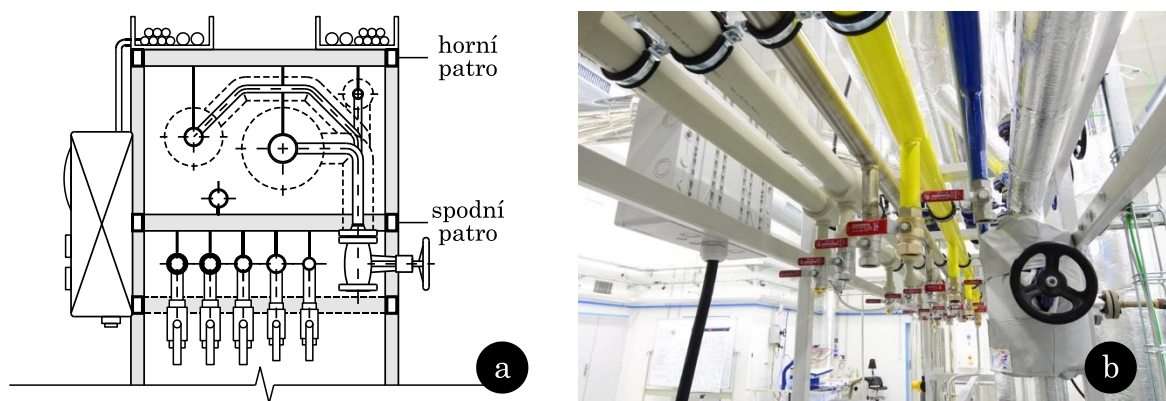
- a) 1 ks T24 G s nominální kapacitou bubnu 24 kg a plyn. ohřevem (ozn. COD1),
- b) 1 ks T24 S s nominální kapacitou bubnu 24 kg a parním ohřevem (ozn. COD2),
- c) 1 ks T16 E s nominální kapacitou bubnu 16 kg a el. ohřevem (ozn. COD3).

Sekce žehlení sestává ze dvou geometricky shodných válcových žehliček značky Primus (obr. 13):

- a) 1 ks I33–200 G s plynovým ohřevem a pracovní šířkou 2 m (ozn. IRO1),
- b) 1 ks I33–200 E s elektrickým ohřevem a pracovní šířkou 2 m (ozn. IRO2).

Z investičních prostředků projektu NETME Centre byla také pořízena plynová mikroturbína Capstone C30 (na obr. 12), která při spalování zemního plynu generuje až 30 kW elektrického výkonu a ve spalinách (o teplotě okolo 300 °C) až 90 kW tepelného výkonu (cca 60 kW efektivně). Pořízení tohoto zařízení bylo motivováno výzkumem jeho využití v průmyslových prádelnách.

Základem procesní infrastruktury je autorem na míru navržená dvoupatrová stojanová ocelová konstrukce (SOK) pro rozvod médií, která má v půdorysu tvar asymetrického písmene „T“ (viz obr. 10). Tvoří ji dva na sebe kolmé segmenty s délkou přibližně 7 m, šířkou 0,8 m a výškou 2,8 m. Každý segment má při pohledu shora 9 čtvercových polí – sektorů. Uspořádání rozvodů na ocelové konstrukci je na obr. 14 (a). Na horním patře jsou při krajích uloženy drátěné žlaby pro kabely silnoproudu, které jsou svedeny do podružných rozvaděčů připevněných po bocích konstrukce. Pod horním patrem je zavěšeno potrubí pro NTL páru, STL páru, STL kondenzát a v některých úsecích potrubí jako samostatný přívod zemního plynu pro plynovou mikroturbínu. Pod spodním patrem je zavěšeno (viz obr. 14 b): 2krát polypropylenové potrubí pro vodu, potrubí z nerezové oceli pro vodu, potrubí pro zemní plyn, ocelové potrubí pro tlakový vzduch a v některých úsecích potrubí pro NTL kondenzát. Součástí infrastruktury jsou také rozvody prací chemie, kanalizace a hlavně technologické vzduchovody a spalinovody.



obr. 14: Rozvod médií po ocelové konstrukci: (a) náčrtek, (b) pohled pod spodní patro

Ze své podstaty umožňuje 18 sektorů připojit a testovat až 18 zařízení. Toho času je instalováno 11 zařízení (5 praček, 3 sušiče, 2 žehliče a plynová mikroturbína). Jeden zkušební stand (označen X) není trvale obsazen žádným zařízením a umožňuje tedy okamžitou instalaci prakticky jakéhokoliv spotřebiče, jelikož je

vybaven všemi přípojkami, které jsou v laboratoři dostupné, a navíc v největší možné dimenzi.

Jedinečnost procesní infrastruktury tvoří zejména propracovaná silnoproudá elektroinstalace, vodní hospodářství se systémem recirkulace máchací vody a parokondenzátní okruh s dvěma tlakovými úrovněmi – nízkotlakou (0,3–1 bar g) a středotlakou (3–8 bar g).

Pro snadnou integraci měřicí techniky byl autorem navržen systém perforovaných nerezových plechů, které umožňují upnout měřidla pomocí standardně vyráběných montážních konzol a nosníků, objímek, rozpěrek a spojovacího materiálu. Tyto plechy jsou uchyceny šroubovými spoji na úchytky ocelových rámu, které jsou vevařeny do střední části stojanové ocelové konstrukce. Toto umístění je vhodné z toho důvodu, že je přímo pod přípojkami provozních látek a zároveň co nejbližší zadní straně spotřebiče, kam jsou vyvedeny přípojné body stroje. Pracovní látky se vedou hadicemi od přípojky do měřidla a z měřidla ke spotřebiči. Elektrické vedení od měřidel se ukládá do kabelových žlabů, které jsou zavěšeny pod rámy s perforovanými deskami. Kabelovým žlabem se kabely vedou do hlavního rozvaděče MaR zavěšeného na jižním konci SOK, kde je umístěna většina modulů měřicí ústředny.

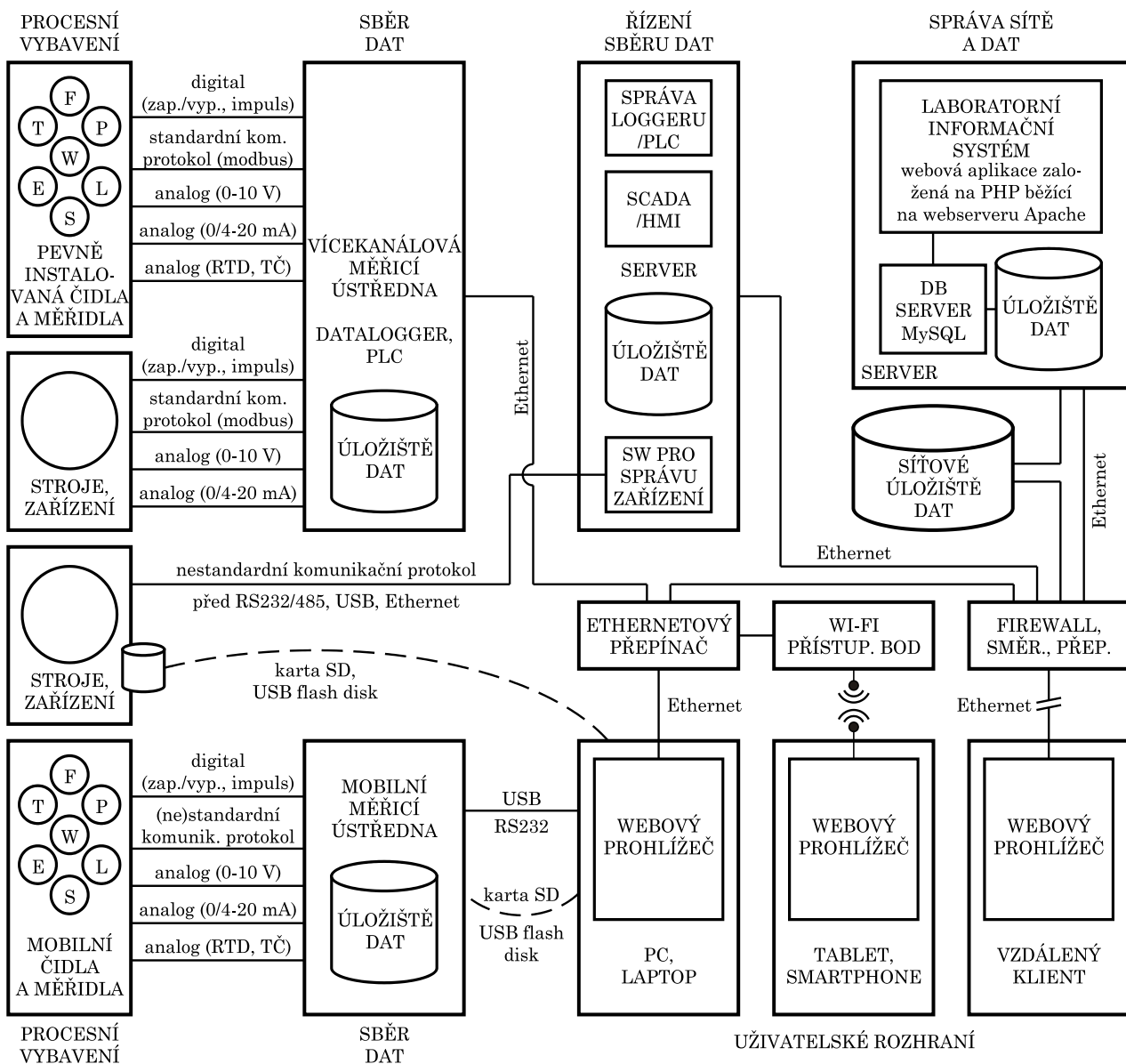
Soubor čidel a měřidel je z naprosté většiny navržen podle poznatků uvedených v podkapitole 4.2. Umožňuje měření hmotnosti, teploty a vlhkosti, tlaku, průtoku a rychlosti proudění, vlastností elektrické sítě, vodivosti kapalin a deformací materiálu. V tab. 3 je přehled, který uvádí, jaké veličiny měřidla sledují u jakých komponent modelu ENP, a dále způsob jejich propojení s ústřednou pro sběr dat.

Jako hlavní ústředna pro sběr dat slouží výrobek ProfiMessage od německého výrobce Delphin Technology AG. Jde o modulární systém umožňující kombinovat různě vybavené měřicí karty tak, aby celek co nejlépe vyhovoval potřebám MaR. Dohromady je k dispozici 107 univerzálních napěťových/proudových analogových vstupů s multiplexovanými 24bitovými A/D převodníky umožňující také přímé připojení odporových teplotních čidel a termočlánků, 8 analogových výstupů, 22 impulsních (digitálních) vstupů, 52 dvoustavových (digitálních) vstupů, 39 dvoustavových (digitálních) výstupů. Mimo to jsou k dispozici sběrnice RS232, RS485, CAN a další. Dále je laboratoř vybavena měřicí ústřednou pro rychlé děje EMS DV 803 od firmy Ing. Miroslav Pohl - Elektronické měřicí systémy, která umožňuje přímé měření až 32 kanálů (tenzometrů, akcelerometrů, termočlánků a dalších čidel v různých kombinacích). Součástí každého kanálu je předzesilovač a samostatný 16bitový A/D převodník se vzorkovací frekvencí až 3,2 kHz.

Ze schématu na obr. 15, který ukazuje propojení měřicí a výpočetní infrastruktury, je dobře patrný jev, jenž byl hlavní motivací pro návrh a zahájení realizace informačního systému popsaného v následující kapitole, a to je velké množství zdrojů měřených dat v Laboratoři ENP i mimo ni v rámci sběru dat v provozech komerčních prádelen.

**tab. 3: Přehledová tabulka využití měřidel a jejich propojení s ústřednou pro sběr dat**

<i>veličina</i>	<i>čidlo/měřidlo</i>	<i>propojení s ústřednou pro sběr dat</i>	WEX1-5 / pračka el./parní	COD1 / sušič plynový	COD2 / sušič parní	COD3 / sušič elektrický	IRO1 / žehlič plynový	IRO2 / žehlič elektrický	TUR / plyn. mikroturbína	X / univ. zkušební stand
teplota okolního vzduchu	prostorové teplotní čidlo	analogové (4–20 mA)	•	•	•	•	•	•	•	•
vlhkost okolního vzduchu	prostorové vlhkostní čidlo	analogové (4–20 mA)	•	•	•	•	•	•	•	•
atmosférický tlak	prostorové čidlo atm. tlaku	analogové (4–20 mA)	•	•	•	•	•	•	•	•
činný/jalový/zdánlivý el. výkon a energie aj.	analýzátor elektrické sítě	RS485 (Modbus)	•	•	•	•	•	•	•	•
hmotnost prádla před a po pracovním cyklu	můstková/plošinová váha	RS232	•	•	•	•	•	•		•
hmotnost stroje se vsádkou	tenzometrické buňky	analogové (4–20 mA)	•	•	•	•				•
průtok čerstvé a recirkulované vody	indukční průtokoměry	impulsní (1 i./0,1 l)	•							•
vodivost vody	vodivostní čidlo s tepl. kompenzací	analogové (4–20 mA)	•							•
teplota čerstvé a recirkulované vody	teplotní čidlo PT1000	analogové (RTD)	•							•
teplota odpadního vzduchu / spalin zemního plynu	teplotní čidlo PT1000	analogové (RTD/ 4–20 mA)		•	•	•	•	•	•	•
vlhkost odpadního vzduchu / spalin zemního plynu	vysokoteplotní vlhkostní čidlo	analogové (4–20 mA)		•	•	•	•	•		•
rychlost proudění odpad. vzduchu / spalin	Prandtlova trubice, převodník dif. tlaku	analogové (4–20 mA)		•	•	•	•	•	•	•
spotřeba zemního plynu	mechanický plynoměr	impulsní (1 i./0,01 m <sup>3</sup> )		•			•		•	•
průtok syté páry / tepla (abs. tlak, diferenční tlak, teplota)	clonová měřicí trať s vyhodnocovací jednotkou	RS485 (Modbus)	•		•					•
tepelné namáhání vybr. míst konstrukce	termočlánek (TČ) (typ K nebo T)	analogové (TČ K/T)	•	•	•	•	•	•	•	•
deformace vybraných míst konstrukce	tenzometr	analogové (napěťové)	•	•	•	•	•	•	•	•
stav ventilů, stykačů, zámků dveří aj.	mech. kontakt nebo relé	2stavové (0/24 V)	•	•	•	•	•	•	•	•



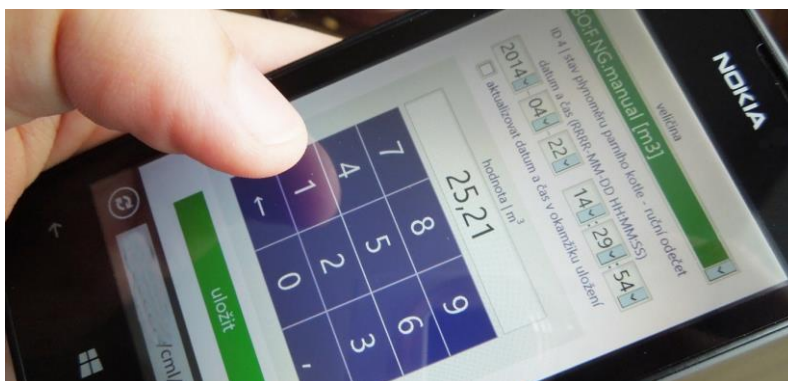
obr. 15: Schéma propojení měřicí a výpočetní infrastruktury

#### 4.4 ORGANIZACE DAT – NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU

V zájmu zefektivnění organizace množství dat a informací, které se začaly sbírat od zahájení provozu modelu ENP, vznikla potřeba vytvořit informační systém, který by umožňoval:

- a) import a správu dat z měření z různých zdrojů,
- b) správu údajů o měřicí technice (pro automatický export příloh k protokolům z měření) a měřených veličin,
- c) správu provozních záznamů strojů a zařízení (provozní deníky) s informacemi o době provozu stroje, spotřebách, produktivitě, pravidelné údržbě, opravách, konstrukčních úpravách a podobně,
- d) správu projektů a zakázek,
- e) správu informací o osobách a obchodních subjektech.

Jádrem systému je relační databáze (MySQL), k jejímuž ovládní bude sloužit webová aplikace na bázi PHP, která bude umožňovat paralelní přístup více uživatelům – pracovníkům Laboratoře ENP. Databáze a webová aplikace je toho času krátce po zahájení realizační fáze. Jako první je plánováno spustit modul správy dat z měření (na obr. 16). Systém byl nazván CML – centrální mozek laboratoře, což vyjadřuje myšlenku, že v budoucnu bude systém centrálním úložištěm poznatků, které v laboratoři vzniknou.



obr. 16: Pohled na rozpracovaný modul správy měřených dat – ukládání ručních odečtů stavů měřidel (optimalizováno pro dotykové displeje)

## 4.5 DEFINICE MOŽNOSTÍ HODNOCENÍ A SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PROCESU

### 4.5.1 Hodnocení energetické náročnosti

Pro hodnocení energetické náročnosti, resp. spotřeb energií a vody procesu jako celku a jeho dílčích operací je vhodné tyto spotřeby vztahovat na jednotku množství prádla – nejlépe hmotnostní jednotku zcela suchého prádla. Tento přístup se osvědčil při provádění energetických auditů v komerčních prádelnách v roce 2013. V rámci nich byly také vytvořeny původní protokoly k určení energetické náročnosti prací a sušících strojů. Aby bylo možné objektivně srovnávat měrné spotřeby, je nezbytné brát v úvahu vlastnosti prádla před a po zpracování. Náročnost samotného hodnocení se může výrazně lišit v závislosti na tom, zda slouží pro porovnávání dvou či více provozních stavů jednoho zařízení či konkrétního provozu, např. před a po rekonstrukci, nebo pro porovnávání různých prádelenských provozů mezi sebou. Lze tušit, že druhý případ je značně náročnější. Další možností, jak spotřeby hodnotit, je srovnávat je s určitou teoretickou minimální možnou hodnotou – termodynamickým minimem. Pro tento účel byl sestaven příklad, který představuje výpočet měrné spotřeby tepla pro ohřev prací lázně a výpočet měrné spotřeby tepla pro ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti z prádla po mechanickém odvodnění s využitím dříve uvedených matematických modelů. Je uvažováno se 4 různými případy prádla s různým materiálem, mírou znečištění a různými technologickými postupy, resp. podmínkami. Mezi jednotlivými případy jsou značné rozdíly dané různými vstupními podmínkami – zejména materiálem prádla a nastavením pracího procesu (pracím programem). Vedlejším produktem tohoto příkladu (výpočtu) je

odhad spotřeb vody a produkce odpadní vody. Je z něj patrný význam systému recirkulace máchací vody, kdy prakticky celé množství vody potřebné k předpírce a hlavnímu praní se dá pokrýt recirkulovanou máchací vodou.

#### **4.5.2 Snižování spotřeb**

V prvním kroku při hledání úspor je třeba prověřit, zda je provoz správně organizován a zda jsou vhodně zvoleny technologické podmínky. Jde např. o:

- a) zvýšení účinnosti odvodnění prádla po praní zvýšením teploty máchací lázně (při využití recirkulace máchací vody se teplo zužitkuje při hlavním praní),
- b) větší míru sušení prádla na žehličích, jelikož bývají z hlediska spotřeby energie efektivnější (nebývá vhodné pro menší provozy, kde to naopak více zatěžuje obsluhu žehličů, čím se mohou zvýšit náklady na mzdy),
- c) dobrou návaznost dílčích operací a rovnoměrné vytížením personálu.

K opatřením, která vyžadují vyšší investice (např. rekonstrukce energetického systému či aplikace nových rekuperačních a recirkulačních systémů), je vhodné přikročit, až když jsou vyčerpány předchozí možnosti. S tématem souvisejí následující případové studie.

#### **4.5.3 Případová studie I: Vliv regionu na strukturu provozních nákladů**

Případová studie, jež byla publikována v [10], se zabývá odhadem provozních nákladů průmyslové prádelny s denní kapacitou 500 kg prádla ve třech regionech: Německu, Francii a České republice. Sledované provozní náklady jsou: náklady na energii pro ohřev během praní, sušení a žehlení (varianta A – teplo pro ohřev se získává ze zemního plynu, varianta B – teplo pro ohřev je dodané elektrickou energií); náklady na provoz strojů – elektrickou energii pro pohony (motory, ventilátory, čerpadla) a řízení strojů; náklady na čerstvou vodu a zpracování odpadní vody z pracího procesu; přímé náklady na mzdy. Studie potvrdila předpoklad, že provozní náklady prádelenského zařízení se v různých zemích liší a že ceny energií nejsou rozhodujícím faktorem v provozních nákladech. Tím je lidská práce.

#### **4.5.4 Případová studie II: Rekuperace odpadního tepla**

Případová studie byla publikována v [11]. Jde o návrh protiproudého deskového výměníku typu vzduch-vzduch se jmenovitým výkonem 100 kW využívající odpadní teplo z tunelového finišeru pro předehřev sušicího vzduchu pro bubnové sušiče. Návrh staví na datech naměřených v reálné komerční prádelně.

#### **4.5.5 Případová studie III: Komplexní rekonstrukce prádelny**

Případová studie, která byla publikována v [12], ukazuje použití softwaru *W2E* [13] při bilančních výpočtech energetického systému prádelenského provozu, který zpracovává 1,5 tuny prádla za hodinu, ve stavu před a po celkové rekonstrukci. Studie ukazuje, jak výrazný rozdíl spotřeby energií, tj. spotřeby zemního plynu, může celková rekonstrukce provozu způsobit. V prvním případě činí nárok na zemní plyn 354 m<sup>3</sup>/h, tj. 2,4 kWh/kg prádla; v druhém případě jde pouze o 140 m<sup>3</sup>/h, tj. 0,95 kWh/kg prádla.

## 5 ZÁVĚR

Výzkum v oblasti profesní údržby prádla (PÚP) je dlouhodobě zanedbáván, a to jak v ČR, tak ve světě. Svědčí o tom nejen nedostatek odborných a vědeckých publikací, ale také absence obecně uznávaných metodických, resp. legislativních pokynů se zaměřením na dlouhodobou udržitelnost prádelenských provozů. Na obor tak v současnosti mají větší vliv marketingové strategie dodavatelů prádelenských technologií nežli systematický výzkum a vývoj. Naděje na změnu této situace přišla díky výstavbě experimentálního prádelenského provozu jako modelu energeticky náročného procesu (ENP), který byl vybudován v rámci Laboratoře energeticky náročných procesů Centra nových technologií pro strojírenství (NETME Centre) při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně.

Technické řešení a dozor nad výstavbou modelu ENP a jeho infrastruktury, která byla dokončena v létě roku 2013, autor předkládá jako klíčový výsledek své práce. Jedná o jedinečnou experimentální základnu pro základní i aplikovaný výzkum nejen v oblasti profesní údržby prádla, jelikož je řešena s ohledem na maximální univerzálnost a umožňuje tím integraci a následné testování širokého spektra průmyslových i domácích spotřebičů.

V rámci výstavby laboratoře vzniklo několik původních technických řešení, jako například koncept centrálního rozvodu provozních látek po stojanové ocelové konstrukci, sběrný žlab a zásobní nádrž jako součást systému recirkulace máchací vody, způsob upínání měřicí techniky na perforované plechy či speciální železobetonové podstavce pod aparáty umožňující snadnou manipulaci se strojem a usnadňující nakládku a vykládku prádla. Souhrn osobních přínosů autora je graficky znázorněn na obr. 17.

Podle dostupných informací je předkládaná dizertační práce pravděpodobně první vědeckou prací, která se dlouhodobě a systematicky zabývá snižováním energetické náročnosti PÚP. Představuje stav poznání ke dni odevzdání práce, přičemž autor předpokládá, že možnosti modelu ENP způsobí výraznou akceleraci výzkumu a vývoje v této oblasti. V současnosti (v roce 2014) se v rámci Laboratoře ENP řeší již dvě další dizertační práce s obdobnou tematikou a zároveň je řešeno několik diplomových a bakalářských prací, které využívají vytvořenou infrastrukturu pro provádění plánovaných experimentů, resp. sběr dat za účelem vytváření matematických modelů.

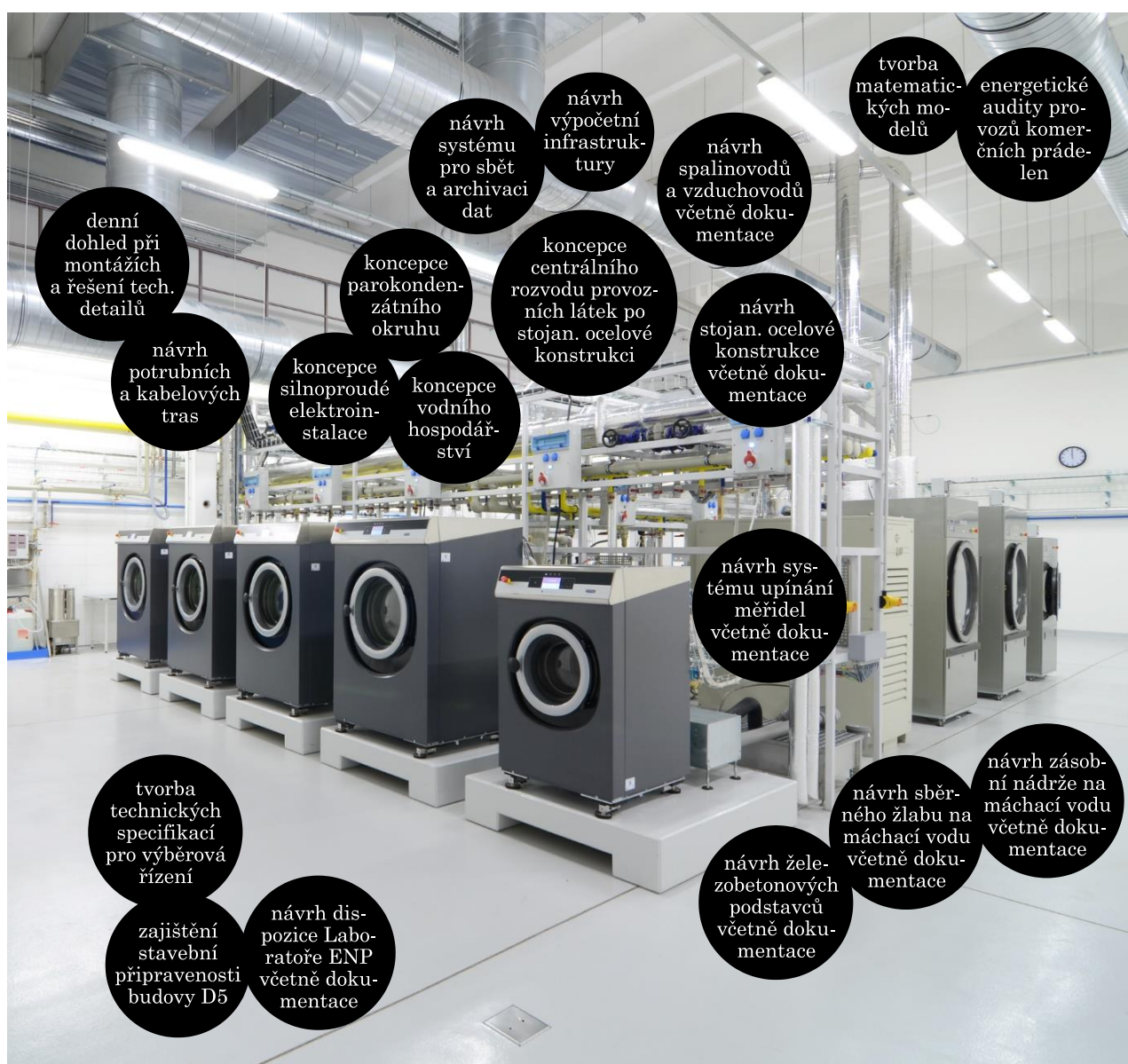
Práce upozorňuje na faktory, které ovlivňují proces PÚP, a na vazby mezi nimi. Může se tak stát zdrojem inspirace pro budoucí výzkum, resp. návrh témat pro závěrečné práce. Ve strukturované formě se přínosy dizertační práce očekávají v oblasti:

- a) vědy a výzkumu – možnost využít získané poznatky pro snižování energetické náročnosti principiálně podobných procesů,
- b) průmyslu – díky zvýšení konkurenceschopnosti a udržitelnosti provozů prádelen a inovacím pro výrobce,
- c) životního prostředí – díky snížení míry využití vodních a energetických zdrojů a s tím spojeného snížení emisí,

d) a výuky – využití modelu ENP k praktickým cvičením, kde si studenti ověří teoretické znalosti nabyté v průběhu studia a seznámí se se způsoby měření nejrůznějších veličin.

Budoucí práce se bude soustředit na:

- 1) dokončení realizační fáze informačního systému CML,
- 2) vývoj metod určování vlhkosti prádla využitelných v komerčním provozu,
- 3) moderní metody identifikace prádla a sledování toku materiálu,
- 4) integraci plynové mikroturbíny do procesu PÚP a možnosti využití generované elektrické a tepelné energie,
- 5) určování tepelných ztrát technologie,
- 6) aplikace rekuperačních systémů se zásobníky tepla.



obr. 17: Grafický souhrn osobních přínosů autora při výstavbě Laboratoře energeticky náročných procesů a k výzkumu v oblasti profesní údržby prádla

## LITERATURA

- [1] BOBÁK, P. *Systém pro výpočet stěžejních parametrů u energeticky náročného spotřebitele*. Brno 2007. 43 s. Bakalářská práce na FSI VUT v Brně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Pavlas
- [2] BOBÁK, P. *Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno 2009. 47 s., 10 s. příloh. Diplomová práce na FSI VUT v Brně. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph. D. Online, dostupné z [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18315](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18315)
- [3] *Scopus. The largest abstract and citation database of peer-reviewed literature*. Online [cit. 15. 3. 2014] dostupné z <http://www.elsevier.com/online-tools/scopus>
- [4] TRIPATHI, S. K., TYAGI, R., NANDI, B. K. Removal of Residual Surfactants from Laundry Wastewater: A Review. *Journal of Dispersion Science and Technology*. 2013, vol. 34 (11), s. 1526–1534, ISSN: 0193-2691, DOI: 10.1080/01932691.2012.752328
- [5] RICE, R. G., MAGNANTI, J., WASHBROOK, J. The CaroMont Health Ozone Laundry System: Energy Savings, Improved Laundered Product Qualities and Return on Investment at Gaston Memorial Hospital, Gastonia, NC. *Ozone: Science and Engineering*. 2013, vol. 35, č. 5, s. 399–419, DOI: 10.1080/01919512.2013.798235.
- [6] KATSANIS, J. S., TSARABARIS, P. T., KOUFAKIS, E. I., POLYKRATI, A. D., PROIOS, A. N. An energy saving system for hospital laundries. In: *Proceedings of the 9th IASTED European Conference on Power and Energy Systems, EuroPES 2009*, s. 219–224, ISBN 9780889868076.
- [7] KATSANIS, J. S., TSARABARIS, P. T., BOURKAS, P. D., HALARIS, P. G., MALAHIAS, G. N. Estimating water and energy consumption of hospital laundries. *AATCC Review*. 2008, vol. 8, č. 7, s. 32–36, ISSN 15328813.
- [8] KOSEK, J. Energy efficiency in hospitality laundries. *Textile Rental*. 2008, vol. 91, č. 5, s. 54–58, ISSN 0195-0118.
- [9] WILLIAMSON, N., BANSAL, P. K. Experimental investigation of the energy efficiency of gas commercial laundry dryers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. 2004, vol. 218, č. 3, s. 143–152, ISSN 0954-4089, DOI: 10.1243/0954408041323421.
- [10] MÁŠA, V., BOBÁK, P., STEHLÍK, P., KUBA, P. Analysis of energy efficient and environmentally friendly technologies in professional laundry service. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2013, vol. 15 (3), s. 445–457, ISSN 1618-954X, DOI: 10.1007/s10098-013-0618-2.

- [11] BOBÁK, P., PAVLAS, M., MÁŠA, V., JEGLA, Z., KŠENZULIAK, V. Heat recovery in professional laundry care process. *Chemical Engineering Transactions*. 2012, vol. 29, s. 391–396, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1229066.
- [12] BOBÁK, P., GALČÁKOVÁ, A., PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V. Computational Approach for Energy Intensity Reduction of Professional Laundry Care Process. *Chemical Engineering Transactions*. 2011, vol. 25, s. 147–152, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1125025.
- [13] TOUŠ M., BÉBAR L., HOUDKOVÁ L., PAVLAS M., STEHLÍK P. Waste-to-energy (W2E) software - a support tool for decision making proces. *Chemical Engineering Transactions*. 2009, vol. 18, s. 971-976, ISSN 1974-9791.

# ŽIVOTOPIS

## Osobní informace

Příjmení, jméno Bobák, Petr  
Datum narození 4. června 1985  
Místo narození Olomouc  
Trvalé bydliště Rostislavovo nám. 6, Brno

## Kontakt

Telefon +420 606 581 030  
E-mail petr@bobak.cz

## Odborné vzdělání

2009–dosud Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, doktorské studium, obor Konstrukční a procesní inženýrství

2007–2009 Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, navazující magisterské studium, obor Procesní inženýrství, studium zakončeno státní závěrečnou zkouškou s hodnocením **PROSPĚL S VYZNAMENÁNÍM**

2004–2007 Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, bakalářské studium, obor Strojní inženýrství, studium zakončeno státní závěrečnou zkouškou s hodnocením **PROSPĚL S VYZNAMENÁNÍM**

2000–2004 Střední průmyslová škola strojnická v Olomouci, počítačový obor, studium zakončeno maturitní zkouškou s celkovým hodnocením **PROSPĚL S VYZNAMENÁNÍM**

## Pracovní zkušenosti

2012–dosud Ústav procesního a ekologického inženýrství, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně  
*Technický pracovník*

2008–dosud Osoba samostatně výdělečně činná v oboru grafického designu, fotografie a tvorby webových stránek a aplikací

## **Znalosti a dovednosti**

### *Jazykové znalosti*

anglický jazyk      aktivně

### *Počítačová gramotnost*

Kancelářské aplikace: MS Excel, MS Word, MS PowerPoint, web, e-mail

CAD systémy: AutoCAD (2D i 3D), Maple, SolidWorks (základy)

Grafické nástroje: Adobe Creative Suite, CorelDRAW, Gimp, Inkscape atd.

Serverové aplikace: Apache

Programování: DELPHI, VBA, PHP, XHTML & CSS, JavaScript

### *Pedagogické zkušenosti*

2009–dosud      vedení závěrečných prací (bakalářských, diplomových)

2013–dosud      vedení vybraných přednášek a cvičení předmětu  
Projektování a řízení procesů s tematikou projekce  
a výkresové dokumentace procesní infrastruktury

### *Další dovednosti*

Řidičský průkaz sk. B

Odborná způsobilost v elektrotechnice dle vyhlášky č. 50/78 Sb. §6/11

### **Zájmy**

Elektrotechnika, strojírenství, programování, manuální práce, grafický design, fotografie, hra na kytaru

## PŘEHLED VLASTNÍ LITERATURY

### *Články v časopise s impakt faktorem*

MÁŠA, V., BOBÁK, P., STEHLÍK, P., KUBA, P. Analysis of energy efficient and environmentally friendly technologies in professional laundry service. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2013, vol. 15 (3), s. 445–457, ISSN 1618-954X, DOI: 10.1007/s10098-013-0618-2.

### *Články v recenzovaném časopise*

BOBÁK, P., PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V., STEHLÍK, P. Analysis of Energy Consumption in Professional Laundry Care Process. *Chemical Engineering Transactions*. 2010, vol. 21, s. 109–114, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1021019.

BOBÁK, P., GALČÁKOVÁ, A., PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V. Computational Approach for Energy Intensity Reduction of Professional Laundry Care Process. *Chemical Engineering Transactions*. 2011, vol. 25, s. 147–152, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1125025.

BOBÁK, P., PAVLAS, M., MÁŠA, V., JEGLA, Z., KŠENZULIAK, V. Heat recovery in professional laundry care process. *Chemical Engineering Transactions*. 2012, vol. 29, s. 391–396, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1229066.

MÁŠA, V., BOBÁK, P., STEHLÍK, P., KUBA, P. Energy Intensive Process in Professional Laundry Service: Up-to-date Approach. *Chemical Engineering Transactions*. 2013, vol. 35, s. 259–264, ISSN 1974-9791, DOI: 10.3303/CET1335043.

## **ABSTRACT**

Doctoral thesis deals with professional laundry care process and reduction of energy intensity and use of other operational commodities used in the process. Professional laundry care process is a specific energy intensive process; its purpose is to re-establish original properties of the now dirty laundry so that it may fulfil its functions again. This is basically a recycling and regeneration process comprising many sub-operations. Key operation is washing of the laundry in a washing bath, which removes impurities from the laundry. This thesis describes the most common technology of impurities removal, which is washing in a hot washing bath in cooperation with mechanical work and detergents. However, all of the described procedures may also be applied on alternative technologies, such as ozone washing, washing with low-temperature enzymes and ultrasound. Water is applied in all these technologies as a soaking agent. Water must have appropriate properties and must be removed from the laundry after the washing process in subsequent operations (drying, ironing, and pressing).

Theoretical introduction of the thesis describes professional laundry care process in detail, and continues with mathematical modelling of the process and its main sub-operations (washing, drying) using mass and heat balance, and data acquisition and their application in research and development. Thesis further describes design of information system on the basis of relational database controlled by web application. This system enables to organize data and information from various sources – measured experimental data, data concerning measurement devices, operational records of machines, etc. Thesis further proposes how to evaluate and reduce energy intensity of a process. Descriptions are validated by examples and case studies.

Key section of the thesis is a chapter describing experimental infrastructure. This infrastructure integrates several instalments of laundry equipment and is a fully functional operation of industrial laundry facility with 500kg/shift capacity, which serves as a model of energy intensive process. Sophisticated infrastructure and data acquisition system allows measuring wide spectrum of physical entities and examining factors influencing energy intensity of processes, and relationships between these factors as well as effectiveness of various savings measures in real life facilities.

## ABSTRAKT

Práce se zabývá procesem profesní údržby prádla (PÚP) a způsoby, jak snižovat jeho požadavky na energie a další provozní komodity. PÚP představuje specifický energeticky náročný proces, jehož účelem je navrátit použitému prádlu jeho původní vlastnosti, aby mohlo opětovně plnit svou funkci. Tento ze své podstaty recyklační či regenerační proces se skládá z mnoha dílčích operací. Klíčovou operací je praní ve vodní lázni, kdy se z prádla odstraňují nečistoty. Práce se zaměřuje na nejčastěji používanou technologii odstraňování nečistot, což je praní v teplé vodní lázni za spolupůsobení mechanického účinku a prací chemie na prádlo. Uváděné postupy lze však využít i pro alternativní technologie jako například ozónové praní, praní s použitím nízkoteplotních enzymů či ultrazvuku. Ve všech případech se jako smáčedlo pro nečistoty používá voda, která musí mít určité vlastnosti a kterou je po praní potřeba z prádla odstranit navazujícími operacemi (sušení, žehlení, tvarování).

Po nezbytném teoretickém úvodu, který čtenáři blíže představí problematiku PÚP, se práce zabývá matematickým modelováním procesu a jeho hlavních dílčích operací (praní, sušení) metodou hmotnostních a energetických bilancí a sběrem provozních dat a jejich využitím. Téma je navíc podpořeno návrhem informačního systému na bázi relační databáze ovládané pomocí webové aplikace, který umožní organizovat data či informace z různých zdrojů – naměřená experimentální data, údaje o měřicí technice, provozní záznamy strojů a další. Práce dále definuje možnosti hodnocení a snižování energetické náročnosti procesu. Výklad je podpořen příklady a případovými studii.

Klíčovou částí práce je kapitola popisující vybudovanou experimentální infrastrukturu, na jejímž základě byl instalací uceleného souboru prádelenské techniky vytvořen plně funkční provoz průmyslové prádelny s kapacitou až 500 kg prádla za směnu jako model energeticky náročného procesu (ENP). Propracovaná infrastruktura a systém sběru dat umožňuje měřit široké spektrum fyzikálních veličin a zkoumat faktory, které ovlivňují energetickou náročnost procesu, a vazby mezi nimi, stejně jako zkoušet efektivitu různých úsporných opatření v provozním měřítku.