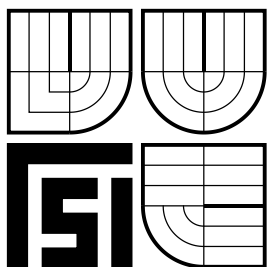


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENG.

# SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI PROCESU PROFESNÍ ÚDRŽBY PRÁDLA

ENERGY INTENSITY REDUCTION OF A PROFESSIONAL  
LAUNDRY CARE PROCESS

DIZERTAČNÍ PRÁCE  
DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Ing. PETR BOBÁK

ŠKOLITEL  
SUPERVISOR

prof. Ing. PETR STEHLÍK, CSc., dr. h. c.

BRNO 2014



# 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 studiemi.

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.

## Klíčová slova

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

## Bibliografická citace práce

BOBÁK, P. *Snižování energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 95 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.

# 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.

## Keywords

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

# Poděkování

Mé díky patří všem, kteří se mnou byli ochotni sdílet své odborné znalosti a zkušenosti nebo přímo či nepřímo přispěli k vybudování Laboratoře energeticky náročných procesů (LENP) v rámci NETME Centre na FSI VUT v Brně, a to zejména svému školiteli a autorovi projektu NETME Centre prof. Ing. Petru Stehlíkovi, CSc., dr. h. c., svému odbornému školiteli Ing. Martinu Pavlasovi, Ph. D.; kolegům z LENP: Ing. Vítězslavu Mášovi, Ph. D., Ing. Pavlu Kubovi a Ing. Mgr. Marku Vondrovi; odborníkům z prádelenské praxe: panu Vladimíru Blahovi, Jiřímu Keplovi, Ing. Vladimíru Kšenzuliakovi; zástupcům dodavatelských firem: Ing. Petru Stehlíkovi, Ing. Petru Matějkovi, Ing. Miroslavu Dušilovi, Ing. Petru Zejdovi, Ing. Zdeňku Hájkovi, Ing. Janu Němcovi; a pracovníkům montážních firem, kteří trpělivě snášeli mé perfekcionistické požadavky při výstavbě infrastruktury laboratoře: panu Františku Stříteckému (in memoriam), Miloši Šimčíkovi, Jaromíru Stříteckému, Danielu Dlhému, Josefu Nepomuckému, Petru Andersovi a panu Ivovi Drimlovi.

V neposlední řadě chci poděkovat partnerce Evě za podporu, toleranci mých pozdních příchoďů domů a jazykovou korekturu práce a rodičům za podporu při doktorském studiu.

Děkuji všem.

Projekt NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství, registrační číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002, vděčí za finanční podporu Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy v rámci operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace za přispění Evropské unie a Evropského fondu pro regionální rozvoj. Navazující fáze udržitelnosti centra je podporována projektem NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem dizertační práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Petra Stehlíka, CSc., dr. h. c., na základě vlastních poznatků získaných při studiu a konzultací s odborníky a že jsem veškeré literární a obrazové prameny správně a úplně citoval.

V Brně dne 22. dubna 2014

.....

Ing. Petr Bobák

# Obsah

Seznam použitých symbolů, zkratek a schématických značek.....	9
1 Úvod.....	13
1.1 Cesta k modelu energeticky náročného procesu .....	14
1.2 Návaznost práce, její cíle a vymezení tématu.....	16
1.3 Postup řešení a použité metody .....	17
1.4 Rešerše k tématu .....	18
2 Proces profesní údržby prádla.....	21
2.1 Vliv prádla a jeho znečištění na proces.....	22
2.2 Specifika procesu .....	25
2.2.1 Proměnlivost vlastností suroviny.....	25
2.2.2 Subjektivní vnímání kvality produktu .....	25
2.2.3 Množství provozních a odpadních látek a zdrojů tepla .....	26
2.2.4 Znečištění procesních proudů.....	26
2.2.5 Dynamika procesů.....	27
2.2.6 Nespojitosť a nízká současnost dílčích operací .....	27
3 Modelování procesu profesní údržby prádla .....	29
3.1 Bilanční model vsádkové pračky.....	32
3.2 Bilanční model sušicího zařízení.....	35
3.3 Využití softwaru W2E pro energetické a hmotnostní bilance .....	36
3.4 Kalkulace provozních nákladů profesní prádelny .....	37
4 Sběr dat a jejich využití.....	39
4.1 Sběr dat v komerčních prádelnách.....	39
4.2 Sběr provozních dat praček a sušicích zařízení .....	40
4.3 Využití softwaru Torreo .....	43
4.4 Využití bezdrátových senzorových sítí.....	45

5	Univerzální experimentální infrastruktura a model en. náročného procesu .....	47
5.1	Součásti modelu energeticky náročného procesu .....	49
5.1.1	Pračky, sušiče a žehliče.....	49
5.1.2	Úpravna vody a systém dávkování prací chemie .....	52
5.1.3	Žehlicí lis a provozní příslušenství .....	53
5.1.4	Testovací prádlo a systém identifikace na radiové frekvenci .....	53
5.2	Procesní infrastruktura .....	54
5.2.1	Silnoproudá elektroinstalace .....	58
5.2.2	Vodní hospodářství .....	59
5.2.3	Parokondenzátní a chladicí okruh.....	61
5.2.4	Rozvod zemního plynu a tlakového vzduchu.....	62
5.2.5	Plynová mikroturbína .....	63
5.3	Měřicí a výpočetní infrastruktura .....	63
5.3.1	Ústředny pro sběr dat .....	64
5.3.2	Čidla a měřidla.....	65
5.3.3	Výpočetní infrastruktura .....	68
6	Organizace dat – návrh informačního systému .....	71
7	Možnosti hodnocení a snižování energetické náročnosti procesu .....	73
7.1	Hodnocení energetické náročnosti.....	73
7.2	Snižování spotřeb.....	75
7.3	Případová studie I: Vliv regionu na strukturu provozních nákladů.....	77
7.4	Případová studie II: Rekuperace odpadního tepla .....	82
7.5	Případová studie III: Komplexní rekonstrukce prádelny .....	83
8	Závěr.....	87
	Seznam použitých zdrojů .....	89
	Publikace autora .....	93
	Seznam příloh .....	95



# Seznam použitých symbolů, zkratek a schématických značek

## Dolní indexy

<i>AE</i>	po odvodnění (after extracting)
<i>BI</i>	před žehlením (before ironing)
<i>D</i>	sušení (drying)
<i>DL</i>	suché prádlo (dry laundry)
<i>e</i>	elektrický (electrical)
<i>F</i>	rovné prádlo (flat laundry)
<i>fg</i>	výparné
<i>FIN</i>	konečná (final)
<i>G</i>	tvárové prádlo, oděvy (garments)
<i>h</i>	tepelný (heat)
<i>H<sub>2</sub>O</i>	voda
<i>i</i>	pořadové číslo kroku
<i>I</i>	žehlení (ironing)
<i>INI</i>	počáteční (initial)
<i>s</i>	číslo proudu
<i>T</i>	froté prádlo (terry cloth)
<i>W</i>	praní (washing)

## Symboly veličin

<i>CAP</i>	kapacita provozu (capacity)	[kg <sub>DL</sub> /den]
<i>c<sub>p</sub></i>	měrná tepelná kapacita	[kJ/kgK]
<i>DPY</i>	počet provozních dní za rok (day per year)	[den/rok]
<i>EEC</i>	spotřeba elektrické energie (electric energy consumption)	[kWh <sub>e</sub> /rok]
<i>FWC</i>	spotřeba čerstvé vody (fresh water consumption)	[kg <sub>H<sub>2</sub>O</sub> /rok]
<i>h</i>	měrná entalpie	[kJ/kg]
<i>HEC</i>	spotřeba tepla (heat energy consumption)	[kWh <sub>h</sub> /rok]
<i>k</i>	koeficient určující směr proudu (1 ... vstupní, -1 ... výstupní)	[-]
<i>m</i>	hmotnost	[kg]
<i>n</i>	celkový počet, např. kroků	[-]
<i>NOE</i>	počet zaměstnanců (number of employees)	[-]
<i>P</i>	podíl	[-]

<i>Q</i>	energie	[kJ]
<i>BR</i>	poměr lázně (bath ratio)	[kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>SEEC</i>	měrná spotřeba el. energie (spec. electric energy consumption)	[kWh <sub>e</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>SFWC</i>	měrná spotřeba čerstvé vody (spec. fresh water consumption)	[kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>SHEC</i>	měrná spotřeba tepla (specific heat energy consumption)	[kWh <sub>h</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>SMC</i>	měrná vlhkost prádla (specific moisture content)	[kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>SWWP</i>	měrná produkce odpadní vody (spec. waste water production)	[kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]
<i>t</i>	teplota	[°C]
<i>WWP</i>	produkce odpadní vody (waste water production)	[kg <sub>H2O</sub> /rok]
<i>HPD</i>	pracovních hodin za den (hours per day)	[h/den]




































## Zkratky

A/D	analogově/digitální
AJAX	asynchronous JavaScript and XML (extensible markup language)
BA	bavlna
CAN	druh sběrnice
CBW	kontinuální bubnová pračka (continuous batch washer)
CML	centrální mozek laboratoře
COD	kompaktní bubnový sušič (compact dryer)
CSV	souborový formát (comma-separated values)
CZ	Česká republika
ČR	Česká republika
DB	databáze, databázový
DC	stejnoseměrný
DE	Německo
DN	nominální průměr
EB	energetická bilance
ENP	energeticky náročný proces
FR	Francie
FSI	Fakulta strojního inženýrství (VUT v Brně)
HB	hmotnostní bilance
HEN	sít tepelných výměníků (heat exchanger network)
HF	high frequency
HMI	human-machine interface
HTTP	hypertext transfer protocol
HW	hardware
IPR	žehlicí lis (ironing press)
IRO	žehlič (ironer)

ISM	rádiové vysílání v průmyslu, vědě a zdravotnictví (industrial, scientific and medical)
KaM	Koleje a menzy (VUT v Brně)
LENP	Laboratoř energeticky náročných procesů
MaR	měření a regulace
MS	Microsoft
MySQL	typ databáze SQL (standard query language)
NETME	New Technologies for Mechanical Engineering (Nové technologie pro strojírenství)
NP	nadzemní podlaží
NTL	nízkotlaká
OPC	OLE for process control
OS	oborová specifikace
P&I	potrubí a instrumentace
PC	osobní počítač
PES	polyester
PK	primární klíč
PLC	programovatelný logický automat (programmable logic controller)
PÚP	profesní údržba prádla
RAID	vícenásobné diskové pole nezávislých disků (redundant array of independent discs)
RFID	identifikace na rádiové frekvenci (radio-frequency identification)
RS232	druh sběrnice
RS485	druh sběrnice
RTD	odporové teplotní čidlo (resistance temperature detectors)
SCADA	dispečerské řízení a sběr dat (supervisory control and data acquisition)
SOAP	simple object access protocol
SOK	stojanová ocelová konstrukce
STL	středotlaká
SW	software
SYD	systémový bubnový sušič (system dryer)
TČ	termočlánek
TUF	tunelový finišer (tunnel finisher)
TUR	plynová mikroturbína
UHF	ultra high frequency
ÚPEI	Ústav procesního a ekologického inženýrství (FSI VUT v Brně)
USB	druh sběrnice
VaVpI	věda a výzkum pro inovace
VBA	Visual Basic for Application
VK	vzdálený klíč

VPN	virtuální soukromá síť (virtual private network)
VTL	vysokotlaká
VUT	Vysoké učení technické (v Brně)
W2E	waste-to-energy
WEX	vsádková pračka s odstředivostí (washer-extractor)
WI-FI	technologie bezdrátového přenosu dat
WSDL	web services description language
WSN	bezdrátové senzorové sítě (wireless sensor network)
ZTI	zdravotně technické instalace
ŽP	životní prostředí

## Schématické značky

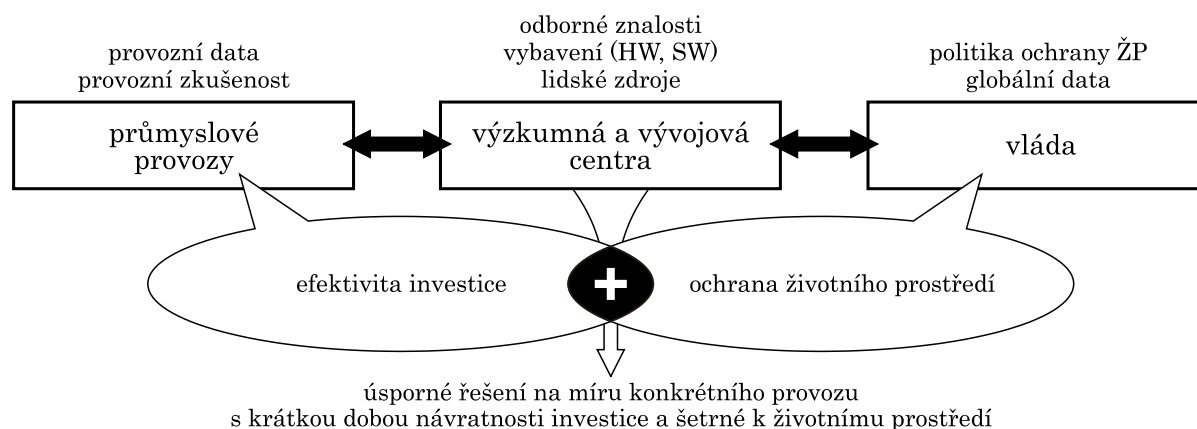
	potrubní vedení		elektrické vedení
	křížení vedení		odbočení/sloučení vedení
	ukončení potrubí		nezapojená přípojka
	propojení hadic		přírubový spoj
	uzavírací ventil závitový		uzavírací ventil přírubový
	kulový kohout závitový		motorický regul. ventil přírubový
	elektromagnetický ventil		zpětný ventil přírubový
	elektromag. trojcestný ventil		odvaděč kondenzátu přírubový
	přisávací ventil		filtr sítkový přírubový
	filtr jemný		čerpadlo
	systémový oddělovač		proti zápachová uzávěrka
	mezipřírubová clona		manometr
	měřič teploty		měřič vlhkosti
	měřič tlaku		měřič diferenciálního tlaku
	měřič tlaku s funkcí řízení		snímač hladiny s funkcí řízení
	měřič kumulovaného průtoku		měřič elektrických veličin
	měřič rychlosti (otáčení)		měřič hmotnosti
	měřič vodivosti		

# 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. Vlády vyspělých ekonomik po celém světě svou politikou ochrany životního prostředí stále více nutí průmyslové provozy tyto zdroje šetřit vydáváním různých nařízení nebo přímým ovlivňováním (zvyšováním) cen za využití zdrojů. Provozovatelé jsou tak vládami sice relativně účinně nuceni zdroji šetřit, ale kvůli nedostatečné kapacitě (časové, znalostní, finanční) nemají jak, nebo se obrací na externí soukromé firmy, které jsou ale obvykle ochotny prodat i jen zdánlivě úsporné řešení, které mají na skladě, jelikož jsou motivovány hlavně ziskem.

Aby mohlo být řešení, které spojuje zájmy provozovatele (efektivita investice) a vlády (ochrana životního prostředí), uvedeno do praxe, je třeba mnoha teoretických i praktických odborných znalostí, orientace v nejnovějších vývojových trendech, vynikající znalost konkrétního průmyslového odvětví a v neposlední řadě kvalitní databáze reálných provozních dat.

Takové nároky nemůže splnit ani provozovatel, který se soustředěně věnuje zajištění chodu svého byznysu, ani vláda, jež musí mít široký přesah přes všechna odvětví průmyslu a nemá prostor analyzovat jejich specifické nároky či se detailně seznamovat s konkrétními technickými řešeními. V tomto místě se otevírá prostor pro činnost nových výzkumných a vývojových center zaměřených na aplikovaný výzkum, která mohou vytvořit účinný můstek mezi vládou a podnikem. Nákres popsané situace je na obr. 1–1.



obr. 1–1: Nákres vztahu mezi průmyslovými provozy, VaV centry a vládou

Jedno z výzkumných a vývojových center, které bylo ochotno tuto roli přijmout a s nímž je tato dizertační práce úzce spjata, je *Centrum nových technologií pro strojírenství při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně* – tzv. *NETME Centre* (viz obr. 1–2).

*„Aktivity centra mají za cíl rozvinout spolupráci s aplikační sférou a posílit tak konkurenceschopnost regionu, podílet se na rozvoji znalostní ekonomiky regionu a umožnit soukromým subjektům snadný přístup k nejnovějším výsledkům výzkumu na smluvní bázi a s cílem zajistit maximální aplikační potenciál.“ [1]*



obr. 1–2: Značka projektu NETME Centre, která je dílem autora

Oblast zájmu *NETME Centre* je dána zaměřením jeho pěti divizí. Konkrétně jde o divize energetiky, procesů a ekologie (PPE), letecké a automobilní techniky (AAT), mechatroniky (M), virtuálního navrhování a zkušebnictví (VMDT) a progresivních kovových materiálů (AMM). Divize se dále dělí na celkem 40 odborných sekcí a laboratoří. Centrum je de facto mozaika pracovišť jednotlivých ústavů *Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně*, které mají potenciál zaujmout průmyslovou sféru a podílet se s ní na smluvním výzkumu a vývoji. Podstatnou součástí divize PPE je *Ústav procesního a ekologického inženýrství*, které má v *NETME Centre* toho času všech šest svých odborných sekcí a které bylo domovským pracovištěm autora při jeho doktorském studiu.

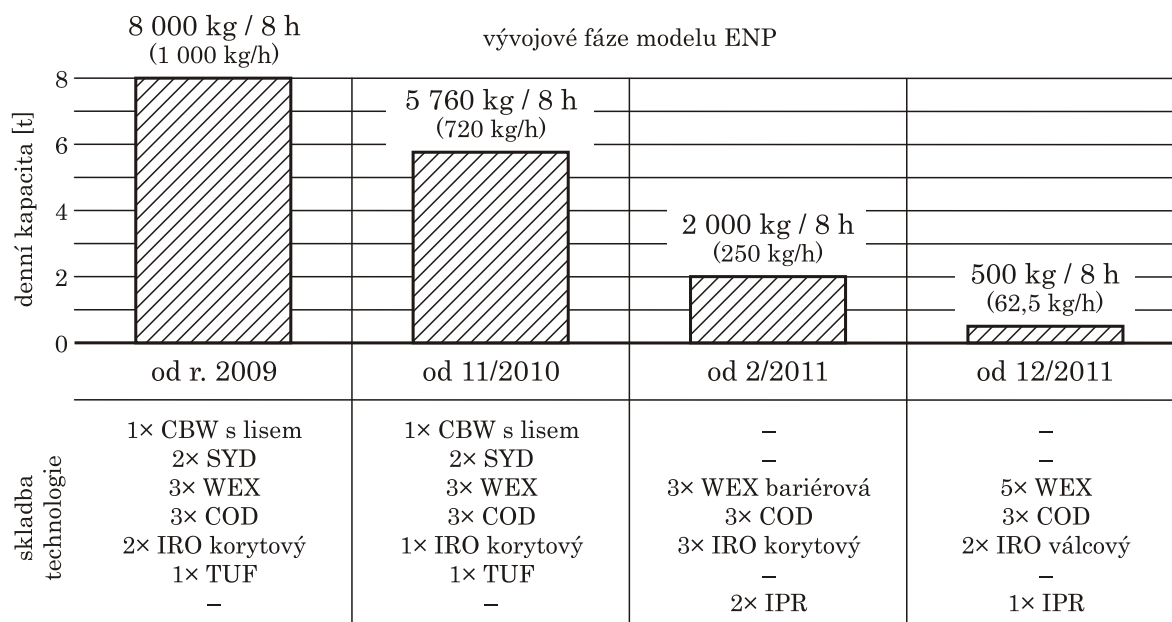
Komplexnost procesu profesní údržby prádla (PÚP), který je předmětem této práce, s sebou nese nutnost využít znalosti z různých oborů lidské činnosti. Proto se také dá PÚP označit za takřka učebnicový příklad z oboru procesního inženýrství. Je zde prostor pro energetiku, konstrukční inženýrství, matematické inženýrství, chemii, informatiku, automatizaci či ekonomii. Tato interdisciplinarita zvyšuje rozhled a kvalifikaci výzkumných pracovníků a zapojených studentů a tím jejich atraktivitu na trhu práce.

## 1.1 Cesta k modelu energeticky náročného procesu

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*, na kterém spolupracoval se společností zabývající se technologickou podporou prádelen ve střední a východní Evropě. Výsledkem projektu byly matematické modely, které vedly k návrhu optimalizovaného tepelného a vodního hospodářství kontinuálních praček [3].

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. Obavy se týkaly snížení výkonnosti provozu, pokud by se zvýšil počet odstávek strojů kvůli instalaci měřicí techniky a rekonfiguraci stroje. 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)*.

Mezi lety 2009 až 2011 prošel model ENP několika vývojovými stádii. Jak je patrné z infografiky na obr. 1–3, původně zamýšlená instalovaná kapacita provozu se postupně snížila z 8 tun prádla za směnu až na 1/16 této hodnoty.



obr. 1–3: Porovnání jednotlivých vývojových fází technologie modelu ENP  
(CBW – kontinuální pračka, SYD – systémový sušič, WEX – vsádková pračka, COD – kompaktní sušič, IRO – žehlič, TUF – tunelový dokončovač, IPR – žehlicí lis)

Zúžením spektra technologického vybavení se však výrazně zvýšila udržitelnost modelu, tedy pravděpodobnost zajištění pravidelných dodávek prádla – suroviny, bez které by nebylo možné model provozovat a získávat tak cenná provozní data a zkušenosti. 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. Dalším pozitivním efektem omezení původně plánované kapacity modelu ENP je to, že vznikl prostor se více zabývat samotnou infrastrukturou modelu. Z původně jednocelové infrastruktury pro pevnou sestavu prádelenské techniky vznikla infrastruktura variabilní – umožňující snadno vyměňovat nebo doplňovat spotřebiče, případně na jejím základně postavit model jiného průmyslového provozu.



obr. 1–4: Prostor Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre, před vybudováním infrastruktury a instalací modelu energeticky náročného procesu v létě roku 2012 (vlevo) a po dokončení instalačních prací v létě roku 2013 (vpravo)

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* (viz obr. 1–4). Laboratoř se nachází v budově D5 v areálu *FSI* na Technické ulici v Brně-Králově Poli. Laboratoř 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.

Model ENP, univerzální infrastruktura a související vybavení Laboratoře energeticky náročných procesů bylo pořízeno z investičních prostředků projektu *NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství*, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/01.0002, prostřednictvím veřejných zakázek, jejichž seznam je uveden v příloze [P1]. Autorovým příspěvím vznikla většina technických specifikací k uvedeným veřejným zakázkám nebo jejím částem, které definovaly vybavení LENP. Pestrůst předmětů výběrových řízení dokresluje širší oblasti, kterou autor musel předem nastudovat.

Popis technického řešení univerzální infrastruktury a modelu ENP je uveden v kapitole 5.

## 1.2 Návaznost práce, její cíle a vymezení tématu

Práce navazuje na autorovu bakalářskou práci [3], 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 [4], jež v této oblasti prezentuje vytvořené výpočtové nástroje.

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.

Oproti pracím [3] a [4] se tato práce zabývá také provozem průmyslových prádel s nižší kapacitou (do 2 000 až 4 000 kg prádla za směnu) vybavenými pouze vsádkovými pračkami. Zabývá se konvenční technologií 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.

### 1.3 Postup řešení a použité metody

Souhrn použitých metod při řešení práce uvádí tab. 1–1. Jak je z tabulky patrné, zásadní význam pro splnění cílů práce měla výstavba Laboratoře energeticky náročných procesů s experimentální infrastrukturou a modelem ENP.

tab. 1–1: Souhrn použitých metod při řešení práce

<i>záměr</i>	<i>metody naplnění záměru</i>
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)

Výstavba laboratoře představovala komplexní vědecko-inženýrský úkol. Aby byla zajištěna stavební připravenost budovy D5, hlavní budovy NETME Centre, kde je laboratoř umístěna, bylo potřeba účastnit se vybraných kontrolních dnů stavby, zpracovávat připomínky k projektové dokumentaci z hlediska různých profesí, prosazovat klientské změny stavby (vůči investoru i dodavateli stavby) či zajistit nápravu zjištěných vad a nedodělků.

Bylo nutné sestavit konkrétní technické specifikace pro zadání nadlimitních veřejných zakázek (viz příloha [P1]) v rámci projektu NETME Centre financovaného z operačního programu Věda a výzkum pro inovace (VaVpI). Po zpracování odpovědí na upřesňující dotazy uchazečů bylo nutné se věnovat posuzování a hodnocení podaných nabídek a s vítěznými dodavateli dále komunikovat.

V rámci návrhu infrastruktury modelu bylo nutné navržené řešení zasvěceně diskutovat s kvalifikovanými projektanty plynových, tlakových a silnoproudých rozvodů a některé části instalací přímo naprojektovat. Byly řešeny rozvody silnoproudu, slaboproudu, páry a kondenzátu, zemního plynu, tlakového vzduchu, technologická vzduchotechnika, spalínovody, vodovody, kanalizace a další zdravotně technické instalace (ZTI). Samostatnou kapitolou pak bylo řešení systému pro sběr dat předpokládající dobré znalosti z oboru měření a regulace.

Velké množství dodavatelských firem kladlo vysoké nároky na koordinaci montážních prací, které vyžadovaly prakticky trvalý dohled. Bylo potřeba operativně řešit množství technických detailů a zajistit, aby byly dodrženy plánované potrubní a kabelové trasy.

## 1.4 Rešerše k tématu

Rešerše k tématu byla provedena pomocí databáze *Scopus*, jež je nejrozsáhlejší databází abstraktů a citací odborné recenzované literatury a kvalitních webových zdrojů na světě [5]. Výsledky 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 prádelnictví 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], nebo článek [7].

V tab. 1–2 je přehled všech 16 výše zmíněných publikací s tematikou spotřeby energií v prádelnách s uvedením autorů, roku vydání a krátkým popisem řešené problematiky. Z přehledu je patrné, 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.

*tab. 1–2: Rešerše odborných publikací k tématu*

<i>autoři (rok) název</i>	<i>popis</i>
[8] Máša, V., <b>Bobák, P.</b> , Stehlík, P., Kuba, P. (2013) <i>Energy intensive process in professional laundry service: Up-to-date approach</i>	Autoři článku představují nově vybudovaný provoz experimentální prádelny s kapacitou až 500 kg prádla za směnu a její výzkumné zázemí, které staví na propracované měřicí základně. Článek obsahuje potřebný teoretický úvod.

*(pokračování)*

tab. 1–2 (pokračování)

<i>autoři (rok) název</i>	<i>popis</i>
[9] Rice, R. G., Magnanti, J., Washbrook, T. (2013) <i>The CaroMont Health Ozone Laundry System: Energy Savings, Improved Laundered Product Qualities and Return on Investment at Gaston Memorial Hospital, Gastonia, NC</i>	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.
[10] Máša, V., <b>Bobák, P.</b> , Kuba, P., Stehlík, P. (2013) <i>Analysis of energy efficient and environmentally friendly technologies in professional laundry service</i>	Na příkladu průmyslové prádelny s kapacitou 500 kg prádla za směnu autoři článku ukazují vliv regionu, kde je prádelna provozována, na motivaci provozovatelů hledat úspory, jelikož se spektrum provozních nákladů region od regionu liší. Za jednotlivé oblasti byly zvoleny Francie, Německo a Česká republika a provoz ve dvou variantách – vytápění zemním plynem a vytápění elektrinou.
[11] <b>Bobák, P.</b> , Pavlas, M., Máša, V., Jegla, Z., Kšenzuliak, V. (2012) <i>Heat recovery in professional laundry care process</i>	Článek představuje specifické vlastnosti procesu profesní údržby prádla, se kterými je nutné počítat, aby bylo možné navrhnout účinný systém rekuperace odpadního tepla. Případová studie řeší využití odpadního tepla z tunelového finišeru pro přehřev vzduchu do sušiče.
[12] Zhou, L., Zhang, Y. (2012) <i>Cotton woven fabric with less energy consumption during home laundry</i>	Předmětem článku je úprava textilních vláken aplikací pryskyřice a hydrofobních činidel, která potlačují schopnost textilie zadržovat vodu a snižují dobu schnutí prádla, čímž lze dosáhnout energetických úspor. Porovnávány jsou také jednotlivé technologie ošetřování vláken.
[13] <b>Bobák, P.</b> , Galčáková, A., Pavlas, M., Kšenzuliak, V. (2011) <i>Computational approach for energy intensity reduction of professional laundry care process</i>	Článek je postaven na případové studii, která ukazuje použití vytvořeného bilančního softwaru pro porovnání 2 stavů parního energetického systému prádelny s kapacitou 1,5 tuny prádla za hodinu.
[14] Hustvedt, G. (2011) <i>Review of laundry energy efficiency studies conducted by the US Department of Energy</i>	Autor v článku kriticky hodnotí výzkumnou činnost Amerického ministerstva pro energii v oblasti praní a sušení prádla v domácnostech. Hodnotí provedené výzkumy a upozorňuje na faktory, které byly dosud přehlíženy, ale zasluhují si pozornost (např. sociální změny ve společnosti, přehlížení revolučních technologií). Vše z pohledu dlouhodobé ekologické udržitelnosti a snižování spotřeb energií.

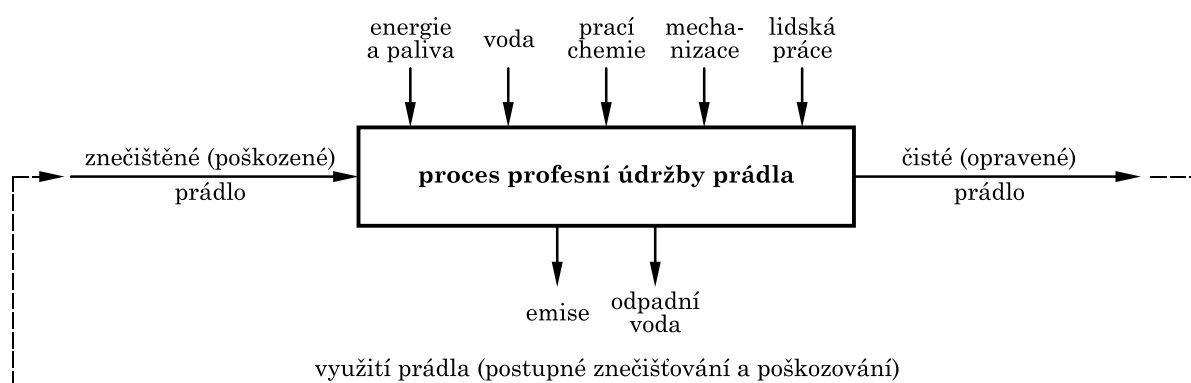
(pokračování)

tab. 1–2 (dokončení)

[15]	<p><b>Bobák, P.,</b> Pavlas, M., Kšenzuliak, V., Stehlík, P. (2010) <i>Analysis of energy consumption in professional laundry care process</i></p>	<p>Článek představuje obecnou strukturu průmyslových prádelen a energetickou náročnost procesu profesní údržby prádla spojuje s tokem vody procesem. Dále popisuje tvorbu matematického modelu bubnového sušiče a experimentální určení jeho spotřeby nepřímou metodou – měřením komínové ztráty sušiče.</p>
[16]	<p>Golden, J. S., Subramanian, V., Irizarri, G. M. A. U., White, P., Meier, F. (2010) <i>Energy and carbon impact from residential laundry in the United States</i></p>	<p>Autoři zkoumají vzorce chování amerických domácností při praní a sušení prádla s ohledem na možnosti snižování uhlíkové stopy a spotřeby energií a vody. Na základě těchto poznatků vybírají vhodné technologie, které mohou vést ke snižování spotřeb a zároveň mají velkou šanci, že budou domácnostmi přijaty. Studie je podpořena konkrétními čísly o potenciálu navržených opatření.</p>
[17]	<p>Katsanis, J. S., Tsarabaris, P. T., Koufakis, E. I., Polykrati, A.D., Proios, A.N. (2009) <i>An energy saving system for hospital laundries</i></p>	<p>Článek hodnotí systém zpětného využití odpadního tepla z praní v nemocniční prádelně. Návržnost technologie je odhadována na 3 až 5 let.</p>
[18]	<p>Durkee, J. (2009) <i>Cleaning times. Lessons from the laundry: Recovering energy costs with heat wheels</i></p>	<p>Text se nezabývá přímo prádelenstvím, ale popisuje obecné možnosti využití rotačního výměníku tepla v sušicích procesech.</p>
[19]	<p>Katsanis, J. S., Tsarabaris, P. T., Bourkas, P. D., Halaris, P. G., Malahias, G. N. (2008) <i>Estimating water and energy consumption of hospital laundries</i></p>	<p>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.</p>
[20]	<p>Kosek, J. (2008) <i>Energy efficiency in hospitality laundries</i></p>	<p>Autor hodnotí využití tepla z odpadní vody k přehřátí vody vstupující do pracího procesu. Zmíněna je dále důležitost filtrace odpadní vody před jejím vstupem do výměníku tepla.</p>
	<p>neznámý autor (2006) <i>Change comes to commercial laundries: New opportunities to reduce energy costs</i></p>	<p>(není dostupný ani text ani autor)</p>
[21]	<p>Beeh, M. (2005) <i>Conservation of energy and detergents in commercial laundries</i></p>	<p>Popisuje projekt na úsporu energií a čisticích přípravků v komerčních prádelnách, do kterého se zapojilo na 2 500 prádelen, společnost Kannegiesser a Hohenstein Institut. (text dostupný pouze v chorvatštině)</p>
[22]	<p>Williamson, N., Bansal, P.K. (2004) <i>Experimental investigation of the energy efficiency of gas commercial laundry dryers</i></p>	<p>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.</p>

## 2 Proces profesní údržby prádla

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. 2–1 je patrné, co je v případě procesu PÚP surovinou (vlevo), produktem (vpravo), hlavními zdroji (nahore) a odpady (dole).



obr. 2–1: Základní schéma procesu profesní údržby prádla

Typický pracovní postup profesní prádelny, jenž je dán sledem dílčích operací procesu PÚP, je následující:

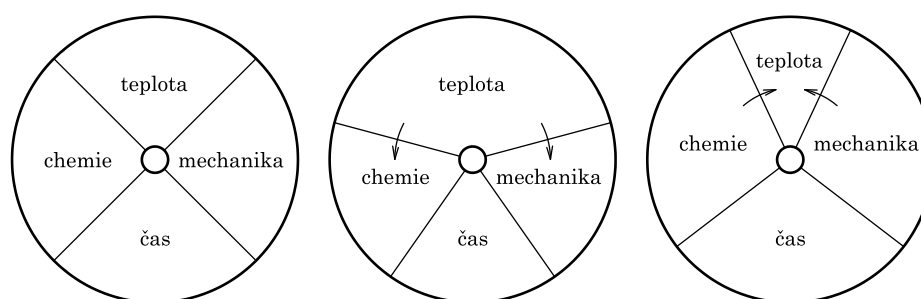
- a) doprava znečištěného prádla od zákazníka do prádelny,
- b) příjem prádla,
- c) dočasné uskladnění prádla,
- d) třídění prádla dle materiálu a míry znečištění,
- e) praní (smáčení, předpírka, hlavní praní, máchání, finalizace) a odvodnění,
- f) předsušení (před žehlením) nebo sušení do sucha (froté prádlo),
- g) třídění rovného a tvarového prádla,
- h) dokončování (žehlení, skládání),
- i) oprava (šití) poškozených kusů,
- j) kontrola kvality,
- k) balení,
- l) dočasné uskladnění,
- m) expedice prádla,
- n) doprava čistého prádla zpět k zákazníkovi.

Kapacita průmyslových prádelen se pohybuje v řádu stovek kilogramů až desítek tun zpracovaného prádla za směnu. Oficiální kategorizace prádelen podle jejich kapacity dle oborové příručky Asociace prádelen a čistíren (ČR) [23] je uvedena v tab. 2–1. Pro lepší představu o množství prádla je možné uvést, že 1 tuna prádla (např. prostěradel) o gramáži 150 g/m<sup>2</sup> by pokryla plochu 6 666 m<sup>2</sup>, což přibližně odpovídá rozloze jednoho fotbalového hřiště. Domácnosti, která pere 5 kg prádla týdně, by zpracování 1 tuny prádla zabralo necelé 4 roky.

tab. 2–1: Oficiální kategorizace prádelen podle jejich kapacity dle [23]

kapacita	kategorie
nad 5 tun prádla za směnu	průmyslové prádelny velké
500 kg až 5 tun prádla za směnu	průmyslové prádelny střední
do 500 kg prádla za směnu	pradlenky

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. Tzv. Sinnerův diagram (viz obr. 2–2) ukazuje, jak se tyto faktory vzájemně ovlivňují. Při neuváženém snížení teploty, které je motivováno poklesem spotřeby tepla pro ohřev lázně, se pro dosažení stejného pracího účinku musí navýšit podíl ostatních faktorů (prodloužení času, vyšší spotřeba detergentů), což může mít za následek snížení produktivity či navýšení nákladů na prací chemii.



obr. 2–2: Sinnerův kruh a ukázka interakce mezi 4 hlavními faktory, které ovlivňují prací proces

## 2.1 Vliv prádla a jeho znečištění na proces

Druh a množství zpracovávaného prádla a původ a míra jeho znečištění mají zásadní vliv na strojní vybavení prádelen i na samotnou energetickou náročnost procesu. Aby bylo možné určit správný technologický postup a podmínky (např. teplotu prací lázně, vhodné detergenty, teploty sušení a žehlení), je potřeba prádlo rozlišovat:

- dle barvy** (bíle, barevné),
- dle materiálu** (bavlna, PES, směsi BA/PES aj.),
- dle druhu a míry znečištění**,
- dle kontaminace biologicky aktivními látkami** (infekční prádlo).

Nejčastěji je prádlo pro profesionální použití vyrobeno z bavlny (BA), méně často potom z polyesteru (PES) nebo jejich směsí – např. 50 % BA + 50 % PES nebo 35 % BA + 65 % PES u svrchních pracovních oděvů. Z údajů v tab. 2–2, která uvádí maximální teploty prací lázně a typické měrné zbytkové vlhkosti po mechanickém odvodnění pro nejběžnější typy materiálů prádla, lze správně usoudit, že vyprat a vysušit 1 kg prádla z bílé 100% bavlny může být až 2krát energeticky náročnější než vyprat a vysušit 1 kg prádla ze 100% PES. Ten se pere při poloviční teplotě prací lázně (°C) a po odvodnění obsahuje méně než polovinu zbytkové vlhkosti, která se musí při sušení odpařit. Konkrétní příklady teoretických spotřeb energie a vody pro údržbu vybraných druhů prádla jsou uvedeny v podkapitole 7.1.

tab. 2–2: Maximální teploty prací lázně a typické měrné zbytkové vlhkosti po odvodnění pro nejčastější typy materiálů prádla (dle zkušenosti)

<i>materiál prádla</i>	<i>maximální teplota prací lázně [°C]</i>	<i>typická měrná zbytková vlhkost vázaná v prádle po odvodnění [kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>DL</sub>]</i>
bílá 100% bavlna	95	0,50
barevná 100% bavlna	60–70	0,50
100% PES	40–60	0,20
směsi bavlny a PES	40–60	0,25–0,45

Zpracovává-li prádelna infekční prádlo, je z hygienických důvodů možné prádlo vytrít až po jeho vyprání (dezinfekci). Dále je v tomto případě nutné provoz prádelny fyzicky rozdělit na tzv. špinavou a čistou zónu pomocí příčky, do níž jsou vestavěny kontinuální nebo bariérové vsádkové pračky. Pohyb personálu a provozního příslušenství (vozíků) mezi zónami je možný pouze přes dezinfekční komory. Termodezinfekce při praní prádla probíhá nejméně 10 minut při teplotě lázně nejméně 90 °C. Prádlo, které není znečištěné cytostatiky, je možné ošetřit chemotermodezinfekcí při teplotě lázně nižší než 90 °C s přidáním odpovídajících dezinfekčních prostředků. Konkrétní pravidla zacházení s prádlem a praní prádla ze zdravotnických zařízení a ústavů sociální péče uvádí příloha č. 4 k vyhlášce č. 195/2005 Sb. [24]

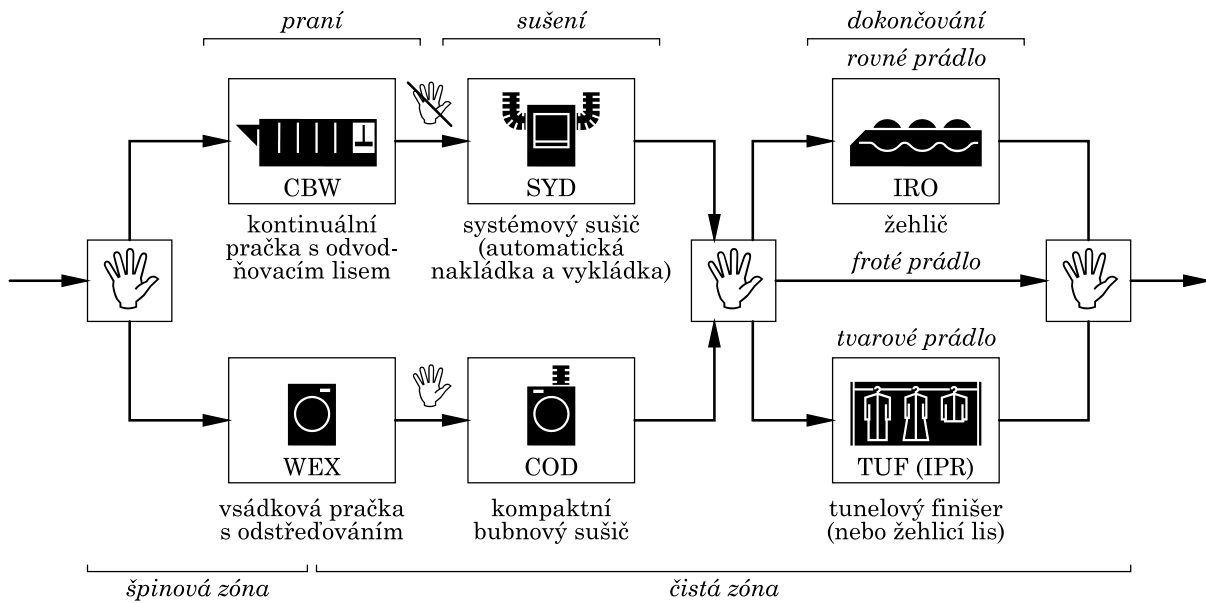
Nejdůležitější dělení prádla, které určuje strojní vybavení prádelny a toky prádla po prádelně (viz obr. 2–3), je následující:

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

Příklad skladby prádla z různých zařízení občanské vybavenosti je uveden v tab. 2–3. Dělení prádla na rovné, tvarové a froté nemá zásadní vliv na volbu pracích a sušících strojů, ale podstatným se stává v sekci dokončování, jak dokládá technologické schéma na obr. 2–3. V profesních prádelnách je rovné prádlo dokončováno (žehleno) výhradně na válcových žehlicích (tzv. mandlech) nebo výkonnějších korytových žehlicích (tzv. kalandrech), zatímco tvarové prádlo je žehleno (tvarováno) na žehlicích lisech, vyhlazováno principem napařování na napařovacích figurínách nebo ve výkonných tunelových finišerech. Froté prádlo není nutné žehlit, proto se v sušících suší do sucha.

tab. 2–3: Skladba prádla z různých zařízení občanské vybavenosti dle [25]

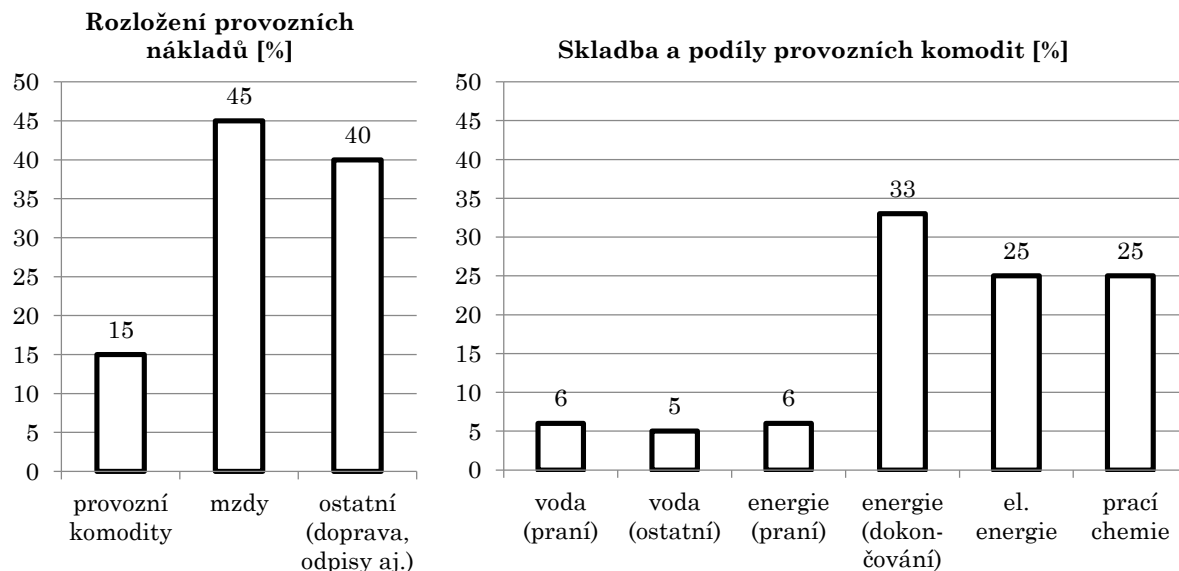
	<i>rovné prádlo</i>	<i>ručníky (froté)</i>	<i>tvarové prádlo</i>
hotely	50 %	50 %	–
ubytovny	40 %	60 %	–
vysoké školy, koleje	30 %	20 %	50 %
nemocnice a kliniky	50 %	20 %	30 %
psychiatrické kliniky	40 %	30 %	30 %



obr. 2-3: Obecné technologické schéma provozu průmyslové prádelny

Popis vlastností strojního vybavení byl podrobně probrán v autorově diplomové práci [4], která je dostupná online, a proto zde nebude opakován. Nicméně všechny podstatné vlastnosti, které jsou nezbytné pro pochopení problematiky, budou průběžně uváděny.

Na obr. 2-4 je znázorněna skladba a podíly provozních nákladů profesní prádelny [26]<sup>1</sup>. Z grafů je patrné, že cena lidské práce (mzdy) a náklady na mechanizaci (odpisy, doprava) značně převyšují náklady na provozní komodity (voda, energie, prací chemie). Tento fakt však neznehodnocuje zaměření práce na snižování spotřeb provozních komodit, jelikož kromě ekonomického hlediska je zde také hledisko ekologické. Závislostí rozložení provozních nákladů prádelny na regionu se zabývá případová studie v podkapitole 7.3.



obr. 2-4: Skladba a podíly provozních nákladů průmyslové prádelny dle [26]

<sup>1</sup> autor předpokládá, že zdrojem dat byl vzorek průmyslových prádelen vyšší kapacity z regionu západní Evropy



## 2.2 Specifika procesu

Dále budou popsány některé specifické vlastnosti procesu profesní údržby prádla (PÚP), resp. faktory, které jej ovlivňují. Ty z nich, které je potřeba zohlednit při návrhu účinných systémů rekuperace tepla nebo recirkulace procesních médií, byly publikovány v [11].

### 2.2.1 Proměnlivost vlastností suroviny

Soubor prádla, který přichází do prádelny, bývá ve větší či menší míře heterogenní. Jednotlivé kusy prádla se od sebe liší tvarem, materiálem, barvou a zejména druhem a mírou znečištění. Aby provoz plnil svou funkci co nejefektivněji, musí být na tyto vstupní podmínky odpovídajícím způsobem připraven a musí na ně umět pružně reagovat.

Při dávkování prádla do procesu je podstatné správně určit jeho hmotnost. Ta je však ovlivňována vlhkostí vázanou v prádle. Vlhkost může být do prádla dopravena uměle (smáčením vodou) nebo přirozeně (vzdušnou vlhkostí). Přirozená vlhkost prádla, která je závislá na relativní vlhkosti okolního vzduchu, se nazývá hygroskopická vlhkost. V případě 100% bavlny dosahuje hygroskopická vlhkost za běžných podmínek hodnoty přibližně 6–8 %, tj. 0,06–0,08 kg vody na 1 kg sušiny.

V literatuře [27] se doporučuje určovat vlhkost prádla (pro laboratorní, nikoli provozní účely) vysoušením při teplotě 105–110 °C pro přírodní vlákna kromě hedvábí nebo při teplotě 80–85 °C pro umělá vlákna. Vzorek se vysouší při uvedené teplotě až do ustálení váhy, kdy ho lze prohlásit za sušinu. Vzorek se považuje za vysušený ve chvíli, kdy není rozdíl mezi dvěma po deseti minutách za sebou jdoucími váženími větší než 0,05 % původní váhy. V provozní praxi se obvykle s přirozenou vlhkostí prádla neuvažuje.

### 2.2.2 Subjektivní vnímání kvality produktu

Produktem procesu PÚP má být čisté prádlo. Čistota však bývá vnímána značně subjektivně. Například v České republice, kde jsou tradičně velmi vysoké požadavky na výstupní kvalitu prádla (míru odeprání skvrn, bělost, vůni), by pravděpodobně prádlo vyprané například v Anglii nebylo přijatelné a dost možná by bylo považováno spíše za surovinu nežli produkt údržby prádla.

Přesto existují metody, jak kvalitu praní objektivně hodnotit. Například metody specifikované oborovou specifikací OS 80-04 [28], kterou sestavil a provádí Textilní zkušební ústav, s. p., Brno, jenž je leaderem ve zkušebnictví a certifikaci v oboru. Zkouška probíhá tak, že zkušební laboratoř dodá prádelně standardní doprovodnou tkaninu složenou z dílčích klůcků, která projde 50krát pracím procesem spolu s běžným prádlem. Zkušební laboratoř tuto tkaninu následně vyhodnotí dle zmíněné oborové specifikace, podle které se hodnotí kritéria jako např. stupeň bělosti, základní stupeň bělosti, obsah anorganických látek na textilií aj. Oborová specifikace také umožňuje hodnotit vliv praní na textilie určováním pevnosti textilie v tahu, ztráty pevnosti a dalších vlastností. [29]

### 2.2.3 Množství provozních a odpadních látek a zdrojů tepla

V rámci procesu PÚP se používá množství provozních látek. Tou nejdůležitější je voda. Používá se jako smáčedlo pro textilie, rozpouštědlo pro detergenty a nečistoty a jako transportní a teplonosné médium. Rovněž přenáší mechanickou energii pračky na prádlo. Kvalita vody, zejména její tvrdost, negativně ovlivňuje účinnost a tím spotřebu detergentů při praní. Různé prvky přítomné ve vodě (síra, mangan) zase mohou způsobit žloutnutí prádla. Proto se voda pro technologické použití často upravuje, a to nejčastěji chemickou cestou na bázi výměny iontů nebo reverzní osmózou. Voda ve formě syté vodní páry, resp. kondenzátu se používá nejen pro ohřev, ale také pro napařování prádla při dokončovacích operacích, kdy účinkem páry dochází k relaxaci (vyrovnání) textilních vláken. Příklad skladby prací chemie (detergentů) je uveden v podkapitole 5.1.2. Pro pohon ventilů nebo různých mechanismů strojů se ještě používá tlakový vzduch. Ze skupiny odpadních látek je možné zmínit odpadní vodu se zbytky prací chemie a nečistotami, vlhký vzduch, spaliny zemního plynu a textilní otěr (prach, vlákna).

Jako zdroje tepla slouží elektrická energie nebo různá paliva pro výrobu topné páry, z nichž je nejběžnější zemní plyn. Ten také umožňuje přímý ohřev sušicího vzduchu v sušicích nebo ohřev teplosměnných ploch žehliček, a to buď přímo pro vyhřívání válců u válcových žehliček (mandlů), nebo nepřímo prostřednictvím termoolejového okruhu pro vyhřívání koryt u korytových žehliček (kalandrů). Obecně platí, že se prádelenské stroje standardně vyrábějí s možností elektrického, parního nebo plynového ohřevu (pouze sušiče a žehliče).

Diverzita zdrojů tepla je vhodná pro potlačení závislosti na daném druhu paliva, resp. dodávce tepla a umožňuje tak prádelně alespoň částečný provoz při výpadech jednoho typu zdrojů. Tato různorodost s sebou ale většinou nese navýšení počtu druhů procesních médií, s jejichž využitím může být spojeno omezení dané místní legislativou. Příkladem může být nahrazení sušiče s parním ohřevem sušičem na zemní plyn. Zprvým tím de facto nedochází k účinné diverzifikaci zdrojů tepla, pokud byla pára vyráběna v kotli na zemní plyn, a zadruhé se v tomto okamžiku výstupní proud z plynového sušiče stává spalínovou cestou. Na ni jsou kvůli výskytu agresivních a zdraví škodlivých látek kladeny vyšší nároky na kvalitu provedení (materiál, těsnost) a pravidelnou údržbu (revize), než je tomu v případě sušičky s nepřímým ohřevem (parním či elektrickým), kdy je ze stroje odtahován jen teplý vzduch s odpařenou vlhkostí. Zvýšené nároky na použité tepelné výměníky pro rekuperaci tepla na spalínových cestách pak mají logicky neblahý vliv na jejich pořizovací i provozní náklady.

### 2.2.4 Znečištění procesních proudů

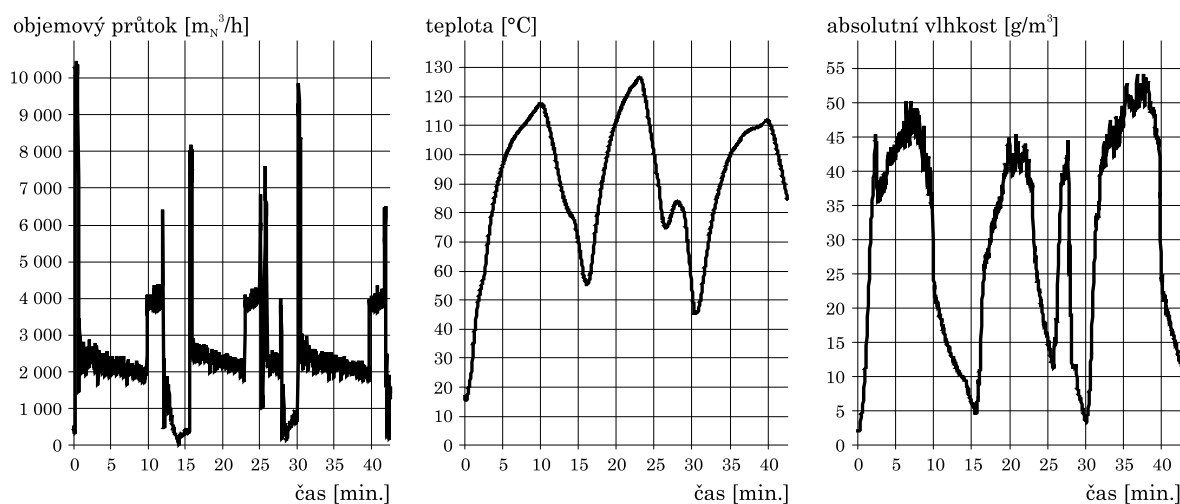
Prakticky všechny hlavní výstupní proudy z prádelenských zařízení obsahují nečistoty. Pro jejich případné využití v rekuperačních systémech je nutné tyto nečistoty odstranit (filtrovat či separovat) nebo tomuto faktu výměníky tepla přizpůsobit a omezit tak snižování jejich výkonu vlivem zanášení. Přehled typů nečistot je uveden v tab. 2–4.

tab. 2–4: Přehled druhů nečistot v odpadních proudcích

zařízení	odpadní proud	druh znečištění
pračka (CBW, WEX)	teplá voda z předpírky a hlavního praní	pevné a organické nečistoty, rozpuštěné detergenty
sušič (SYD, COD), tunelový dokončovač (TUF)	horký vzduch s odpařenou vlhkostí	textilní prach a vlákna, kapky kondenzující vlhkosti
válcový žehlič (mandl) (IRO)	horký vzduch s odpařenou vlhkostí	textilní prach, kapky kondenzující vlhkosti
korytový žehlič (kalandr) (IRO)	horký vzduch s odpařenou vlhkostí	vosk z prodyšného nábalu válců, textilní prach, kapky kondenzující vlhkosti

### 2.2.5 Dynamika procesů

Proces profesní údržby prádla se vyznačuje velkým množstvím dynamických dějů, které jsou typické pro vsádkové stroje (např. bubnové pračky, sušiče, menší válcové žehliče). V případě nerovnoměrného vytížení se ale může tento nepříznivý faktor objevit i u semikontinuálních prádelenských strojů (velké korytové žehliče, kontinuální pračka). Aby byly systémy rekuperace tepla účinné, musí být vybaveny autonomním měřením a regulací, což ovšem výrazně zvyšuje pořizovací náklady a tím dobu návratnosti investice. Pro ilustraci jsou na obr. 2–5 ukázány časové průběhy průtoku, teploty a absolutní vlhkosti vzduchu na výstupu z parního sušiče střední kapacity po dobu zpracovávání 3 šarží. Data byla získána měřením v reálném komerčním provozu.

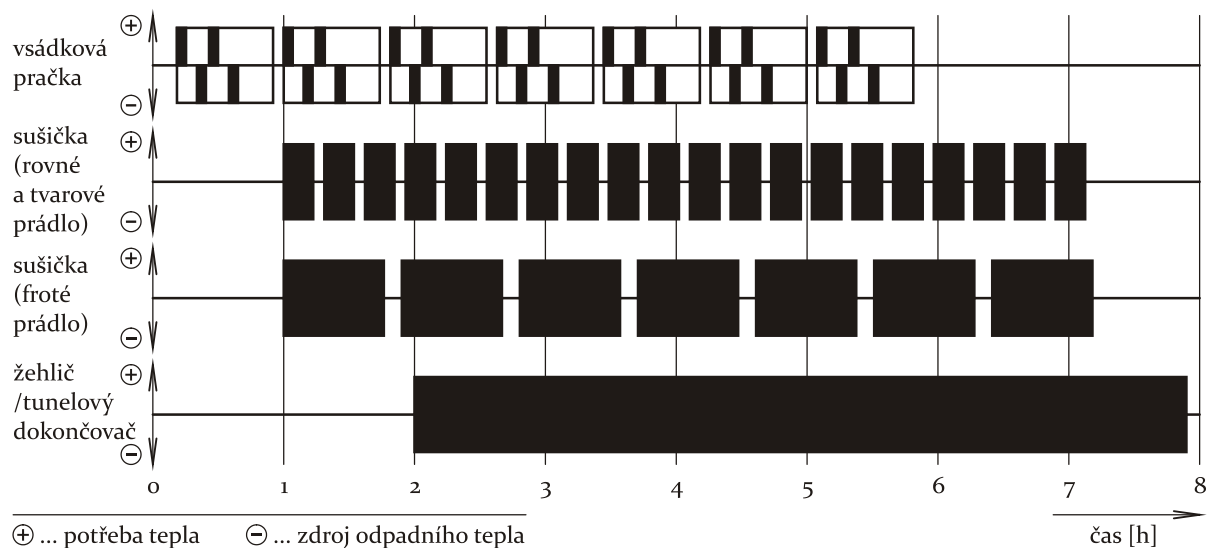


obr. 2–5: Časový průběh průtoku, teploty a absolutní vlhkosti vzduchu na výstupu ze sušiče

### 2.2.6 Nespojitosť a nízká současnosť dílčích operací

Možnost využití odpadního tepla z jednoho zařízení pro ohřev (předehřev) jiného zařízení je omezena nízkou současností provozu jednotlivých zařízení prádelny. Na obr. 2–6 je diagram provozu hlavních aparátů prádelny. Jak je z diagramu patrné, je přímá

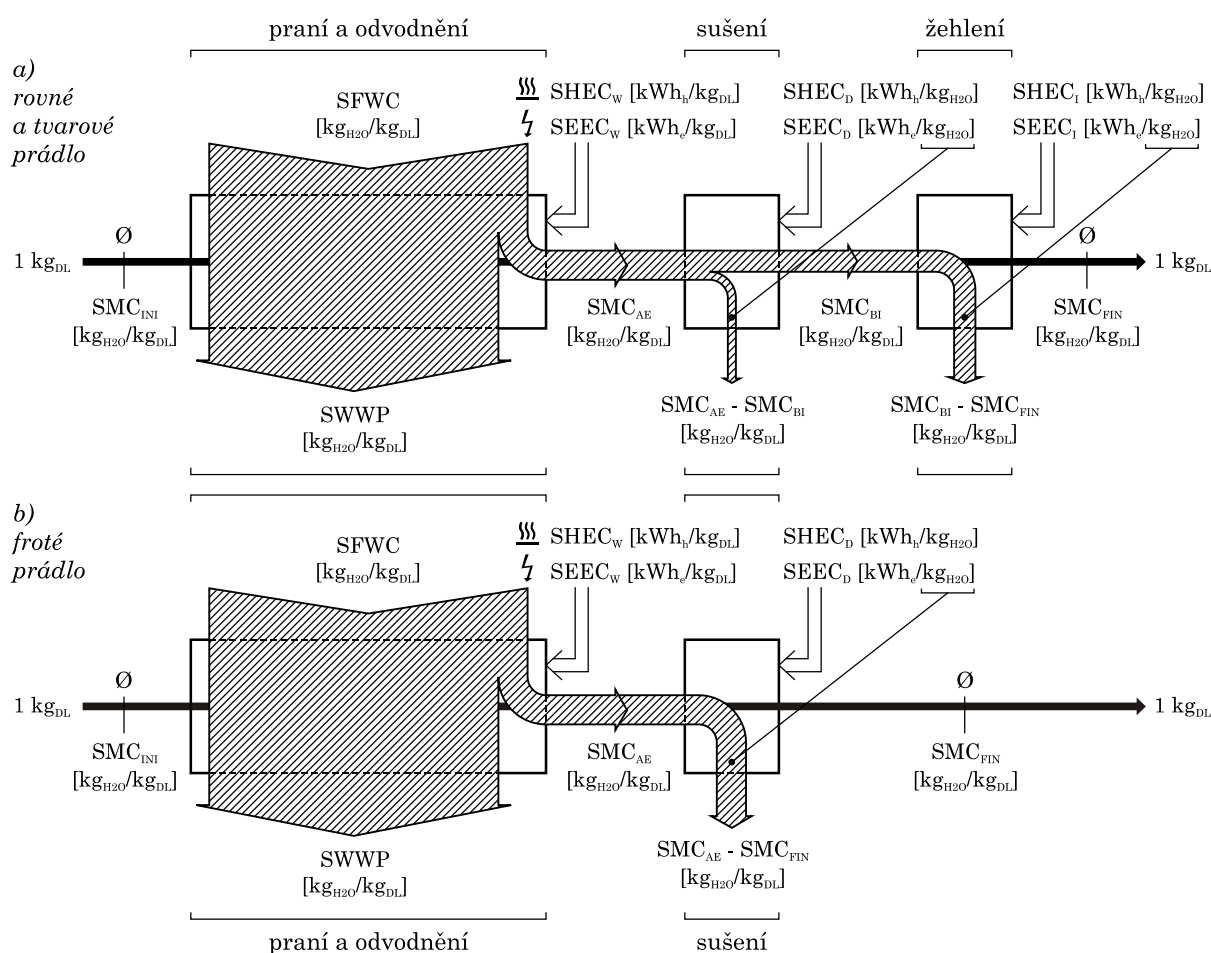
rekuperace tepla mezi aparáty omezena jednak návazností operací praní, sušení a žehlení, a to zejména při zahájení a ukončení pracovní doby, a také přerušováním provozu strojů pro účely nakládky a vykládky prádla. Fakt, že se některému procesu podaří odebrat odpadní teplo, sám o sobě neznamená, že bylo dosaženo úspory. K tomu je potřeba ve stejnou chvíli toto teplo někde využít nebo akumulovat a využít ho později.



obr. 2-6: Časový diagram provozu hlavních aparátů prádelny

### 3 Modelování procesu profesní údržby prádla

Energetická náročnost procesu závisí na tocích vody procesem, proto je vhodné začít modelování matematickým popisem 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). Tento přístup včetně navazující případové studie byl ve zkrácené formě publikován v autorském článku [10]. Základní schéma, ze kterého vycházejí uvedené výpočtové vztahy, je na obr. 3–1. Schéma zobrazuje tok vody procesem a vázané měrné spotřeby energie a vody.



obr. 3–1: Schéma toku vody procesem a vázaných měrných spotřeb

Nechť existuje množina rovného prádla  $F$ , froté prádla  $T$  a tvarového prádla  $G$  a proměnné  $P_F$ ,  $P_T$  a  $P_G$  [-] udávají podíly zpracovaného rovného, froté a tvarového prádla vůči celkovému zpracovanému množství za vztažné období. Pokud každou entitu prádla (kus, kilogram) lze právě jednou zařadit do jedné z množin  $F$ ,  $T$  nebo  $G$ , potom platí (3–1):

$$P_F + P_T + P_G = 1 [-] \quad (3-1)$$

Jsou-li známy hodnoty měrných vlhkostí prádla mezi dílčími operacemi, to znamená:

- a) na počátku, před praním –  $SMC_{INI}$  [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>2</sup>,
- b) po odvodnění –  $SMC_{AE}$  [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>3</sup>,
- c) před žehlením –  $SMC_{BI}$  je [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>4</sup>,
- d) na konci, po žehlení nebo sušení do sucha –  $SMC_{FIN}$  [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>5</sup>,

a dále hodnoty měrných spotřeb pro praní (vztahujících se na 1 kg suchého prádla):

- e) čerstvé vody pro praní –  $SFWC$  [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>6</sup>,
- f) tepla pro praní –  $SHEC_W$  [ $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{DL}}$ ]<sup>7</sup>,
- g) elektrické energie pro praní –  $SEEC_W$  [ $\text{kWh}_e/\text{kg}_{\text{DL}}$ ],

a měrných spotřeb pro sušení a žehlení (vztahujících se na 1 kg odpařené vlhkosti):

- h) tepla pro sušení –  $SHEC_D$  [ $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ]<sup>8</sup>,
- i) elektrické energie pro sušení –  $SEEC_D$  [ $\text{kWh}_e/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ],
- j) tepla pro žehlení rovného prádla –  $SHEC_{I,F}$  [ $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ]<sup>8</sup>,
- k) tepla pro žehlení tvarového prádla –  $SHEC_{I,G}$  [ $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ]<sup>8</sup>,
- l) elektrické energie pro žehlení rovného prádla –  $SEEC_{I,F}$  [ $\text{kWh}_e/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ],
- m) elektrické energie pro žehlení tvarového prádla –  $SEEC_{I,G}$  [ $\text{kWh}_e/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$ ],

lze potom vypočítat:

- n) celkovou měrnou spotřebu tepla  $SHEC$  [ $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{DL}}$ ] dle vztahu (3–2),
- o) celkovou měrnou spotřebu elektrické energie  $SEEC$  [ $\text{kWh}_e/\text{kg}_{\text{DL}}$ ] dle vztahu (3–3),
- p) celkovou měrnou produkci odpadních vod  $SWWP$  [ $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ ] dle vztahu (3–4),

kteřé se vztahují na 1 kg reprezentativního vzorku prádla, jež odpovídá skladbě zpracovávaného prádla dané podíly  $P_F$ ,  $P_T$  a  $P_G$  [–].

$$\begin{aligned}
 SHEC \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] &= SHEC_W \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] & (3-2) \\
 &+ P_F [-] \left\{ SHEC_D \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{BI}) \left[ \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] \right. \\
 &+ SHEC_{I,F} \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \right] (SMC_{BI} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] \left. \right\} \\
 &+ P_T [-] \left\{ SHEC_D \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] \right\} \\
 &+ P_G [-] \left\{ SHEC_D \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{BI}) \left[ \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] \right. \\
 &+ SHEC_{I,G} \left[ \frac{\text{kWh}_h}{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}} \right] (SMC_{BI} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{DL}}} \right] \left. \right\}
 \end{aligned}$$

<sup>2</sup> u bavlněného prádla s přirozenou hygroskopickou vlhkostí je to typicky 0,05–0,08  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$

<sup>3</sup> u bavlněného prádla po odvodnění odstředěním nebo lisováním je to typicky 0,45–0,55  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$

<sup>4</sup> u bavlněného prádla je to typicky 0,25–0,45  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$  pokud se nejedná o froté, které se nežehlí

<sup>5</sup> bývá shodná nebo srovnatelná s počáteční měrnou vlhkostí prádla  $SMC_{INI}$

<sup>6</sup> závisí na technologických podmínkách, u kontinuálních praček typicky 5–10  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ , u vsádkových praček 10–30  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$ , v extrémních případech až 50  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{DL}}$

<sup>7</sup> závisí na technologických podmínkách – poměru a teplotě prací lázně

<sup>8</sup> z termodynamického hlediska nemůže být nižší než cca 0,73  $\text{kWh}_h/\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$

$$\begin{aligned}
SEEC \left[ \frac{kWh_e}{kg_{DL}} \right] &= SEEC_W \left[ \frac{kWh_e}{kg_{DL}} \right] \\
&+ P_F [-] \left\{ SEEC_D \left[ \frac{kWh_e}{kg_{H2O}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{BI}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \right. \\
&+ SEEC_{I,F} \left[ \frac{kWh_e}{kg_{H2O}} \right] (SMC_{BI} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \left. \right\} \\
&+ P_T [-] \left\{ SEEC_D \left[ \frac{kWh_e}{kg_{H2O}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \right\} \\
&+ P_G [-] \left\{ SEEC_D \left[ \frac{kWh_e}{kg_{H2O}} \right] (SMC_{AE} - SMC_{BI}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \right. \\
&+ SEEC_{I,G} \left[ \frac{kWh_e}{kg_{H2O}} \right] (SMC_{BI} - SMC_{FIN}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \left. \right\}
\end{aligned} \tag{3-3}$$

$$SWWP \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] = SFWC \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] - (SMC_{AE} - SMC_{INI}) \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \tag{3-4}$$

Při známé kapacitě provozu za vztažné období (např. 1 rok) dané:

- q) denní kapacitou provozu – CAP [kg<sub>DL</sub>/den],
- r) počtem provozních dní za rok – DPY [den/rok],
- s) počtem provozních hodin za den – HPD [h/den],

lze potom snadno určit:

- t) celkovou spotřebu tepla *HEC* [kWh<sub>h</sub>/rok] dle vztahu (3-5),
- u) celkovou spotřebu elektrické energie *EEC* [kWh<sub>e</sub>/rok] dle vztahu (3-6),
- v) celkovou spotřebu čerstvé vody *FWC* [kg<sub>H2O</sub>/rok] dle vztahu (3-7),
- w) celkovou produkci odpadních vod *WWP* [kg<sub>H2O</sub>/rok] dle vztahu (3-8).

$$\begin{aligned}
HEC' \left[ \frac{MWh_h}{r} \right] &= 1,15 \times HEC \left[ \frac{MWh_h}{rok} \right] \\
&= 1,15 \times SHEC \left[ \frac{kWh_h}{kg_{DL}} \right] \times 10^{-3} \left[ \frac{MWh_h}{kWh_h} \right] \times CAP \left[ \frac{kg_{DL}}{den} \right] \times DPY \left[ \frac{den}{rok} \right]
\end{aligned} \tag{3-5}$$

$$\begin{aligned}
EEC' \left[ \frac{MWh_e}{r} \right] &= 1,15 \times EEC \left[ \frac{MWh_e}{rok} \right] \\
&= 1,15 \times SEEC \left[ \frac{kWh_e}{kg_{DL}} \right] \times 10^{-3} \left[ \frac{MWh_e}{kWh_e} \right] \times CAP \left[ \frac{kg_{DL}}{den} \right] \times DPY \left[ \frac{den}{rok} \right]
\end{aligned} \tag{3-6}$$

$$\begin{aligned}
FWC' \left[ \frac{m^3_{H2O}}{y} \right] &= 1,15 \times FWC \left[ \frac{m^3_{H2O}}{rok} \right] \\
&= 1,15 \times SFWC \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \times 10^{-3} \left[ \frac{m^3_{H2O}}{kg_{H2O}} \right] \times CAP \left[ \frac{kg_{DL}}{den} \right] \times DPY \left[ \frac{den}{rok} \right]
\end{aligned} \tag{3-7}$$

$$\begin{aligned}
WWP' \left[ \frac{m^3_{H2O}}{y} \right] &= 1,15 \times WWP \left[ \frac{m^3_{H2O}}{rok} \right] \\
&= 1,15 \times SWWP \left[ \frac{kg_{H2O}}{kg_{DL}} \right] \times 10^{-3} \left[ \frac{m^3_{H2O}}{kg_{H2O}} \right] \times CAP \left[ \frac{kg_{DL}}{den} \right] \times DPY \left[ \frac{den}{rok} \right]
\end{aligned} \tag{3-8}$$

Ve vztazích (3–5) až (3–8) jsou celkové spotřeby tepla, elektřiny a vody a produkce odpadní vody vynásobeny koeficientem 1,15. Ten zohledňuje fakt, že:

- I. spotřeba energií roste uváděním technologie do provozu ze „studeného“ stavu na začátku každého pracovního bloku (směny, dne),
- II. spotřeba vody a energií roste, když se některé prádlo zpracovává opakovaně – projde tzv. přepírkou.

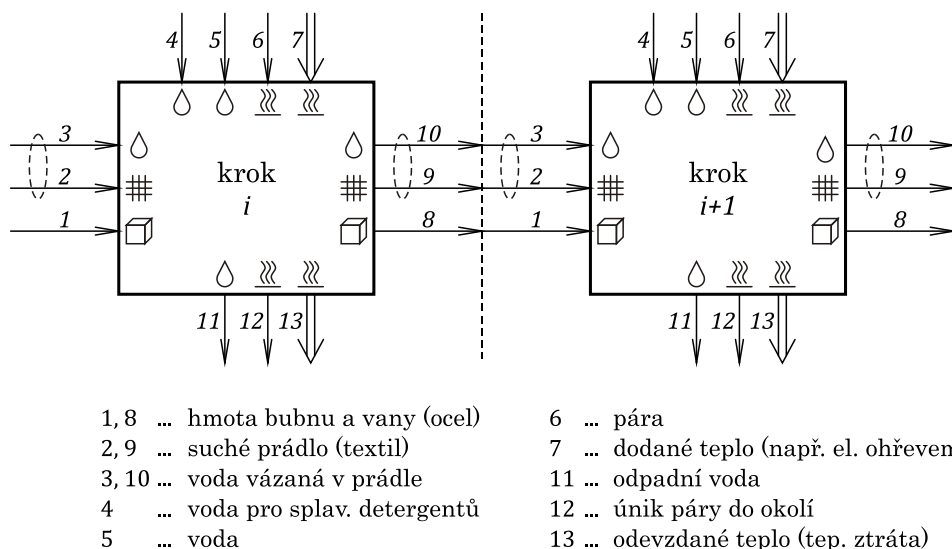
Pro výpočet mzdových nákladů je možné odhadnout počet pracovníků – dělníků NOE [-] dle vztahu (3–9). Hodnota hodinové produktivity na 1 pracovníka (15 kg<sub>DL</sub>/h) je empirická pro provozy s nižší kapacitou, kde se ve velké míře neuplatňuje automatizace.

$$NOE [-] \approx \frac{CAP \left[ \frac{kg_{DL}}{den} \right]}{HPD \left[ \frac{h}{den} \right] \times 15 \left[ \frac{kg_{DL}}{h} \right]} \quad (3-9)$$

Uvedené výpočtové vztahy jsou použity při řešení případové studie I v podkapitole 7.3.

### 3.1 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. Ačkoli se bude dále pojednávat o vstupních a výstupních materiálových, resp. energetických proudech, nejedná se o proudy v pravém slova smyslu, protože jimi neprobíhá trvalý tok. Jde o absolutní množství materiálu, resp. energie, které v blíže neurčeném časovém intervalu, jenž odpovídá jednotkovému kroku, do stroje vstoupí, resp. vystoupí.



obr. 3–2: Schéma bilančního modelu pračky, resp. jednotlivých kroků operace praní

Na schématu modelu na obr. 3–2 je vidět jak na sebe jednotkové kroky bezprostředně 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 křižují 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. Pořadí jednotkových kroků se značí jako  $i$ . První krok je 1 a poslední  $n$ . Dále tedy bude platit, že:

$$i \in \{1, 2, 3, \dots, n\}. \quad (3-10)$$

Po zavedení koeficientu  $k_s$ , kde  $s$  značí číslo proudu a který nabývá hodnoty 1, pokud je proud  $s$  vstupní, nebo hodnoty  $-1$ , pokud je proud  $s$  výstupní, tedy:

$$k_s [-] = 1, \quad \forall s \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}, \quad (3-11)$$

$$k_s [-] = -1, \quad \forall s \in \{8, 9, 10, 11, 12, 13\}, \quad (3-12)$$

je možné rovnice hmotnostní a energetické bilance zapsat ve formě:

$$\sum_s k_s m_{s,i} [kg] = 0, \quad s \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12\}, \quad (3-13)$$

$$\sum_s k_s Q_{s,i} [kJ] = 0, \quad s \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13\}. \quad (3-14)$$

Energetický obsah každého materiálového proudu  $Q$  [kJ] je dán součinem jeho hmotnosti  $m$  [kg] a měrné entalpie  $h$  [kJ/kg], kterou definuje měrná tepelná kapacita materiálu  $c_p$  [kJ/kgK] a jeho teplota  $t$  [°C]:

$$Q_{s,i} [kJ] = m_{s,i} [kg] \times h_{s,i} \left[ \frac{kJ}{kg} \right], \quad s \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12\}, \quad (3-15)$$

$$h_{s,i} \left[ \frac{kJ}{kg} \right] = c_{p,s,i} \left[ \frac{kJ}{kg K} \right] \times (t_{s,i} - t_{ref}) [^\circ C], \quad s \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12\}. \quad (3-16)$$

Pro zjednodušení vztahu (3-16) je vhodné jako referenční teplotu  $t_{ref}$  zvolit 0 °C. V případě proudů 6 a 12 (vstup topné páry a únik páry do okolí) je zase vhodné vztah pro výpočet energetického obsahu zachovat ve tvaru (3-15) a jako měrnou entalpii  $h$  použít hodnotu měrného tepla pro odpaření  $h_{fg}$  dle pracovního tlaku použité páry z parních tabulek.

Předpokládá se, že teplota proudů č. 2 a 3 je shodná a že v průběhu jednotkového kroku dojde k teplotnímu vyrovnání, takže výstupní proudy č. 8, 9, 10 a 11 mají také shodnou teplotu:

$$t_{2,i} = t_{3,i}, \quad t_{8,i} = t_{9,i} = t_{10,i} = t_{11,i} \quad (3-17), (3-18)$$

Množství hmoty stroje ani prádla se v průběhu kroku nemění, takže platí:

$$m_{1,i} = m_{8,i}, \quad m_{2,i} = m_{9,i} \quad (3-19), (3-20)$$

Pokud po kroku  $i$  následuje krok  $i+1$ , potom tím, že na sebe jednotkové kroky navazují proudy hmoty stroje, sušiny prádla a vlhkostí vázanou v prádle, platí:

$$m_{1,i+1} = m_{8,i}, \quad t_{1,i+1} = t_{8,i} \quad \Rightarrow \quad Q_{1,i+1} = Q_{8,i} \quad (3-21), (3-22), (3-23)$$

$$m_{2,i+1} = m_{9,i}, \quad t_{2,i+1} = t_{9,i} \quad \Rightarrow \quad Q_{2,i+1} = Q_{9,i} \quad (3-24), (3-25), (3-26)$$

$$m_{3,i+1} = m_{10,i}, \quad t_{3,i+1} = t_{10,i} \quad \Rightarrow \quad Q_{3,i+1} = Q_{10,i} \quad (3-27), (3-28), (3-29)$$

Pro ještě větší přiblížení modelu realitě je vhodné definovat měrnou vlhkost prádla  $SMC$  na vstupu a na výstupu, tedy poměr hmotnosti vlhkosti vázané v prádle k hmotě sušiny prádla:

$$SMC_{3/2,i} \left[ \frac{kg_{H_2O}}{kg_{DL}} \right] = \frac{m_3 [kg_{H_2O}]}{m_2 [kg_{DL}]}, \quad (3-30)$$

$$SMC_{10/9,i} \left[ \frac{kg_{H_2O}}{kg_{DL}} \right] = \frac{m_{10} [kg_{H_2O}]}{m_9 [kg_{DL}]} \quad (3-31)$$

a dále poměr vodní lázně  $BR$ , tedy poměr množství vody v bubnu k hmotě sušiny prádla:

$$BR_i \left[ \frac{kg_{H_2O}}{kg_{DL}} \right] = \frac{m_{10} + m_{11} [kg_{H_2O}]}{m_9 [kg_{DL}]} \quad (3-32)$$

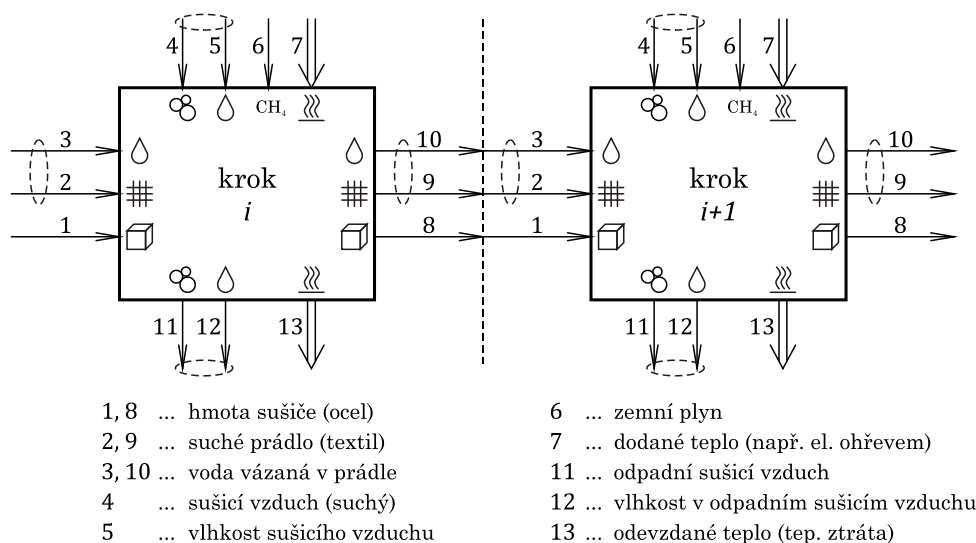
Aby bylo možné uvedenou soustavu rovnic řešit, je nutné znát následující okrajové podmínky:

- měrnou tepelnou kapacitu materiálových proudů, resp. měrné výparné teplo u proudů 6 a 12 – topná pára (obojí tabelováno),
- hmotu stroje  $m_{1,1}$  (jež je v bezprostředním kontaktu s prací lázní) a její výchozí teplotu  $t_{1,1}$ ,
- hmotnost suchého prádla  $m_{2,1}$  a jeho výchozí teplotu  $t_{2,1}$ ,
- počáteční měrnou vlhkost prádla  $SMC_{3/2,1}$ ,
- měrnou vlhkost prádla  $SMC_{10/9,i}$  na výstupu u každého kroku, která závisí na rychlosti otáčení bubnu při odstředování prádla,
- poměr vodní lázně  $BR$  u každého kroku, jež je dán předepsanými technologickými podmínkami,
- u kroků, kde probíhá ohřev prací lázně, teplotu po teplotním vyrovnání ( $t_8 = t_9 = t_{10} = t_{11}$ ) nebo množství dodaného tepla – buď elektrickou energií (proud č. 7) nebo topnou parou (č. 6),
- u kroků, kde neprobíhá ohřev je teplo dodané proudy 6 a 7 nulové.

Použití modelu pro výpočet teoretické spotřeby tepla na ohřev prací lázně pro 4 různé případy uvádí podkapitola 7.1.

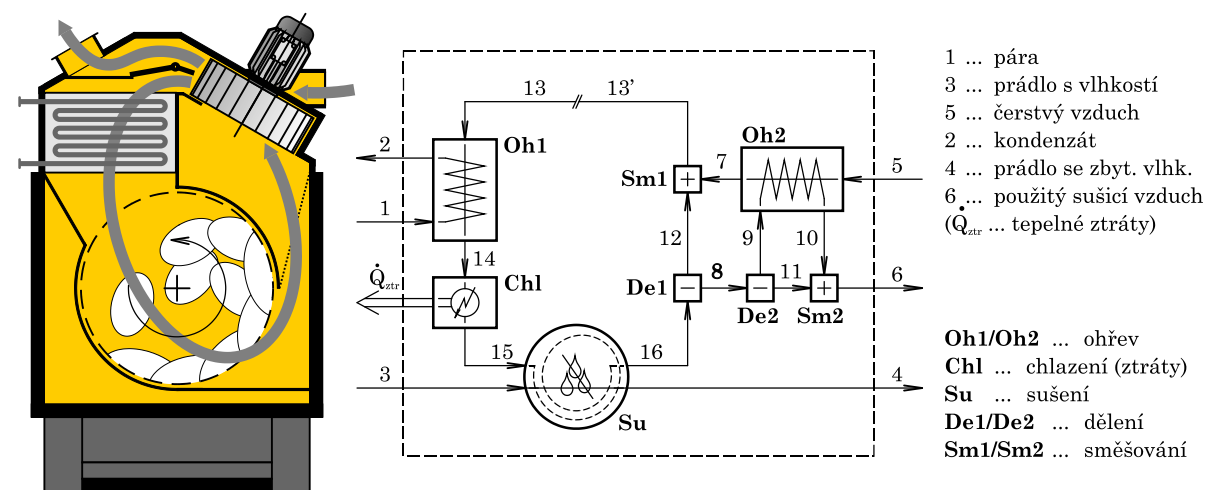
### 3.2 Bilanční model sušicího zařízení

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. 3–3, 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. 3–3: 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. 3–4, který je složen z jednotkových operací (ohřev, chlazení, dělení, směšování aj.) tak, aby principiálně odpovídal reálnému systému.



obr. 3–4: Schéma modelu bubnového sušiče složeného z jednotkových operací

Výpočet byl sestaven v matematickém softwaru *Maple*. Jelikož je použita sekvenční metoda výpočtu a výpočet nepoužívá žádné speciální funkce softwaru, pouze základní matematické operace, je možné ho v budoucnu snadno implementovat do některého výpočtového softwaru. Příklad výpočtu ve formě protokolu generovaného z prostředí SW *Maple* uvádí tab. 3–1. Jde o případ bubnového sušiče s kapacitou 36 kg suchého prádla, který provádí předsušení prádla před žehlením z vlhkosti 55 % na hodnotu cca 40 %.

tab. 3–1: Protokol z výpočtu modelu bubnového sušiče

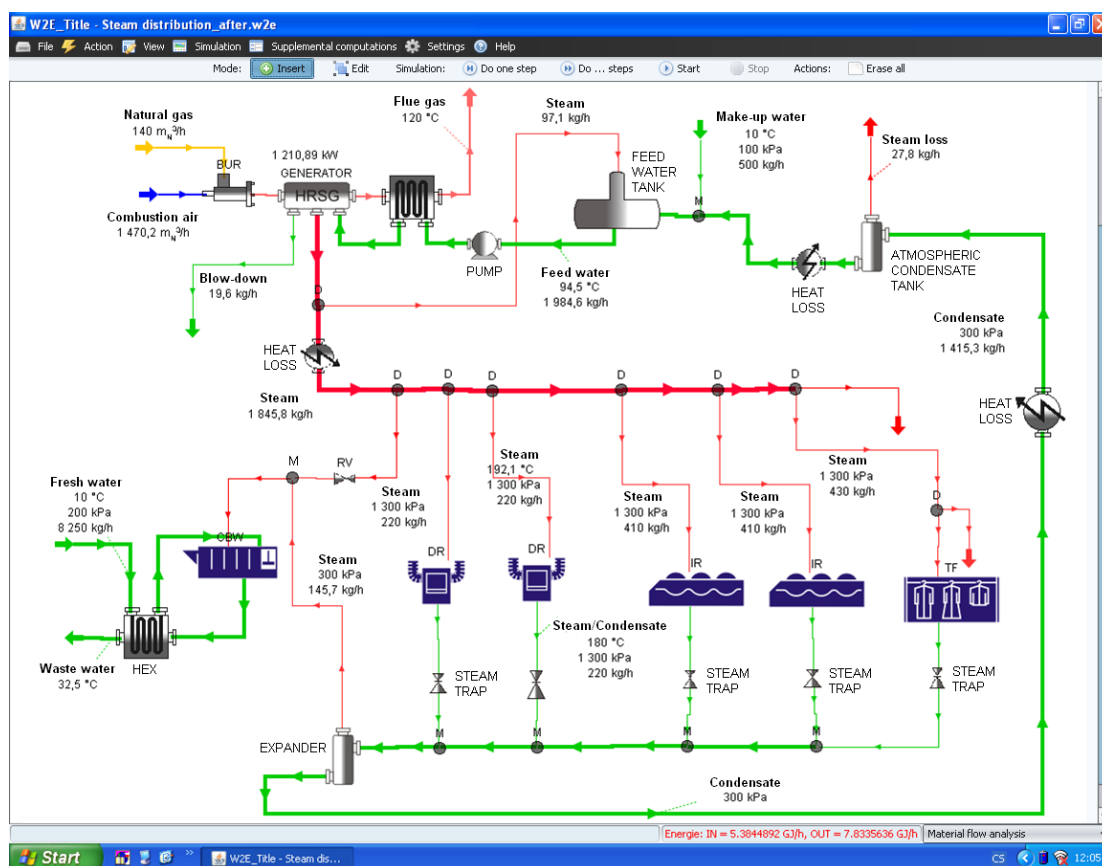
proud č. (pára)	1	2					
okamžitý průtok [kg/h]	354.31	354.31					
za dávku [kg/dávka]	18.31	18.31					
průměrný průtok [kg/h]	183.06	183.06					
teplota [°C]	179.88	179.88					
suchost [-]	1.00	0.00					
proud č. (vlhké prádlo)	3	4	3-4				
okamžitý průtok [kg/h]	1080.00	980.44	99.56				
- sušina	696.77	696.77	0.00				
- vlhkost	383.23	283.67	99.56				
za dávku [kg/dávka]	55.800	50.656	5.144				
- sušina	36.000	36.000	0.000				
- vlhkost	19.800	14.656	5.144				
průměrný průtok [kg/h]	558.00	506.56	51.44				
- sušina	360.00	360.00	0.00				
- vlhkost	198.00	146.56	51.44				
teplota [°C]	40.00	60.00	-20.00				
vlhkost [% sušiny]	55.00	40.71	14.29				
proud č. (vlhký vzduch)	5	6	7	8	9	10	11
N2 [mN3/mN3]	0.7725	0.7413	0.7413	0.7566	0.7566	0.7566	0.7413
O2 [mN3/mN3]	0.2078	0.1994	0.1994	0.2035	0.2035	0.2035	0.1994
Ar [mN3/mN3]	0.0094	0.0090	0.0090	0.0092	0.0092	0.0092	0.0090
CO2 [mN3/mN3]	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
H2O(g) [mN3/mN3]	0.0099	0.0500	0.0500	0.0304	0.0304	0.0304	0.0500
suma [mN3/mN3]	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
okamžitý průtok [mN3/h]	2938.07	3061.93	3061.93	6000.00	6000.00	6000.00	6123.86
teplota [°C]	22.00	120.41	120.41	72.50	69.27	160.00	120.41
relativní vlhkost [%]	37.00	2.43	2.43	8.61	9.89	0.48	2.43
absolutní vlhkost [g/m3]	8.00	40.19	40.19	24.42	24.42	24.42	40.19

...

### 3.3 Využití softwaru W2E pro energetické a hmotnostní bilance

Software *W2E* (Waste-to-Energy) [30], který byl vyvinut na půdě Ústavu procesního a ekologického inženýrství FSI VUT v Brně, lze využít k vytváření hmotnostních a energetických bilančních modelů procesu PÚP jako celku. Softwarový produkt *W2E* představuje sekvenčně-modulární simulační program pro výpočet hmotnostních a energetických bilancí technologických linek. Primárně je zaměřen na oblast energetického využití odpadů a biomasy, ale lze ho s úspěchem použít pro takřka jakoukoliv oblast včetně technologií profesní údržby prádla. Software se vyznačuje

uživatelsky přívětivým rozhraním tvořeným kreslicím plátnem pro vytváření modelu a interaktivním editorem pro nastavení okrajových podmínek výpočtu. Jelikož je software W2E otevřený systém, lze jej v budoucnu snadno rozšířit o další modely technologických uzlů. Na obr. 3–5 je ukázka použití softwaru W2E při řešení hmotnostní a energetické bilance energetického systému průmyslové prádelny, jež je předmětem případové studie v podkapitole 7.5 a byla publikována v [10].



obr. 3–5: Snímek uživatelského rozhraní aplikace W2E při řešení hmotnostní a energetické bilance energetického systému průmyslové prádelny

### 3.4 Kalkulace provozních nákladů profesní prádelny

Aby bylo možné rychle promítnout vliv různých úsporných opatření na celkové provozní náklady prádelny, byl vytvořen program, který po definici fondu pracovní doby, kapacity provozu a dalších údajů, které ovlivňují výši nákladových kapitol:

- a) odpisů,
- b) mezd,
- c) prací chemie,
- d) vody,
- e) tepla,
- f) elektřiny,
- g) dopravy
- h) a ostatní

provede kalkulaci celkových nákladů a jejich přepočítání na kilogram zpracovaného prádla. Určuje také podíly jednotlivých kapitol na celku. Program je vytvořen ve VBA v rámci aplikace MS Excel. To umožňuje pohodlné vyplňování vstupních dat do připravených formulářů. Snímek formuláře programu s aktivní záložkou pro kalkulaci odpisů je na obr. 3–6.

**Kalkulace nákladů profesní prádelny**

Množství prádla & doba praní | **Odpisy** | Mzdy | Prací chemie | Voda | Teplo | Elektřina | Doprava | Ostatní

Popis zařízení či celku (skupiny zařízení patřící do stejné odpisové skupiny)	Požizovací cena [Kč]	Odpisová skupina (doba odepisování)	Výše odpisu v prvním roce odepisování [Kč]	Výše odpisu v dalších letech odepisování [Kč]
Sada prací linky	10000000	Odpisová skupina 3 (10 let)	550000	1050000
Sekce žehlení rovného prádla	15000000	Odpisová skupina 3 (10 let)	825000	1575000
Měřicí a výpočetní technika	5000000	Odpisová skupina 1 (3 roky)	1000000	2000000
Hala	25000000	Odpisová skupina 5 (30 let)	350000	850000
Sekce žehlení tvarového prádla s tunel finisherem	10000000	Odpisová skupina 3 (10 let)	550000	1050000
Dopravníky	10000000	Odpisová skupina 3 (10 let)	550000	1050000
Infrastruktura s vyvíječem	10000000	Odpisová skupina 3 (10 let)	550000	1050000
	0	...vyber...	0	0
	0	...vyber...	0	0
	0	...vyber...	0	0

Celkem [Kč]      85000000      4375000      8625000

Dále používat hodnoty pro:  první rok odepisování      Celková výše odpisů      8625000      Kč/rok

další roky odepisování      Odpisy na 1 kg prádla      7,188      Kč/kg

Měna: CZK / Kč

Fond prac. doby [hod/rok]	8625000	2800000	1200000	360000	1800000	288000	0	0	Kč/rok	15073000
1200	7,188	2,333	1	0,3	1,5	0,24	0	0	Kč/kg	12,561
Výkon linky [tun/rok]	<b>Odpisy</b>	<b>Mzdy</b>	<b>Chemie</b>	<b>Voda</b>	<b>Teplo</b>	<b>Elektřina</b>	<b>Doprava</b>	<b>Ostatní</b>		<b>Celkem</b>
1200	57,222	18,576	7,961	2,388	11,942	1,911	0	0	%	100

obr. 3–6: Snímek formuláře aplikace na bázi VBA MS Excel pro kalkulaci provozních nákladů profesní prádelny, zvolena záložka kalkulace odpisů

## 4 Sběr dat a jejich využití

Platí jednoduchá poučka, že co se neměří, to se nedá (účinně) řídit, analyzovat ani hodnotit. Tato kapitola seznamuje s praxí sběru provozních dat v průmyslových prádelnách a uvádí doporučení pro jeho zefektivnění ve formě osmera praktických pokynů. Dále představuje návrh sběru provozních dat vsádkových praček a sušicích zařízení v laboratorním prostředí, který respektuje vybudovaná experimentální základna prezentovaná v další kapitole.

### 4.1 Sběr dat v komerčních prádelnách

Úroveň sběru provozních dat v komerčních prádelnách je obecně velmi nízká. Provozy jsou velmi často vybaveny pouze měřidly na hlavních přípojkách, a to jen z toho důvodu, že tato měřidla slouží jejím dodavatelům k fakturaci spotřebovaných energií či vody. Tomu účelu většinou odpovídá i frekvence odečtů měřidel, kterou určuje fakturační období, jež bývá v lepším případě (z hlediska následného využití dat) měsíční, v horším případě čtvrtletní, půlroční či dokonce roční. Je důležité, aby si provozovatelé uvědomili, že údaje o spotřebách nemají primárně sloužit ekonomickému úseku, ale úseku provoznímu, resp. technologickému.

Dostatek aktuálních informací (dat) o spotřebách provozu a jeho dílčích zařízení 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. V případě pračky tak například denně vyhodnocovat (měrnou) spotřebu čerstvé vody na 1 kg vypraného prádla danou jednoduchým podílem denní spotřeby vody a hmotností vypraného prádla (v suchém stavu) za den.

Jak je patrné, potřebné výpočty nejsou nijak složité. Jsou velmi intuitivní. Pro vedení kvalitní evidence spotřeb a produkce tak postačí základní znalost práce s některým tabulkovým kalkulátorem – např. MS Excel nebo jeho deriváty na bázi svobodného softwaru. Náklady na vybavení provozu základními měřidly jsou také víceméně zanedbatelné ve srovnání s pořizovacími náklady na technologii a mohou se rychle vrátit s ohledem na možnost rychlého odhalení poruchových stavů. Největší překážkou tak může být jen nízká disciplína provozovatelů, resp. provozních pracovníků při vedení pravidelné evidence.

Pro některé provozy může být snadnější sledovat produktivitu v počtech kusů prádla, zejména pokud využívají různých systémů identifikace prádla (čárové kódy, RFID) napojených na automatickou evidenci pro účely fakturace (často například prádelny pracovních oděvů). Pokud však v systému nejsou vedeny hmotnosti jednotlivých kusů prádla a vychází se jen z jejich počtu, má popsany systém sledování měrných spotřeb nižší

vypovídající hodnotu zejména tehdy, když je velký rozptyl hmotností jednotlivých kusů prádla. Prádlo je vhodné vážit v čistém a suchém stavu – například před expedicí.

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).
6. Měřit celkovou produkci provozu a všech nebo alespoň klíčových technologických zařízení – nejlépe hmotnost zpracovaného prádla, jinak počet kusů.
7. Denně, maximálně týdně provádět odečty instalovaných měřidel a srovnávat je s denní, resp. týdenní produkcí – celého provozu a u spotřebičů, od kterých jsou dostupná data.
8. Evidovat počet odpracovaných osobo-hodin obsluhy technologie a ve srovnání s celkovou produkcí provozu sledovat produkci provozu na jednoho pracovníka a hodinu.

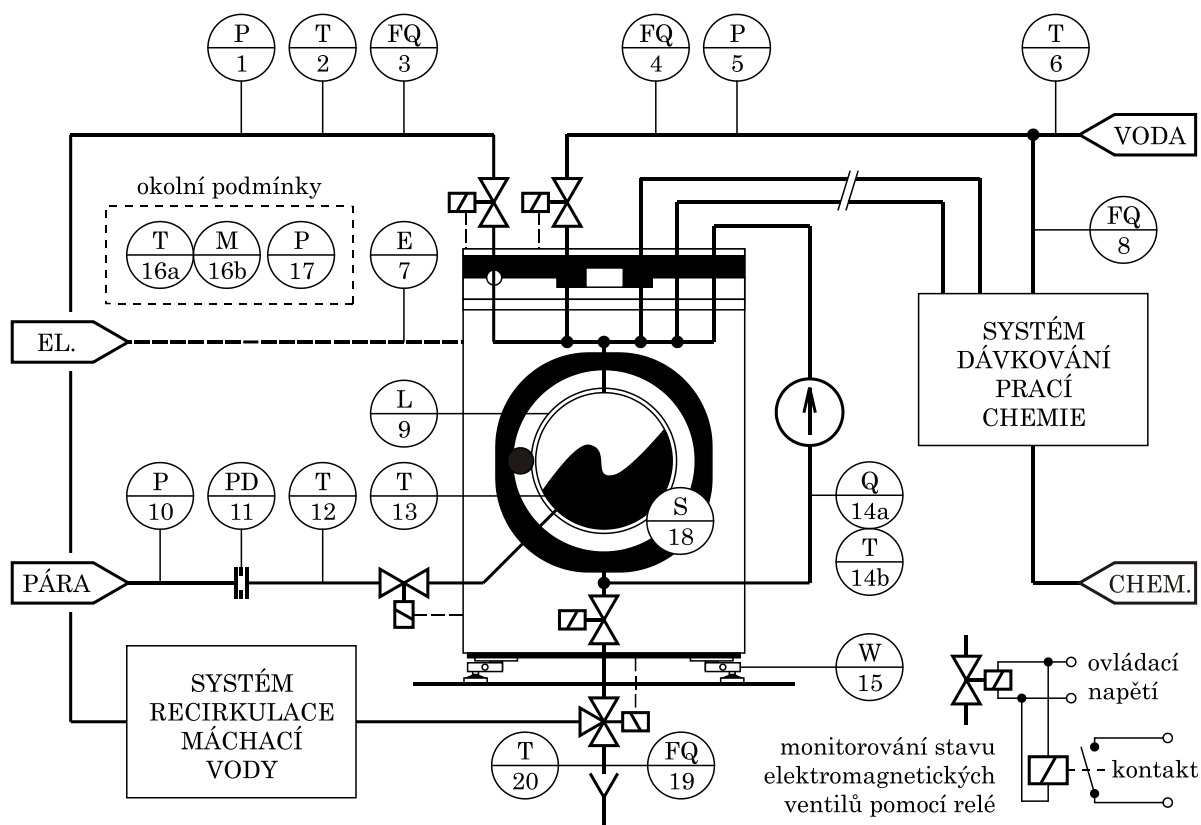
## 4.2 Sběr provozních dat praček a sušicích zařízení

Pro sledování provozních parametrů vsádkových praček s parním nebo elektrickým ohřevem, napojených na systémy dávkování prací chemie a recirkulace máchací vody bylo navrženo osazení měřidel dle schématu na obr. 4–1. Podobně pro bubnový sušič s elektrickým, parním nebo plynovým ohřevem zastupující kategorii sušicích zařízení (žehlič, tunelový dokončovač) platí schéma na obr. 4–2. Přehled měřených veličin a vhodných měřidel přehledně uvádí tab. 4–1 (pračka) a tab. 4–2 (sušič). V tabulkách je také uvedeno konkrétní využití dat. Měřené veličiny mohou sloužit pro:

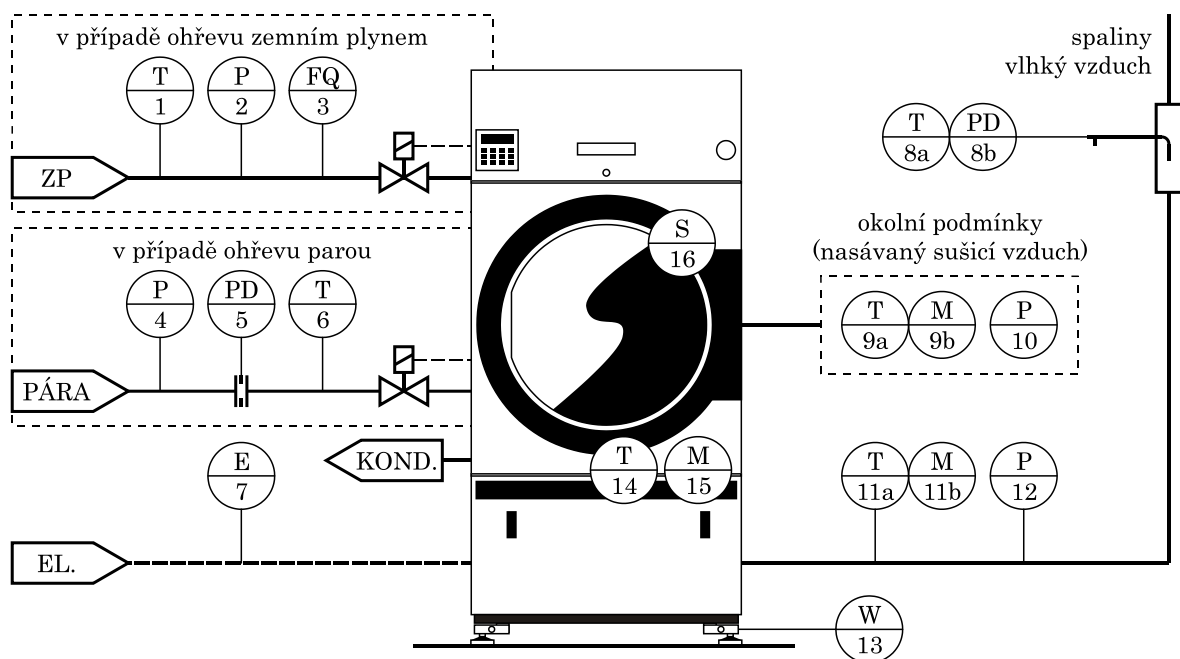
- a) přímé určení spotřeb energií a vody, resp. produkce odpadních látek,
- b) řízení nebo kontrolu řízení strojů, resp. technologických podmínek,
- c) řešení hmotnostních bilancí (HB) a energetických bilancí (EB), resp. jako okrajové podmínky pro matematické modely – viz kapitola 3,
- d) popis vlivu veličiny na určitý jev.

Hmotnost prádla před a po pracovním cyklu stroje je vždy potřeba ověřit kontrolním vážením. Ne všechny stroje je možné vybavit tenzometrickými buňkami v nohách základny a ne vždy toto řešení funguje spolehlivě, resp. dlouhodobě stabilně.





obr. 4-1: Zjednodušené schéma P&I se souborem měřidel pro zjišťování provozních parametrů vsádkové pračky s parním ohřevem



obr. 4-2: Zjednodušené schéma P&I se souborem měřidel pro zjišťování provozních parametrů bubnového sušiče s elektrickým, plynovým nebo parním ohřevem

tab. 4–1: Přehled vhodných měřidel, měřených veličin a jejich využití v rámci sběru provozních dat na usádkové práce s parním nebo elektrickým ohřevem

<i>umístění</i>	<i>veličina (číslo měřidla ze schématu)</i>	<i>vhodné měřidlo</i>	<i>využití (HB – hmotnostní bilance, EB – energetická bilance)</i>
proud čerstvé vody	(4) kumulovaný průtok	mechanický vodoměr, indukční průtokoměr	spotřeba a okamžitý průtok čerstvé vody, HB, EB
	(6) teplota	platinové teplotní čidlo	EB
	(5) tlak	převodník tlaku (rel.)	vliv na okamžitý průtok
proud recirkulované máchací vody	(3) kumulovaný průtok	indukční průtokoměr	spotřeba a okamžitý průtok recirkulované vody, HB, EB
	(2) teplota	platinové teplotní čidlo	EB
	(1) tlak	převodník tlaku (rel.)	vliv na okamžitý průtok
proud vody pro splav. prací chemie	(8) kumulovaný průtok	mechanický vodoměr, indukční průtokoměr	spotřeba a okamžitý průtok čerstvé vody, HB, EB
proud odpadní vody	(19) kumulovaný průtok	indukční průtokoměr	HB, EB, produkce odpadního tepla
	(20) teplota	platinové teplotní čidlo	EB, produkce odpad. tepla
proud topné páry	(11) diferenční tlak na škrticím elementu	clona + převodník diferenčního tlaku	rychlost proudění, spotřeba páry (tepla), HB, EB
	(12) teplota	převodník tlaku (abs.)	entalpie topné páry, spotřeba tepla, HB, EB
	(10) tlak	platinové teplotní čidlo	
elektrické vedení	(7) činný výkon a energie	analýzátor elektrické sítě + proud. transformátory	spotřeba elektrické energie, EB (při elektrickém ohřevu)
buben a jeho okolí	(18) rychlost otáčení	snímač otáček	tlg. podmínky, řízení, vliv na zbytkovou vlhkost po odstředění, kinetika prádla
	(13) teplota	platinové teplotní čidlo	
	(9) výška hladiny	hladinoměr	tlg. podmínky, řízení
cirkulační okruh	(14a) vodivost	vodivostní sonda	technologické podmínky
	(14b) teplota	s teplotní kompenzací	teplotní kompenzace vodivostního čidla
základna stroje	(15) hmotnost	tenzometrické buňky	hmotnost prádla a vodní lázně, HB, EB
ventily, stykače atd.	stav (zapnuto/vypnuto)	napěťová sonda	stavy ventilů, stykačů, zámků dveří, přepínačů atd.
okolí	(16a) teplota vzduchu	komb. prostorové čidlo	podmínky měření, vliv relativní vlhkosti vzduchu na hygroskopickou vlhkost prádla
	(16b) rel. vlhkost	teploty a rel. vlhkosti	
	(17) atmosférický tlak	čidlo atm. tlaku	

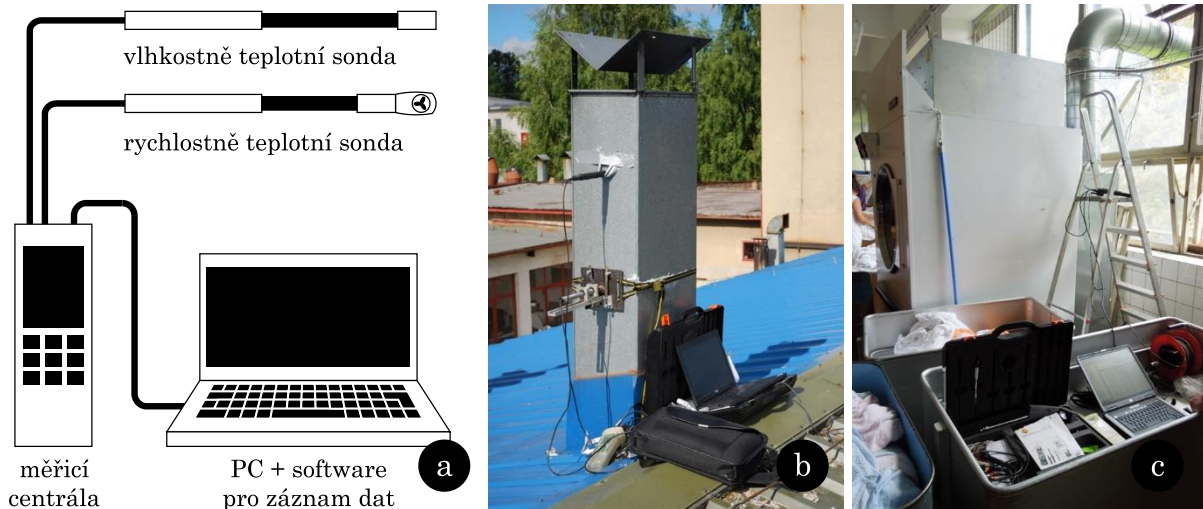
tab. 4–2: Přehled vhodných měřidel, měřených veličin a jejich využití v rámci sběru provozních dat na bubnovém sušiči s elektrickým, parním nebo plynovým ohřevem

umístění	veličina (číslo měřidla ze schématu)	vhodné měřidlo	využití (HB – hmotnostní bilance, EB – energetická bilance)
proud zemního plynu	(3) kumulovaný průtok	membránový plynoměr	spotřeba zemního plynu, HB, EB
	(1) teplota	platinové teplotní čidlo	normalizace spotřeby ZP, EB
	(2) tlak	platinové teplotní čidlo	normalizace spotřeby ZP
proud topné páry	(5) diferenční tlak na škrticím elementu	clona + převodník diferenčního tlaku	rychlost proudění, spotřeba páry (tepla), HB, EB
	(6) teplota	převodník tlaku (abs.)	entalpie topné páry, spotřeba tepla, HB, EB
	(4) tlak	platinové teplotní čidlo	
elektrické vedení	(7) činný výkon a energie	analyzátor elektrické sítě + proud. transformátory	spotřeba elektrické energie, EB (při elektrickém ohřevu)
buben a jeho okolí	(16) rychlost otáčení	snímač otáček	řízení, kinetika prádla
	(14) teplota	platinové teplotní čidlo	řízení, tlg. podmínky
	(15) vlhkost	hladinoměr	technologické podmínky
proud odpadního sušičího vzduchu či spalin	(8b) diferenční tlak	Prandtlova trubice s TČ + převodník dif. tlaku	rychlost proudění, produkce odpadních plynů, HB, EB
	(8a) teplota		
	(11a) teplota	kombinované čidlo	HB, EB
	(11b) vlhkost	teploty a rel. vlhkosti	
	(12) přetlak	převodník dif. tlaku	kontrola max. zpět. tlaku
základna stroje	(13) hmotnost	tenzometrické buňky	hmotnost prádla, HB, EB
ventily, stykače atd.	stav (zapnuto/vypnuto)	napěťová sonda	stavy ventilů, stykačů, zámků dveří, přepínačů atd.
okolí	(9a) teplota vzduchu	komb. prostorové čidlo	podmínky měření, vliv relativní vlhkosti vzduchu na hygroskopickou vlhkost
	(9b) rel. vlhkost	teploty a rel. vlhkosti	
	(10) atmosférický tlak	čidlo atm. tlaku	prádla

### 4.3 Využití softwaru Torreo

Při provedených měřeních v reálných prádelenských provozech byla potvrzena užitečnost softwaru Torreo, jehož první verze (1.0) byla hlavním produktem autorovy diplomové práce [4]. Zde je také uveden návod k jeho použití a kompletní výpočtové schéma. Software primárně slouží ke zpracování dat z měření parametrů vlhkého vzduchu v odtahu ze sušicích zařízení (sušičů, žehličů, tunelových finišerů). Úkolem aplikace Torreo je naimportovat dávku zaznamenaných dat a po zadání dodatečných údajů (referenční stav,

průřez kanálu, korekce aj.) určit energetickou náročnost (spotřebu) a odpařovací kapacitu (výkon) stroje pro uživatelem definované časové úseky (intervaly).



obr. 4–3: Mobilní měřicí sestava Testo: (a) schéma zapojení, (b, c) nasazení v provozu

Aplikace je optimalizovaná pro import dat získaných pomocí měřicího zařízení od firmy Testo a programu Testo Comfort-Software, který přes sériovou linku periodicky (obvykle každé 2 vteřiny) zjišťuje a zaznamenává hodnoty měřených veličin ze sond připojených k měřicí centrále (viz obr. 4–3 a).



obr. 4–4: Hlavní okno uživatelského rozhraní aplikace Torreo

Pomocí rychlostně-teplotní (vrtulkové) sondy a teplotně-vlhkostní sondy se měří rychlost proudění [m/s], relativní vlhkost [%], teplota na rychlostní sondě [°C] a teplota na vlhkostní sondě [°C]. Program Testo Comfort-Software navíc v reálném čase dopočítává absolutní vlhkost [g/m<sup>3</sup>]. Metoda vyžaduje triviální zásah do potrubí odtahu v podobě dvou děr o průměru okolo 20 mm, kudy se zasunou dvě ruční sondy (viz obr. 4–3 b, c).

Aplikace je dle potřeby průběžně doplňována o nové funkce. Toho času aktuální verze je 1.2. Uživatelské rozhraní ukazuje obr. 4–4.

#### 4.4 Využití bezdrátových senzorových sítí

Bezdrátové senzorové sítě (wireless sensor network, WSN) představují nový pohled na využití snímačů pro sběr dat. Skládají se z většího množství malých, bezdrátových a cenově dostupných zařízení, tzv. senzorových uzlů. Tyto uzly bezdrátově komunikují se základní stanicí (tzv. base station) i mezi sebou. Vývoj WSN dříve probíhal především ve vojenském průmyslu, kde se technologie využívala pro sledování bitevního pole. Další rozvoj byl spojený především se systémy včasného varování v případě přírodních katastrof. Bezdrátové senzorové sítě se však začaly rychle objevovat v různých průmyslových i civilních aplikacích. V současnosti je možné se s nimi setkat v oblasti průmyslového měření a regulace, ve zdravotnictví či při organizaci městské dopravy. [31]



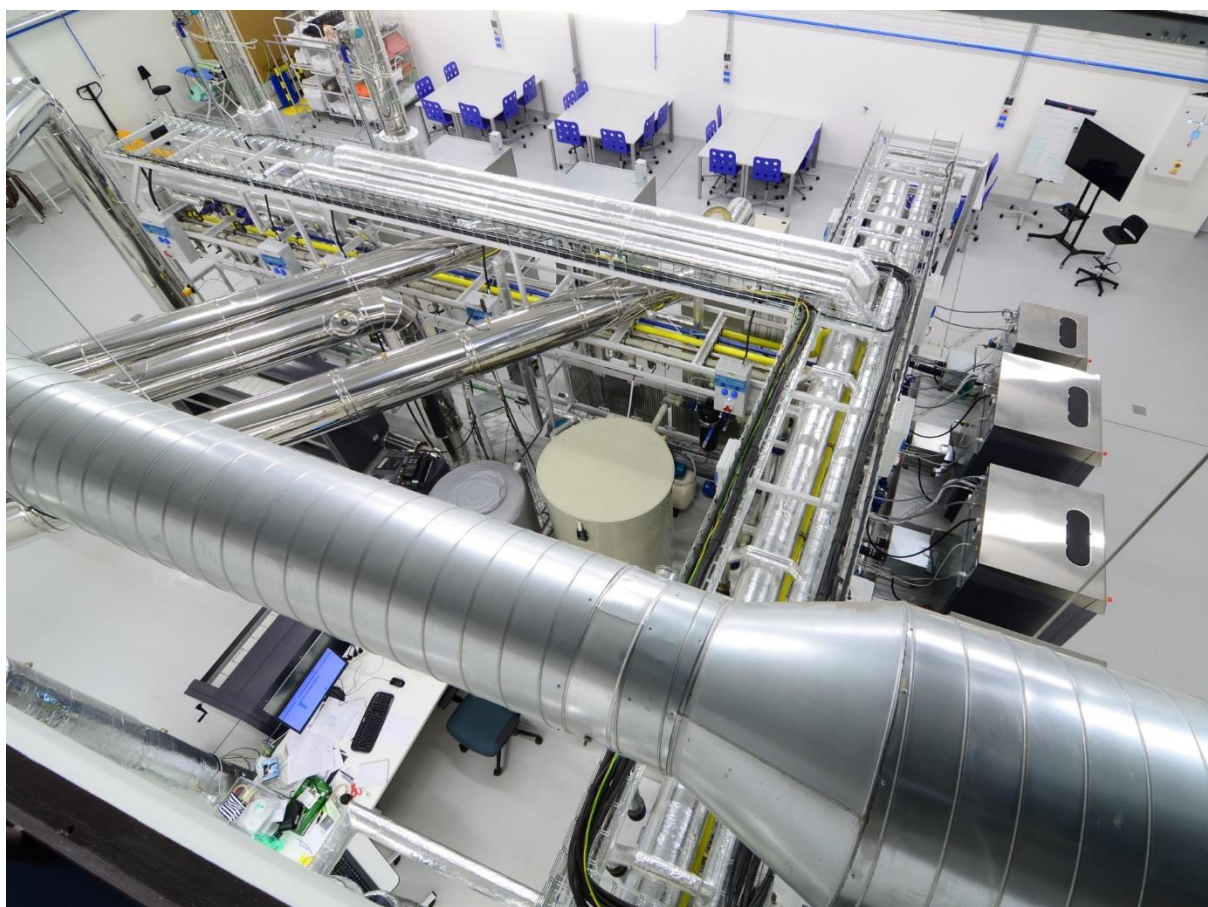
obr. 4–5: Snímek internetových stránek projektu WSN Lab, které umožňovaly online sledovat měřené hodnoty okolní teploty, intenzity osvětlení a síly signálu jednotlivých uzlů (provoz ukončen)

Pro účely testování technologie WSN sloužil projekt WSN Lab – laboratoř bezdrátových senzorových sítí, který proběhl ve spolupráci s Fakultou informačních technologií VUT v Brně. V rámci projektu bylo po stěnách jedné místnosti (laboratoře) rovnoměrně rozmístěno šest senzorových uzlů ve výšce cca 3 m. Každý senzorový uzel poskytoval informaci o teplotě okolí, o míře intenzity osvětlení a o síle signálu při komunikaci se základní stanicí, prostřednictvím které probíhal sběr dat. Komunikace probíhala pomocí rádiových vln ve volném pásmu ISM 2,4 GHz. Základní stanice byla připojena přes sériovou linku k PC. Na PC, které bylo trvale připojeno k internetu, fungoval archivační systém a webový server s autorem vytvořenou aplikací umožňující online vizualizaci měřených dat pomocí internetového prohlížeče (obr. 4–5).

Projekt byl přerušen z důvodu stavební rekonstrukce budovy, ve které se laboratoř nacházela. Testovací síť by se v budoucnu měla přesunout do Laboratoře ENP v NETME Centre, kde půjde lépe ověřit možnost využití WSN v prostředí průmyslového provozu (prádelny) s ohledem na možná rušení a překážky bezdrátové komunikace. Využití WSN se jeví zvláště výhodné pro krátko- a střednědobý sběr provozních dat v komerčních prádelnách pro účely výzkumu z důvodu rychlosti implementace, jelikož odpadá potřeba instalace kabelového vedení.

## 5 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. 5–1), NETME Centre, jejich účel a využití byly popsány v úvodu, podkapitole 1.1. Tato kapitola se bude věnovat popisu technického řešení zmíněných celků a přidružených technologií.



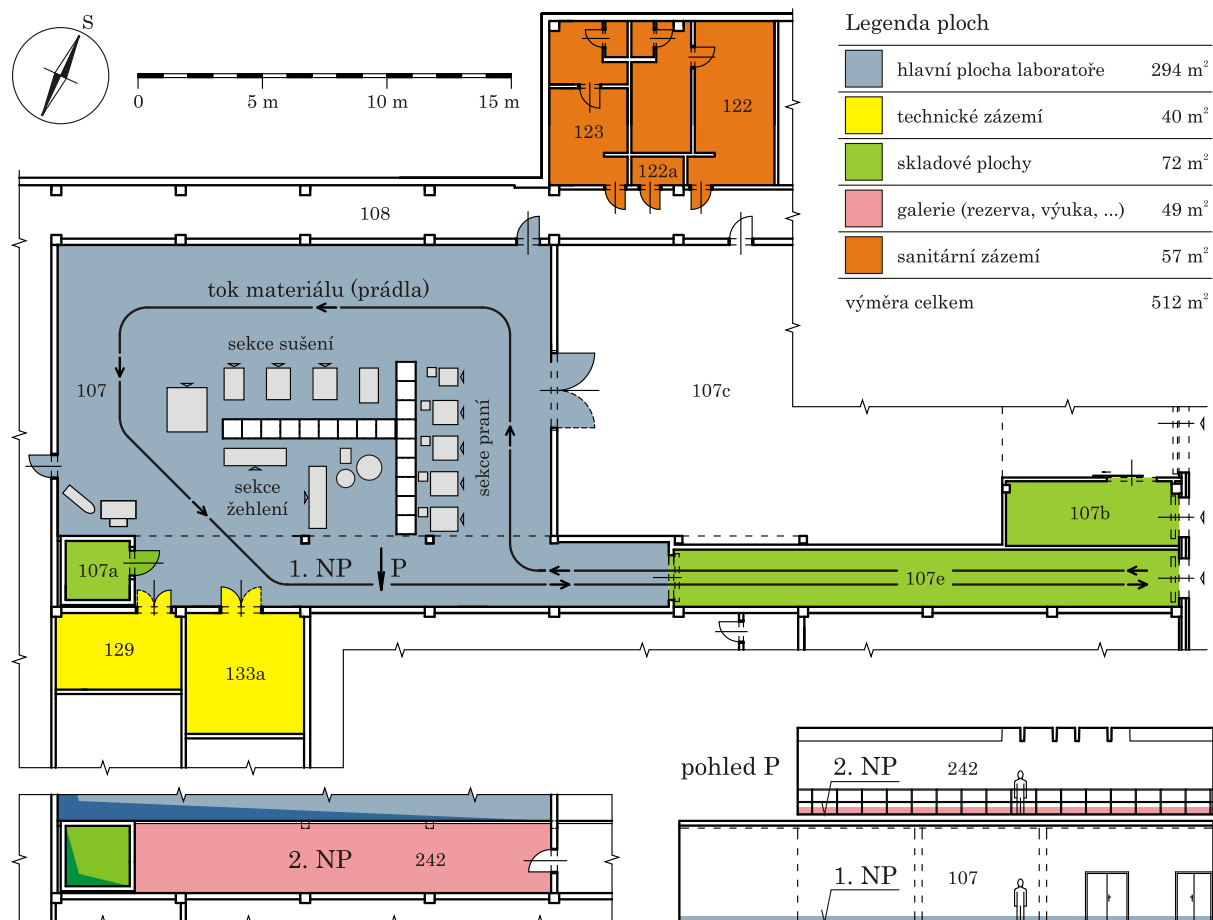
*obr. 5–1: Laboratoř energeticky náročných procesů – pohled z galerie v patře na stojanovou ocelovou konstrukci s rozvody médií a připojené spotřebiče v přízemí laboratoře*

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 – úpravný 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, chladičského 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).

Dispoziční uspořádání LENP a souvisejících prostor v budově D5 – NETME Centre je na obr. 5–2. V centrální části laboratoře, která samotná má výměru 294 m<sup>2</sup> a na kterou navazuje dalších 218 m<sup>2</sup> skladových prostor a technického a sanitárního zázemí, je umístěna stojanová ocelová konstrukce s rozvody médií a okolo ní jsou rozestavěny spotřebiče do třech skupin. Tím vznikly sekce praní, sušení a žehlení. Díky tomuto uspořádání je tok materiálu (prádla) v rámci modelovaného prádelenského provozu plynulý bez nežádoucího křížení. Navíc toto řešení minimalizovalo délky potrubních a kabelových tras a umožňuje snadno propojit spotřebiče navzájem, jelikož nestojí příliš daleko od sebe. Velikost zařízení, která je možné testovat, je limitovaná pouze vstupními vraty, jejichž průjezdný profil je 3 000 × 3 000 mm.



obr. 5–2: Půdorys Laboratoře energeticky náročných procesů a souvisejících prostor

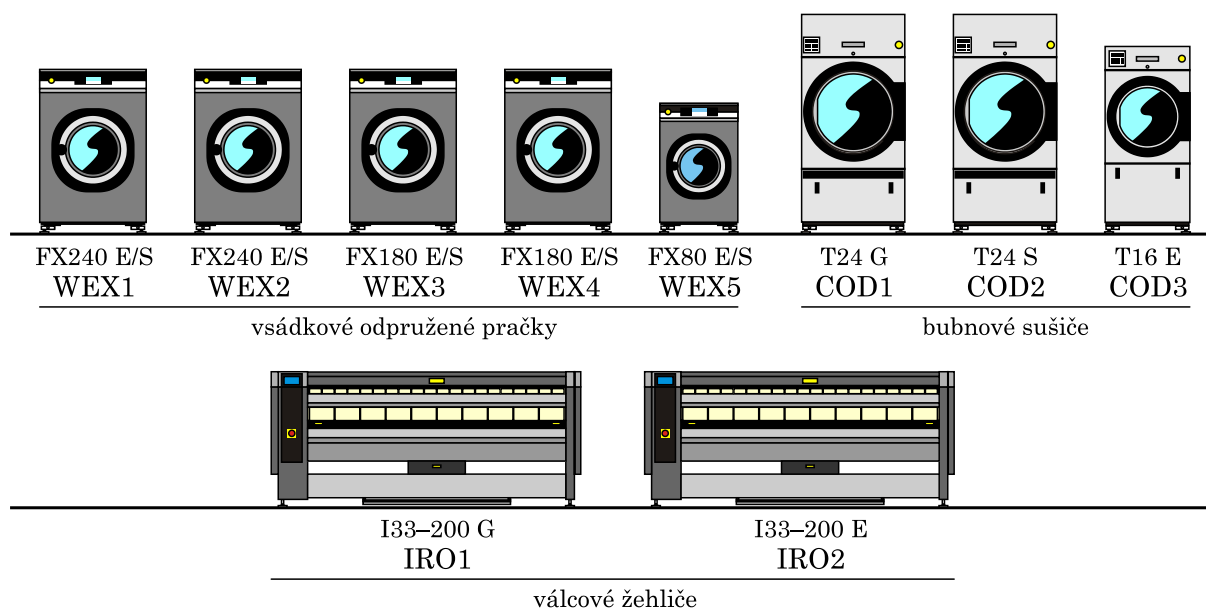


## 5.1 Součásti modelu energeticky náročného procesu

Model ENP tvoří pračky, sušiče, žehliče, žehlicí lis, úpravna 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.

### 5.1.1 Pračky, sušiče a žehliče

Soubor praček, sušičů a žehličů (viz obr. 5–3) 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.



obr. 5–3: Pračky, sušiče a žehliče značky Primus a jejich kódová označení v rámci modelu ENP (písmeno E značí elektrický, S parní a G plynový ohřev)

Jádro technologie tvoří 5 průmyslových odpružených praček (obr. 5–4). Jedná se o prací stroje značky Primus modelové řady FX s kombinovaným parním a elektrickým ohřevem. Konkrétně:

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

Pračky je možné volně programovat, to znamená sestavovat libovolné prací programy pomocí jednotkových kroků (předpírka, praní, máchání aj.), přičemž lze volit parametry teploty, výšky hladiny, rychlosti otáčení bubnu, volit napouštěcí ventily atd. Pračky jsou vybaveny přídatnými trojcestnými ventily pro odpadní vodu, které umožňují zvolit, zda vypouštěná voda půjde do kanalizace nebo do recirkulačního systému pro opětovné použití.



*obr. 5-4: Sestava vsádkových praček*



*obr. 5-5: Sestava bubnových sušičů a plynová mikroturbína (zcela vlevo)*



*obr. 5-6: Sestava válcových žehliček*

Řídicí jednotky strojů umí komunikovat protokolem Modbus po sběrnici RS485. Prostřednictvím dodaného softwaru lze tisknout reporty o proběhlých pracích cyklech, stroje monitorovat a konfigurovat. Základní parametry praček jsou vedeny v tab. 5–1.

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

- a) 1 ks T24 G s nominální kapacitou bubnu 24 kg a plynovým 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 elektrickým ohřevem (ozn. COD3).

Řídicí jednotky sušičů umožňují uživatelsky konfigurovat sušicí programy, přičemž každý sušicí program je možno vytvořit v 5 krocích skládajících se ze sekvence sušení a ochlazování. Konec sušicí fáze je určen buď zadanou dobou sušení, nebo požadovanou zbytkovou vlhkostí prádla, která je řídicí jednotkou zjišťována pomocí čidla absolutní vlhkosti vzduchu. Systém řízení dle zbytkové vlhkosti prádla však není zcela spolehlivý zejména při nižších nákládkách. Základní parametry sušičů jsou uvedeny v tab. 5–2.

Sekce žehlení sestává ze dvou geometricky shodných válcových žehliček značky Primus:

- 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 rovněž 2 m (ozn. IRO2).

Řízení žehliček umožňuje plynule nastavit teplotu válce až do 180 °C a rychlost žehlení (posunu prádla) v rozsahu 1–6 m/min. Jejich základní parametry uvádí tab. 5–3.

tab. 5–1: Základní parametry vsádkových praček dle [32], [33] a výrobních štítků

<i>typ</i>		<i>Primus FX240</i>	<i>Primus FX180</i>	<i>Primus FX80</i>
kapacita bubnu	kg	24	18	8
objem / průměr bubnu	ℓ / mm	240 / 750	180 / 750	75 / 530
druh ohřevu	–	elektrický / parní	elektrický / parní	elektrický / parní
příkon el. ohřevu	kW	18	18	6
G faktor při odstředění	–	400	400	400

tab. 5–2: Základní parametry bubnových sušičů dle [34], [35] a výrobních štítků

<i>typ</i>		<i>Primus T24 G</i>	<i>Primus T24 S</i>	<i>Primus T16 E</i>
kapacita bubnu	kg	24	24	16
objem / průměr bubnu	ℓ / mm	530 / 930	530 / 930	345 / 760
odpařovací kapacita	kg/min	0,384	0,384	0,3
druh ohřevu	–	plynový	parní	elektrický
příkon ohřevu	kW	33 (zemní plyn 2 kPa g)	27–36,2 (pára 7–10 bar g)	24
příkon pohonu / ventilátoru	kW	0,25 / 0,55	0,25 / 0,55	0,25 / 0,55
limit teploty sušení	°C	82	70	70
průtok vzduchu	m <sup>3</sup> /h	900	950	600

tab. 5–3: Základní parametry válcových žehliček dle [36] a výrobních štítků

typ		Primus I33-200 G	Primus I33-200 E
kapacita dle ISO 9398-1	kg/h	72	70
průměr / délka válce	mm / mm	320 / 2080	320 / 2080
druh ohřevu	–	plynový	elektrický
příkon ohřevu	kW	30	27,9
příkon pohonu / ventilátoru	kW	0,18 / 0,095	0,18 / 0,095
rychlost žehlení	m/min	1–6	1–6

### 5.1.2 Úpravna vody a systém dávkování prací chemie

Technologická voda pro praní je měkčena v duplexní úpravně vody na bázi výměny iontů (obr. 5–7 a) s průtočnou kapacitou až 7,5 m<sup>3</sup>/h. Tvrdost vody z obecního vodovodu se touto metodou snižuje z cca 18 °dH (dáno lokalitou – Brno) na pouhé 2 °dH. Systém dávkování prací chemie (obr. 5–7 b), který byl dodán jako funkční celek, je tvořen soustavou čerpadel, pneumaticky ovládaných ventilů a dalších prvků. Systém komunikuje s pračkou a pomocí peristaltických a odstředivých čerpadel dopravuje prací prostředky ze zásobníků, kde jsou uchovávány, na určené vstupy pračky. Dávkování probíhá bezobslužně podle zvoleného pracího programu v pračce a zajišťuje přísun tekutých i práškových pracích prostředků v danou dobu pracího cyklu. Receptura pracího roztoku se sestavuje ještě před započítáním dávkovacího procesu. Řídicí jednotka umožňuje komunikovat s PC a prostřednictvím příslušného softwaru lze systém konfigurovat a archivovat data. Toho času se využívá následujících pracích prostředků:

- prací práškový prostředek s obsahem zeolitu do 5 %,
- tekutý alkalický prací prostředek s obsahem hydroxidu sodného nad 25 %,
- tekutý emulgátor tuků s obsahem účinných látek nad 60 %,
- tekutý bělicí a dezinfekční prací prostředek na bázi aktivního kyslíku,
- tekutý bělicí a dezinfekční prací prostředek na bázi chlóru,
- tekutý neutralizační prací prostředek s koncentrací kyseliny 15–50 %.



obr. 5–7: Úpravna vody (a) a systém dávkování prací chemie (b)

### 5.1.3 Žehlicí lis a provozní příslušenství

O finalizaci tvarového prádla se stará žehlicí lis s parním ohřevem CT-750/ULL. Soubor provozního příslušenství tvoří profesionální elektrická napařovací žehlička a žehlicí stůl s odsáváním, profesionální šicí stroj, stoly s nerezovým povrchem pro skládání prádla, šatní stojany s ramínky, vozíky se zdvihacím dnem, hluboké drátěné vozíky, vysoké klecové vozíky s policemi a další skladovací technika.



obr. 5–8: Žehlicí lis a výběr ze souboru provozního příslušenství

### 5.1.4 Testovací prádlo a systém identifikace na radiové frekvenci

Jako surovina pro provádění plánovaných experimentů a normovaných testů na jednotlivých strojích slouží soubor testovacího prádla. Jde jednak o běžné komerční prádlo (obr. 5–9 a), jehož skladba a parametry jsou uvedeny v tab. 5–4, a dále o certifikované testovací prádlo WFK splňující požadavky normy IEC 60456 pro testování praček ve složení: 200 ks povlaků na polštáře, 150 ks prostěradel a 400 ks ručníků ze 100% bavlny. Každý kus tohoto prádla má z výroby našitý štítek se sériovým číslem (obr. 5–9 b).

tab. 5–4: Parametry souboru běžného testovacího prádla

druh prádla	materiál (BA – bavlna)	rozměr [cm]	počet [ks]	celková hmotnost [kg]
povlak na polštář bílý hladký	100% BA, 145 g/m <sup>2</sup>	70 × 90	65	11,9
povlak na přikrývku bílý hladký	100% BA, 145 g/m <sup>2</sup>	140 × 200	65	52,8
prostěradlo bílé hladké	100% BA, 145 g/m <sup>2</sup>	140 × 240	120	58,5
froté ručník bílý	100% BA, 400 g/m <sup>2</sup>	50 × 100	135	27,0
froté osuška bílá	100% BA, 500 g/m <sup>2</sup>	70 × 140	105	51,5
froté předložka bílá	100% BA, 750 g/m <sup>2</sup>	50 × 70	105	27,6

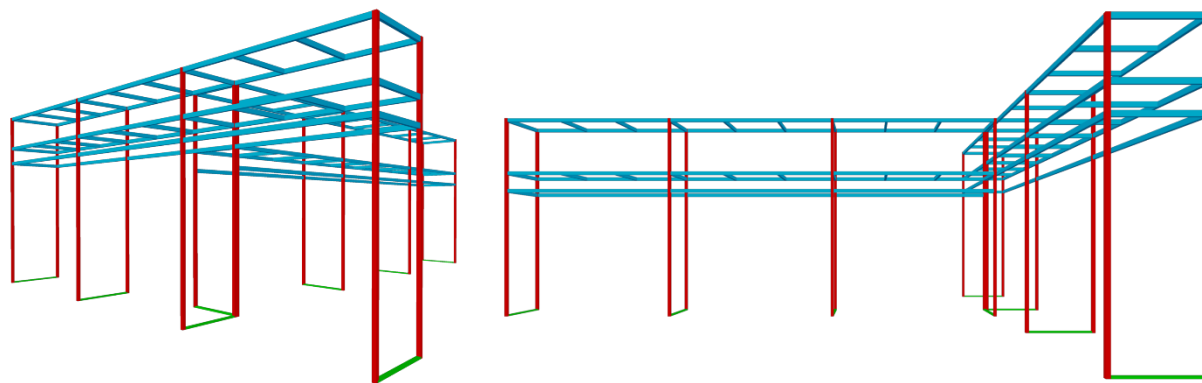


obr. 5–9: Běžné testovací prádlo (a), certifikované testovací prádlo WFK (b), RFID UHF transpondér v textilní kapsičce pro našití na prádlo (c)

Aby se usnadnila identifikace jednotlivých kusů i celých dávek prádla, byla pořízena základní sada pro identifikaci prádla na radiové frekvenci (RFID) sestávající z 500 kusů transpondérů (tzv. tagů) v textilních kapsičkách, které se našijí na prádlo, a jedna ruční čtečka umožňující bezdrátově komunikovat s PC přes Bluetooth. Byla vybrána moderní technologie UHF s pracovní frekvencí 865–868 MHz, která umožňuje identifikovat prádlo opatřené transpondérem až na vzdálenost několika metrů (typicky 7–8 m), a to i v případě, že je prádlo umístěno v klecovém vozíku. Starší technologie HF (13,56 MHz) toto neumožňuje a pracuje maximálně na vzdálenost několika desítek centimetrů (typicky okolo 30 cm).

## 5.2 Procesní infrastruktura

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. 5–1). Model konstrukce je na obr. 5–10. Je složena z uzavřených ocelových profilů 40×40×3 mm (stojny – na obrázku červeně), 50×30×3 mm (horizontální příčky – modře) a 40×20×2 mm (základny stojen – zeleně) a tvoří ji dva na sebe kolmé segmenty s délkou přibližně 7 m, šířkou 0,8 m a výškou 2,8 m.



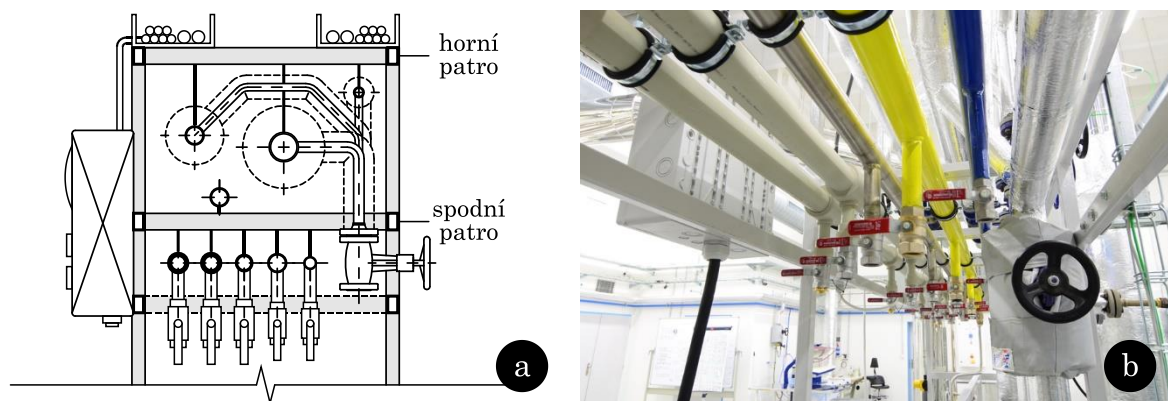
obr. 5–10: Model stojanové ocelové konstrukce

Každý segment má při pohledu shora 9 čtvercových polí – sektorů o velikosti 770×770 mm (střednice profilů). Uspořádání rozvodů na ocelové konstrukci je na obr. 5–10 (a). Na horním patře jsou při krajích uloženy drátěné žlaby pro kabely silnoproudu, které jsou svedeny do podružných rozvaděčů připevněných po bocích konstrukce (viz obr. 5–14 b). Pod horním patrem je zavěšeno:

- a) ocelové potrubí DN 80 s tepelnou izolací pro NTL páru,
- b) ocelové potrubí DN 50 s tepelnou izolací pro STL páru,
- c) ocelové potrubí DN 25 s tepelnou izolací pro STL kondenzát
- d) a v některých úsecích ocelové potrubí DN 50 jako samostatný přívod zemního plynu pro plynovou mikroturbínu (viz článek 5.2.5).

Pod spodním patrem je zavěšeno (viz obr. 5–10 b):

- e) 2krát polypropylenové potrubí DN 40 pro vodu,
- f) potrubí DN 40 z nerezové oceli pro vodu,
- g) ocelové potrubí DN 50 pro zemní plyn,
- h) ocelové potrubí DN 32 pro tlakový vzduch
- i) a v některých úsecích ocelové potrubí DN25 s tepelnou izolací pro NTL kondenzát.



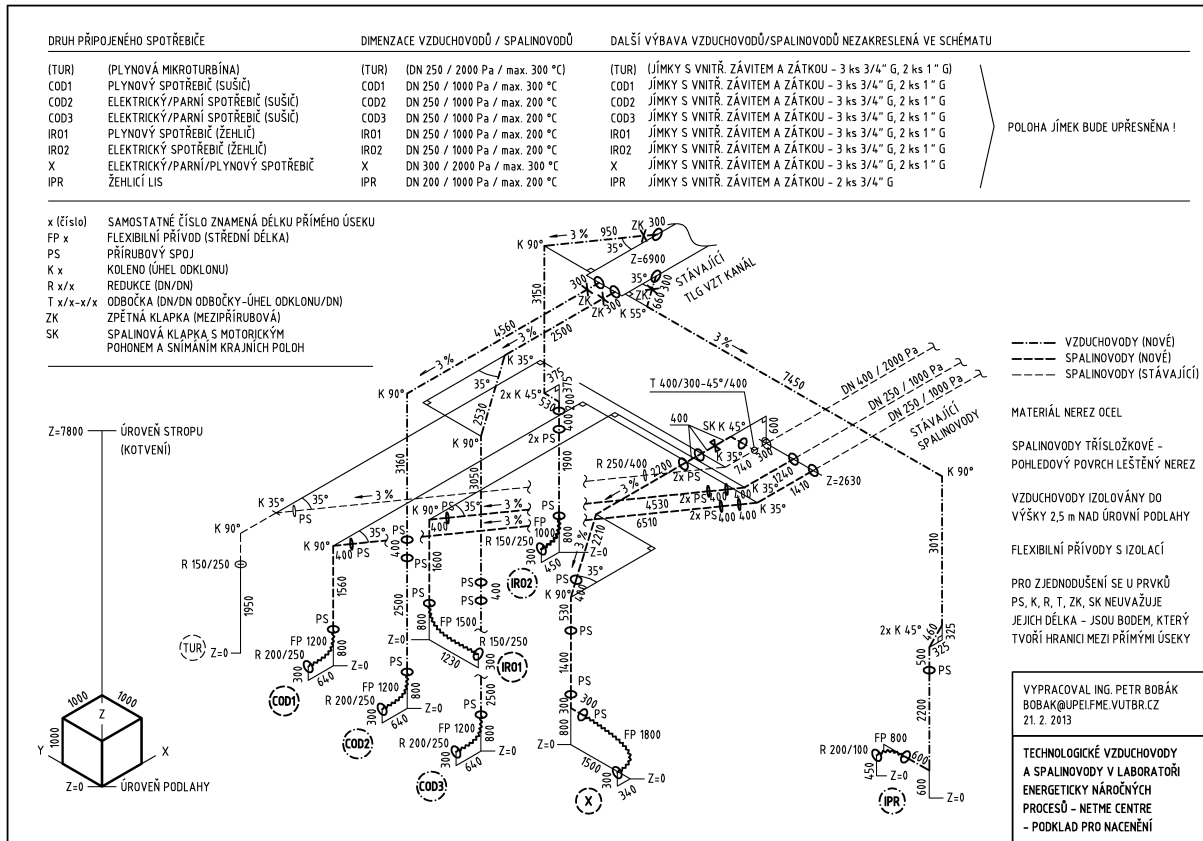
obr. 5–11: Rozvod médií po ocelové konstrukci: (a) náčres, (b) pohled pod spodní patro

Součástí infrastruktury jsou také rozvody prací chemie, kanalizace a hlavně technologické vzduchovody a spalínovody. Výkres jejich řešení je na obr. 5–12 jako ukázka vytvořené výkresové dokumentace.

Půdorys SOK a její okolí je na obr. 5–13, kde je také uvedeno značení jednotlivých sektorů konstrukce (S1–S18), okolních ploch (stendů) a zařízení. Ze své podstaty umožňuje 18 sektorů připojit a testovat až 18 zařízení. Toho času je instalováno 11 zařízení:

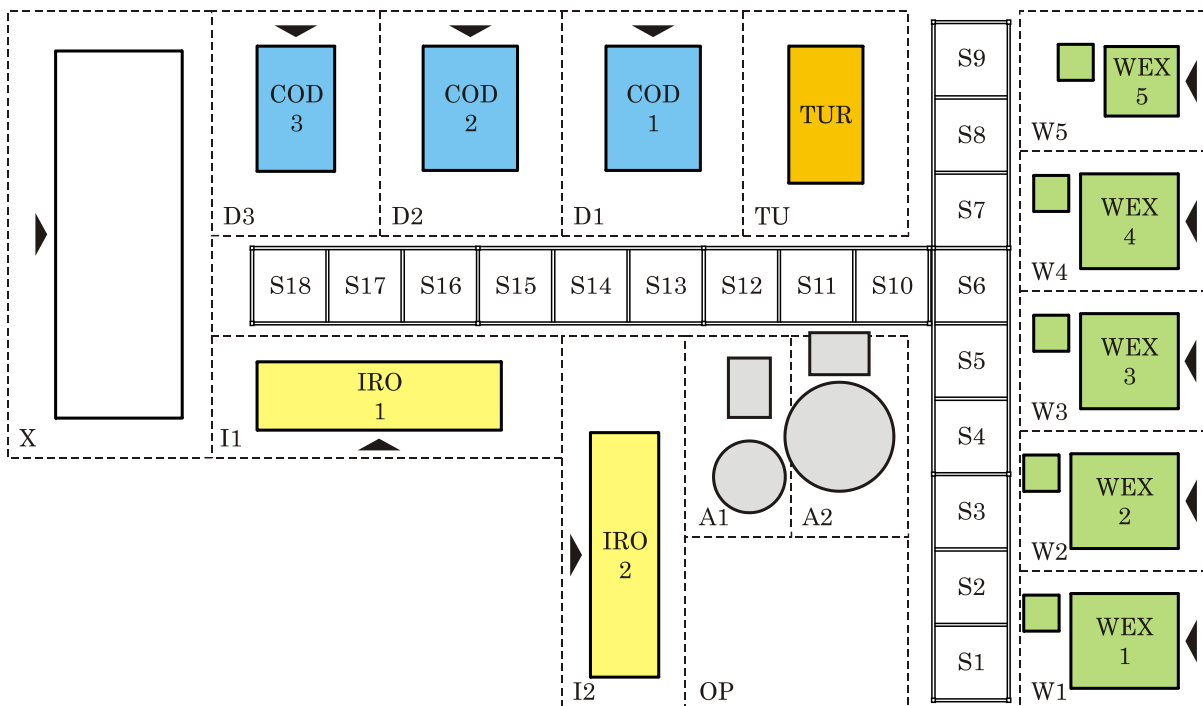
- a) 5 praček WEX1–WEX5 ve stendech W1–W5,
- b) 3 sušiče COD1–COD3 ve stendech D1–D3,
- c) 2 žehliče IRO1 a IRO2 ve stendech I1 a I2
- d) a plynová mikroturbína TUR ve stendu TU.

Stend, který je 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. Přehled dostupnosti procesní infrastruktury v jednotlivých sektorech stojanové ocelové konstrukce včetně dimenzí přípojek je v tab. 5–5.



obr. 5-12: Ukázka z výkresové dokumentace – rozvod technologických vzduchovodů a spalinovodů

Plocha A1 je vyhrazena pro zařízení pro sběr a přečerpávání nízkotlakového kondenzátu a plocha A2 pro systém recirkulace máchací vody. Na ploše OP je toho času stanoviště operátora provozu.



obr. 5-13: Značení sektorů stojanové ocelové konstrukce (S1-S18), okolních ploch a zařízení



tab. 5–5: Přehled dostupnosti procesní infrastruktury v jednotlivých sektorech stojanové ocelové konstrukce včetně dimenzí přípojek

sektor	elektrina I)	voda upravená (měkká)	voda pitná (tvrdá)	voda máčací (recirkulovaná)	tlačový vzduch	zemní plyn (2 kPa g)	pára NTL (0,3–1 bar g)	pára STL (3–8 bar g)	odvod NTL kondenzátu	odvod STL kondenzátu	odtah vlhkého vzduchu	odtah spalin zemního plynu	napojení kanalizace	sběrný žlab na máčací vodu	prací chemie
–	kW/kW	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	DN	–	–
S1	55/40	25	25	25	15	25	25	15	–	15	–	–	110	ano	ano
S2	30/20	40	40	40	20	25	–	–	–	–	–	–	110	ano	–
S3	55/40	25	25	25	15	25	25	15	–	15	–	–	110	ano	ano
S4	30/10	40	40	40	20	25	–	–	–	–	–	–	110	ano	–
S5	30/30	25	25	25	15	25	25	15	–	–	–	–	110	ano	ano
S6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	ano	–
S7	30/30	25	25	25	15	25	25	15	–	–	–	–	110	ano	ano
S8	30/10	40	40	40	20	25	–	–	–	–	–	–	110	ano	–
S9	30/8	25	25	25	15	25	15	15	–	–	–	–	110	ano	ano
S10	30/20	25	25	25	15	25	–	–	–	–	–	–	110	–	–
S11	40/40	40	40	40	20	25 50 2)	–	–	–	–	–	300 3)	110	–	–
S12	30/10	25	25	25	15	25	–	–	–	–	–	–	–	–	–
S13	30/6	40	40	40	20	25	–	–	–	–	–	250	–	–	–
S14	40/30	25	25	25	15	25	–	–	–	–	250	–	–	–	–
S15	50/6	25	25	25	15	25	–	–	–	–	250	–	–	–	–
S16	40/6	25	25	25	15	25	25 25	15 15	25	15	–	250	–	–	–
S17	50/25	25	25	25	2×15 20	25	–	–	–	–	250	–	–	–	–
S18	(a) 80/80 (b) 80/20	40 25	40 25	40 25	–	25 25	65 65	40 40	25	25	–	300 3)	110	–	–

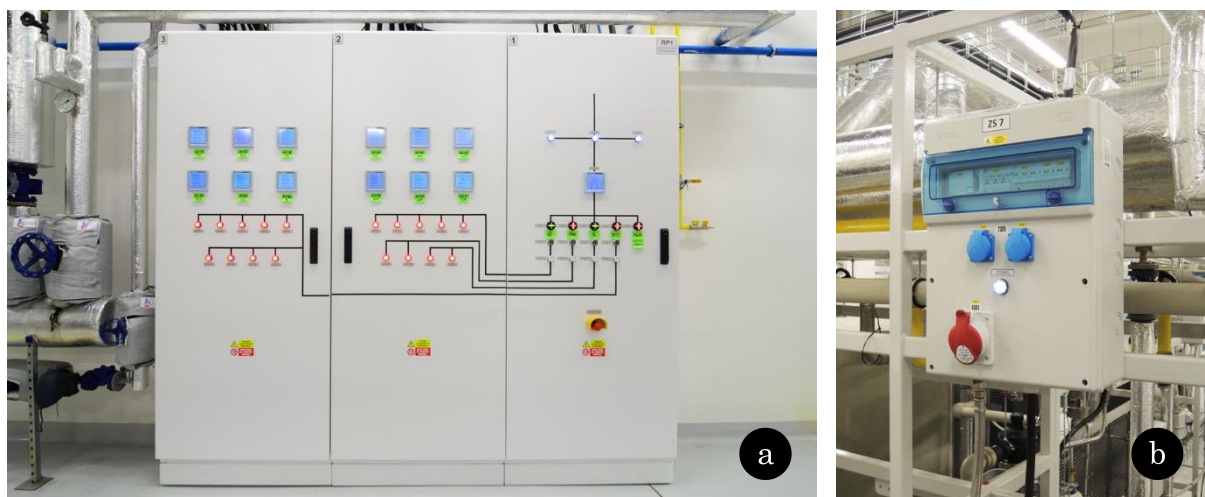
1) A/B – hodnota A udává dimenzi přívodního kabelu, hodnota B udává předjištění stroje – je možné navýšit výměnou jističe až na hodnotu odpovídající dimenzi přívodního kabelu

2) samostatná přívodní větev zemního plynu DN 50 na tlaku 3 kPa g

3) odvody spalin ústí do společného kouřovodu DN 400, směrování zajištěno uzavíracími klapkami

### 5.2.1 Silnoproudá elektroinstalace

V prostoru LENP jsou umístěny 3 silové elektrické rozvaděče. Hlavní 3polový skříňový rozvaděč RP1 (obr. 5–14 a) s rezervovaným elektrickým výkonem na přípojce 100 kW zajišťuje napájení všech hlavních (technologických) spotřebičů u stojanové ocelové konstrukce (SOK), systému MaR a vybraných zásuvkových obvodů. Rozvod pro spotřebiče u SOK je dělen do čtyř větví. Hlavní jističe těchto větví jsou dimenzovány na 100 kW a mají nastavitelné vybavovací hodnoty (v rozmezí cca 20–100 %) – lze tak využít až celé kapacity přípojky v kterékoli větvi. Dále mají jističe volitelné vypínací charakteristiky, podpětové spouště a motorické pohony pro zapnutí i vypnutí. Za hlavními jističi jsou zapojeny jističe, které jistí vedení k danému spotřebiči u SOK. Spotřebiče u SOK jsou napojeny přes samostatné podružné rozvaděče, resp. zásuvkové kombinace (obr. 5–14 b) vybavené dalšími jisticími prvky dimenzovanými dle konkrétního spotřebiče. Každá zásuvková kombinace je vybavena signálkou přítomnosti napětí na přívodu a průhledným krytem modulárních přístrojů, který umožňuje lepší přehled o stavu jisticích prvků.



obr. 5–14: Silnoproudá elektroinstalace: (a) rozvaděč RP1, (b) jeden z 18 podružných rozvaděčů pro připojení spotřebičů u stojanové ocelové konstrukce

Nástěnné rozvaděče RP2 a RP3 s rezervovaným výkonem na přípojce 30 kW a 10 kW zajišťují napájení žehlicího lisu, provozního příslušenství a několika jedno- a třífázových zásuvkových okruhů. Hlavní jističe rozvaděčů jsou také vybaveny podpětovou spouští.

Pomocné obvody (podpětové spouště, motorické pohony, signálky, pomocné kontakty jističů pro napojení do MaR ústředny) jsou napájeny zdrojem 24 V DC, zálohovaným akumulátorem a zabezpečením proti přepětí a zkratu. Pomocné napětí včetně zálohy je mezi rozvaděči sdíleno. Není-li v rozvaděči přítomno pomocné napětí (24 V DC), není v provozu žádná větev vybavená central-stopem. Veškeré jisticí prvky elektroinstalace mají pomocné kontakty, kterými je možné sledovat stav prvku pomocí systému MaR.

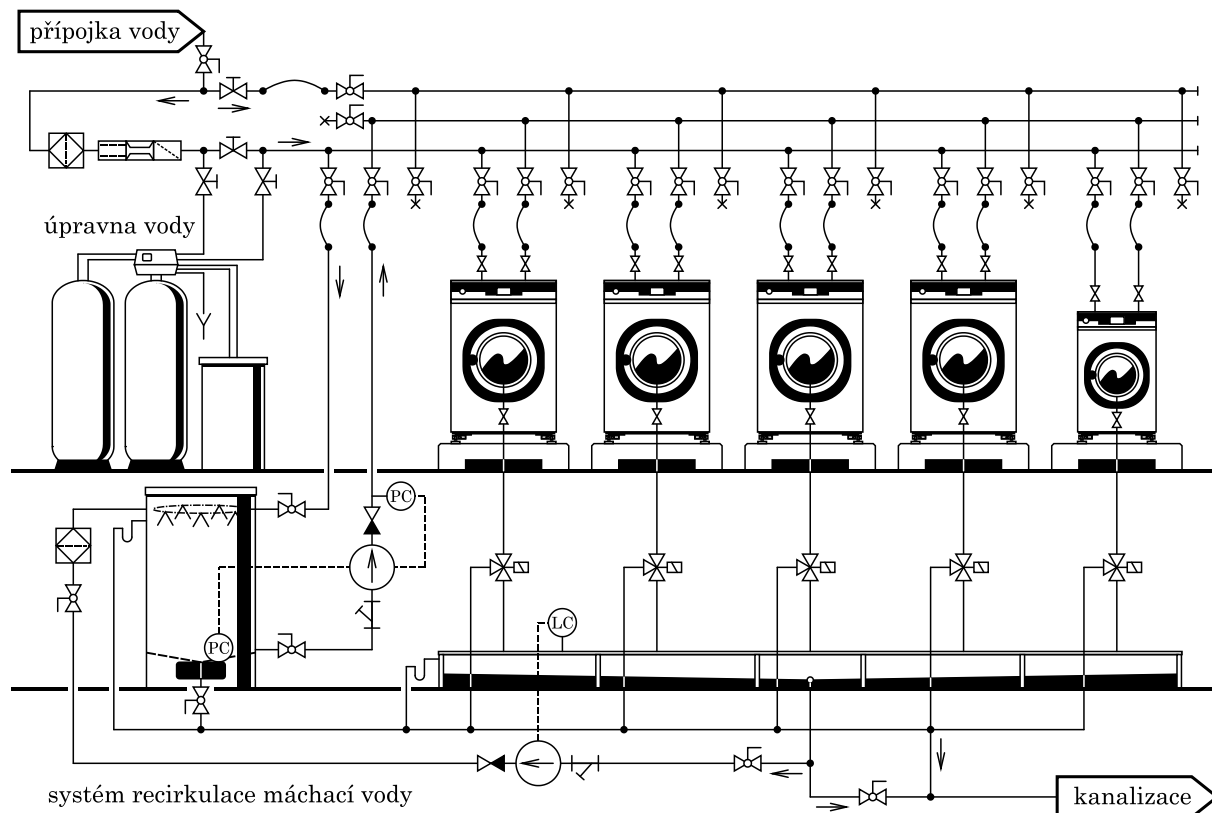
Všechny rozvaděče jsou vybaveny přepětovou ochranou, hlídacím relé (úroveň napětí a sled fází) a analyzátozem elektrické sítě sledujícím přípojku. Na dveřích rozvaděčů jsou umístěny světelné signálky (zda je napětí na přípojce, zda je napětí na přípojce v toleranci a správném sledu, zda je přítomno ovládací napětí (24 V DC) a stav hlavních jisticích prvků vyřazených podpětovou spouští) a ovladače (central-stop – tlačítko podpětové spouště pro

vyrazení všech hlavních jisticích prvků v rozvaděči, tlačítka pro provozní zapnutí a vypnutí hlavních jisticích prvků pomocí motorových pohonů). Každá větev vyrážená podpěťovou spouští má nejméně 2 tlačítka central-stop, umístěná v blízkosti daného spotřebiče či skupiny spotřebičů. Kabley jsou uloženy v drátěných žlabech, které jsou umístěny po celém obvodu laboratoře a na stojanové ocelové konstrukci.

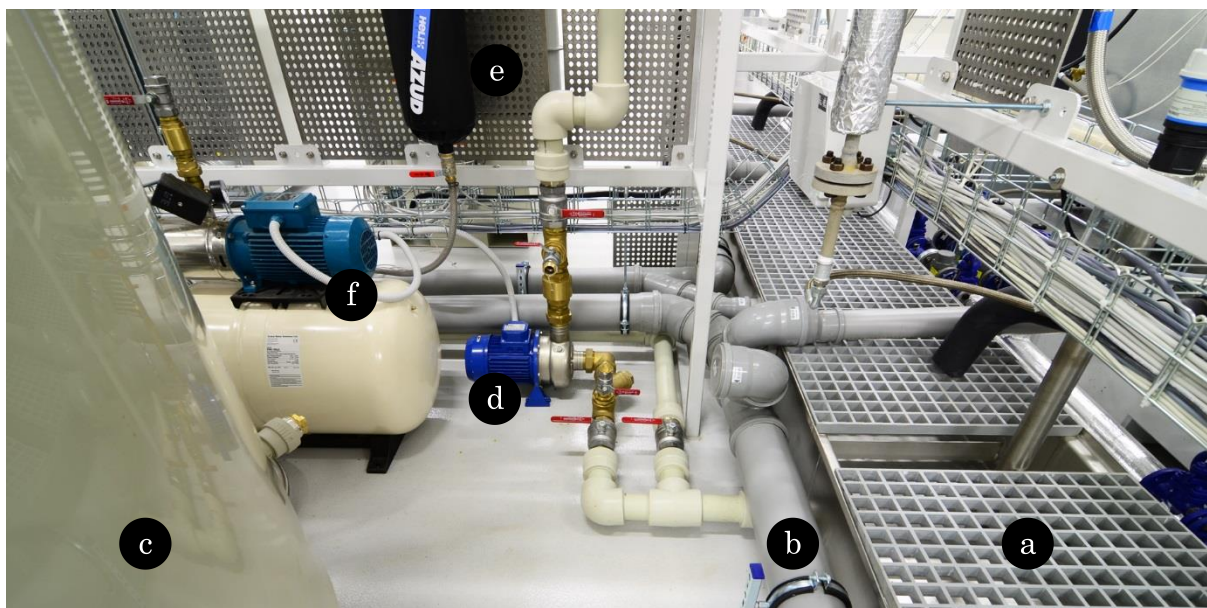
V rámci zvyšování osobní odborné kvalifikace získal autor v únoru 2012 oprávnění k samostatné činnosti v elektrotechnice do napětí 1 kV pro účely vědy a výzkumu dle §6/11 vyhlášky č. 50/1978 Sb. Oprávnění má platnost 3 roky, po jejichž uplynutí musí dojít k přezkoušení. Získaná kvalifikace umožní autorovi širší pole působnosti v rámci práce s experimentální infrastrukturou.

### 5.2.2 Vodní hospodářství

Schéma vodního hospodářství LENP je na obr. 5–15. Pro napájení technologie vodou je k dispozici přípojka pitné vody v dimenzi DN 40 s rezervovanou kapacitou 5,5 m<sup>3</sup>/h po dobu 8 hodin denně. Úpravna vody je zapojena přes filtr a systémový oddělovač zamezující zpětné nasátí kontaminované vody do rozvodu pitné vody. Potrubí DN 40, která vedou po SOK (2× polypropylen, 1× nerez), lze volně propojovat se zdroji a spotřebiči pomocí hadic, což zvyšuje univerzalitu. Pomocí trojcestných ventilů na odtocích z praček je možné odpadní vodu směřovat buď přímo do kanalizace, nebo do sběrného nerezového žlabu s kapacitou cca 0,5 m<sup>3</sup>, odkud je přečerpávána přes filtr jemných částic do plastové kruhové zásobní nádrže s užitečnou kapacitou cca 1 m<sup>3</sup> a připravena pro opětovné použití.

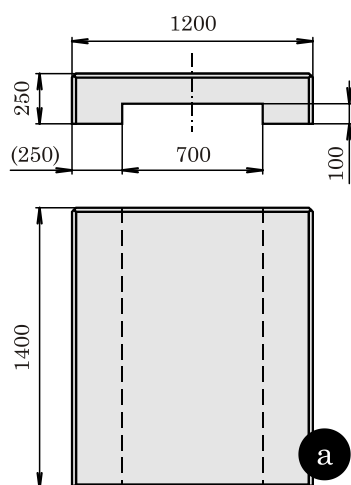


obr. 5–15: Schéma vodního hospodářství v Laboratoři ENP



obr. 5–16: Hlavní prvky systému recirkulace máchací vody: (a) sběrný žlab máchací vody, (b) sběrné potrubí kanalizace, (c) přečerpávací čerpadlo, (d) filtr jemných částic, (e) zásobní nádrž, (f) tlakovací čerpadlo s expanzní nádobou

Tento systém se používá především k recirkulaci odpadní vody z máchání, která se dá znovu využít pro předpírku či hlavní praní. Jeho hlavní prvky jsou zachyceny na obr. 5–16. Kónické dno zásobní nádrže stejně jako vypádované dno sběrného žlabu umožňují nádrže zcela vypustit. Kruhová nádrž je navíc po svém vnitřním obvodu vybavena tryskami pro výplach. Nádrže byly vyrobeny dle výkresové dokumentace zpracované autorem. Dle autorova návrhu byly také vyrobeny železobetonové podstavce pod pračky (viz obr. 5–17 a), které jsou nutné pro zvýšení spádu odpadní vody a překlenutí sběrného žlabu. Podstavce umožňují snadné usazení strojů pomocí vysokozdvizného vozíku (viz obr. 5–17 b) a navíc zvyšují ergonomii obsluhy pračky, jelikož výše položený plnicí otvor usnadňuje nakládku a vykládku prádla. Podobně snadno lze manipulovat i se samotnými podstavci obyčejným paletovým vozíkem.



obr. 5–17: Železobetonové podstavce: (a) rozměrový náčrtek, (b) usazování praček na podstavce pomocí vysokozdvizného vozíku

### 5.2.3 Parokondenzátní a chladicí okruh

Zásobování parou zajišťuje parní kotel s ekonomizérem (na obr. 5–18 a) se jmenovitým výkonem 50 až 1 000 kg syté páry za hodinu při pracovním přetlaku 13 bar. Vzhledem k vlastní spotřebě kotle (pro odplynění napájecí vody) je maximální možný odběr páry cca 800 kg za hodinu. Pro vykrytí odběrových špiček je však možné využít akumulátor páry. K úpravě vody pro napájení kotle slouží úpravna vody na bázi iontové výměny. Technologie je schopna pracovat bez vratného kondenzátu (v rozsahu 0 až 100 %). Kotel je využíván i dalšími laboratořemi NETME Centre. Pro aktuální složení modelu ENP je jeho kapacita značně předimenzovaná.



obr. 5–18: Parokondenzátní okruh: (a) parní kotelna, (b) rozdělovač páry v Laboratoři ENP

Pro účely dodávky páry pro model ENP je kotel obvykle provozován na pracovním tlaku 8 bar g (normální provoz) nebo 5 bar g (útlum). Schéma parokondenzátního rozvodu v LEPN je na obr. 5–19. Sytá pára z kotle je přiváděna do parního rozdělovače (na obr. 5–18 b), kde se dělí na:

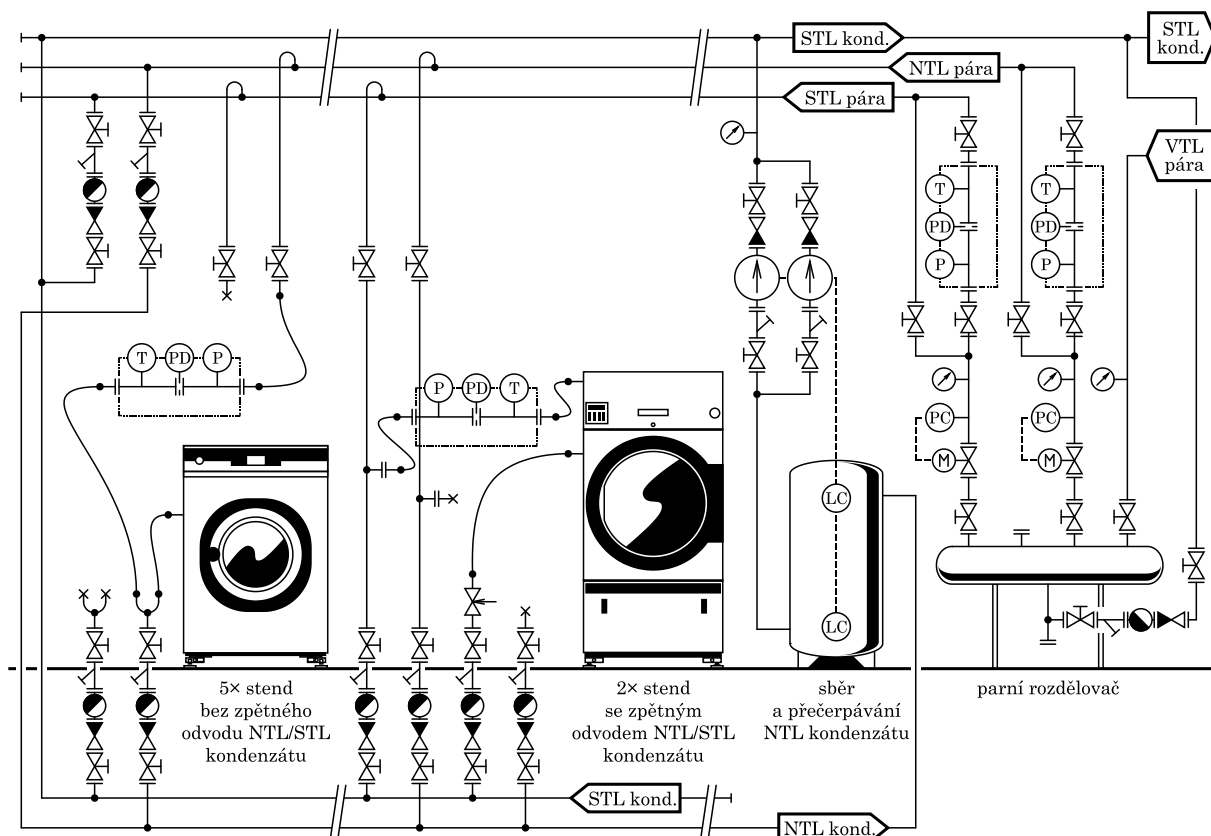
- a) nízkotlakou (NTL) větev s nastavitelným pracovním přetlakem 0,3–1 bar,
- b) středotlakou (STL) větev s pracovním přetlakem nastavitelným v rozsahu 3–8 bar.

Nastavený přetlak zajišťují regulační ventily s motorovým pohonem, které automaticky regulují tlak podle hodnot měřených tlakovými převodníky. Za regulačními ventily jsou instalovány clonové měřicí tratě s vyhodnocovacími jednotkami, které vypočítávají aktuální průtok a spotřebu páry a výkon a dodané teplo v páře. Tratě je možné demontovat, jelikož jsou obklopeny uzavíracími armaturami a mohou se přemostit by-passem. Dále obě vedení pokračují na SOK, kde na každé z nich může být připojeno 5 zařízení s přímým vstřikem páry (nemají zpětný odvod kondenzátu, využito pro pračky WEX1–WEX5) a 2 zařízení s nepřímým ohřevem páry (mají zpětný odvod kondenzátu, využito pro sušič COD2 a univerzální zkušební stend X). Všechna přípojná místa a konce hlavních vedení jsou odvodněna přes odvaděčovou řadu. Spotřebiče se připojují hadicemi. Pro měření jejich spotřeby je možné využít další dvě měřicí clonové tratě – jednu pro každou tlakovou úroveň. STL kondenzát, který má ještě dostatečně vysoký tlak, se samovolně vrací přímo do kondenzátní nádrže v kotelně. NTL kondenzát se shromažďuje v místní kondenzátní nádrži, odkud je dávkově přečerpáván prostřednictvím vedení STL

kondenzátu zpět do kotleny. Parní lis je napojen na parní a kondenzátní vedení z/do kotleny přes pevně nastavený regulátor tlaku páry na 5 bar g.

Parní kotel může fungovat v bezobslužném režimu s občasnou kontrolou (minimálně jedenkrát za 24 hodin). O řízení se stará PLC od firmy Wago. Součástí dodávky parokondenzátního okruhu byl také SCADA/HMI systém Reliance včetně základní vizualizace pro ovládání technologie a dohled, vytvořené dodavatelskou firmou.

Do prostoru LENP je doveden i chladicí okruh s teplotním spádem 30/25 °C a chladicím výkonem cca 800 kW, který je zaručen chladicí věží stojící u budovy D5. Chladicí okruh je rovněž sdílen mezi více laboratořemi a není toho času rozveden po SOK.



obr. 5-19: Schéma parokondenzátního rozvodu v Laboratoři ENP

#### 5.2.4 Rozvod zemního plynu a tlakového vzduchu

Do prostoru LENP je dovedeno NTL vedení zemního plynu DN 100 s pracovním přetlakem 3 kPa. Před přechodem na stojanovou ocelovou konstrukci (SOK) je rozdělena na dvě větve DN 50, přičemž jedna, která je výchozí, je redukována na 2 kPa g a druhá je samostatným přívodem pro plynovou mikroturbínu.

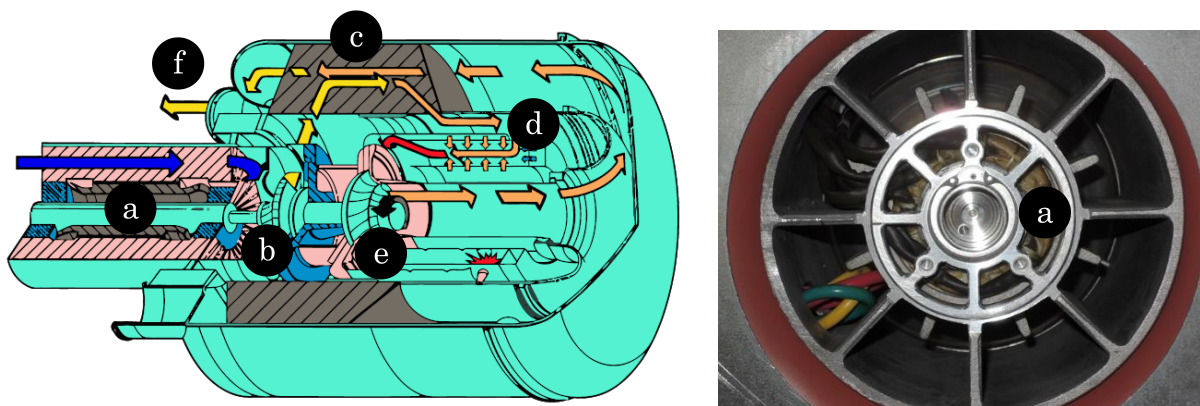
Rozvod tlakového vzduchu v LENP je napojen na sdílený kompresor o výkonu 1 000 normálních litrů za minutu při tlaku 10 bar g a vzdušník o objemu 1 000 litrů. Vlhkost je z tlakového vzduchu odstraňována vymrazováním. Tlakový vzduch je rozveden jak po SOK, tak po obvodu LENP.

### 5.2.5 Plynová mikroturbína

Z investičních prostředků projektu NETME Centre byla také pořízena plynová mikroturbína Capstone C30 (na obr. 5–5), která při spalování zemního plynu generuje až 30 kW elektrického výkonu a ve spalínách (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. Obecně je v plánu prozkoumat následující možnosti:

- generovanou elektrickou energii využívat v rámci procesu nebo ji vracet do sítě,
- využít výstupní spaliny přímo pro sušení prádla (tak, jak se to děje v plynovém sušiči),
- teplo výstupních spalin pomocí tepelného výměníku předat proudu čerstvého vzduchu pro sušení,
- teplo výstupních spalin pomocí tepelného výměníku předat vodě pro napájení praček.

Americký výrobce plynových mikroturbín, společnost Capstone Turbine Corp., je světový leader v tomto odvětví a vyvinul řadu patentově chráněných řešení. Ústrojí plynové mikroturbíny je na obr. 5–20. Nasávaný spalovací vzduch proudí okolo elektrického generátoru, čímž ho chladí, do kompresoru. Odtud přes rekuperační výměník, kde se předejde o výstupní spaliny, vchází do spalovací komory, kde se smísí se zemním plynem a shoří. Vzniklé spaliny roztáčejí turbínu, která je na jedné hřídeli s kompresorovým kolem a rotorem elektrického generátoru, a následně přes zmíněný rekuperační výměník odchází mimo zařízení do kouřovodu. Zajímavostí je, že celá hřídel je uložena v jediném vzduchovém ložisku, kdy mezi rotorem a statorem je jen vrstva stlačeného vzduchu.



obr. 5–20: Ústrojí plynové mikroturbíny: (a) elektrický generátor, (b) kompresor vzduchu, (c) rekuperační tepelný výměník, (d) spalovací komora, (e) turbína, (f) výfuk spalin (zdrojem ilustrace vlevo je [37])

### 5.3 Měřicí a výpočetní infrastruktura

Pro snadnou integraci měřicí techniky byl autorem navržen systém perforovaných nerezových plechů (na obr. 5–21 a, b), které umožňují upnout měřidla pomocí standardně vyráběných montážních konzol a nosníků, objímek, rozpěrek a spojovacího materiálu (M8 a M10). Tyto plechy jsou uchyceny šroubovými spoji na úchytky ocelových rámců, které jsou vevareny do střední části stojanové ocelové konstrukce (na obr. 5–21 c, d). 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.

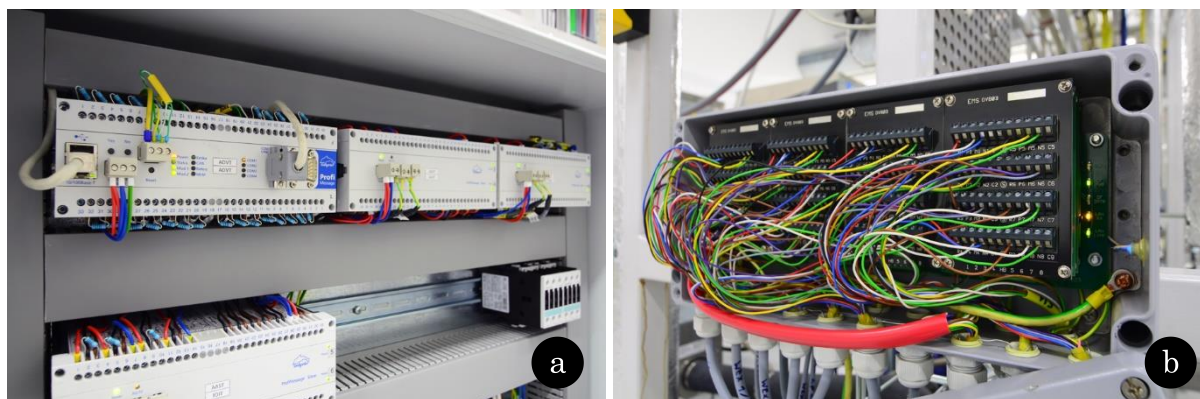


obr. 5–21: Na míru navržený systém upínacích desek: (a) rozměrový náčrtek, (b) ukázka vyrobeného sortimentu, (c) upnutí membránového plynoměru, (d) upnutí indukčního průtokoměru

### 5.3.1 Ústředny pro sběr dat

Jako hlavní ústředna pro sběr dat slouží výrobek ProfiMessage od německého výrobce Delphin Technology AG (na obr. 5–22 a). Jde o modulární systém umožňující kombinovat různě vybavené měřicí karty tak, aby celek co nejlépe vyhovoval potřebám MaR [38]. Do hlavní jednotky (master) a dalších 6 podružných jednotek (slave) je integrováno celkem 14 měřicích karet. Dohromady je k dispozici:

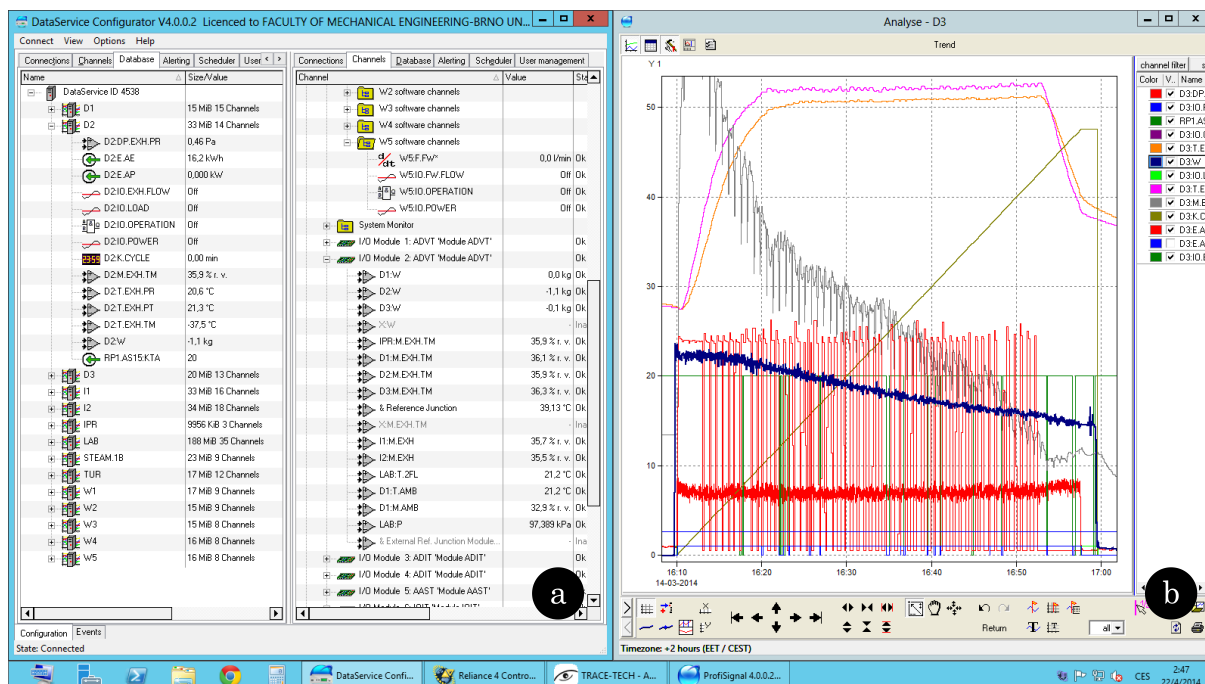
- 107 univerzálních napěťových/proudových analogových vstupů s multiplexovanými 24bitovými A/D převodníky umožňující také přímé připojení odporových teplotních čidel a termočlánků,
- 8 analogových výstupů,
- 22 impulsních (digitálních) vstupů,
- 52 dvoustavových (digitálních) vstupů,
- 39 dvoustavových (digitálních) výstupů.



obr. 5–22: Ústředny pro sběr dat: (a) Delphin ProfiMessage, (b) EMS DV 803



Mimo to jsou k dispozici sběrnice RS232, RS485, CAN a další. Veškeré vstupy a výstupy jsou galvanicky odděleny. Při obsazení všech kanálů umožňuje ústředna sběr dat s frekvencí minimálně 2 Hz. Master modul, který mimo jiné funguje jako záznamník dat (tzv. datalogger) komunikuje přes ethernet s počítačem, kde běží aplikace DataService Configurator, která umožňuje pohodlně konfigurovat vstupní a výstupní hardwarové a softwarové kanály a sběr dat, a ProfiSignal, což je SCADA/HMI aplikace umožňující tvorbu vizualizací a analýzu měřených dat.



obr. 5–23: Software k ústředně Delphin ProfiMessage: (a) DataService Configurator – konfigurace kanálů a sběru dat, (b) ProfiSignal – analýza dat z měření jednoho cyklu elektrického sušiče

Dále je laboratoř vybavena měřicí ústřednou pro rychlé děje EMS DV 803 (na obr. 5–22 b) 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. To umožňuje všechny kanály měřit synchronně s přesností měření lepší než  $\pm 0,1\%$  (pro plný rozsah a provozní teplotu okolí od  $-20$  do  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Naměřená data se přenášejí do PC přes ethernetové rozhraní. Díky velké interní paměti typu Compact Flash může být interval přenášení dat v řádu týdnů až měsíců. Obslužný program umožňuje správu měření, grafické zobrazování naměřených dat a jejich export. Pro předzpracování dat slouží výběr lokálních extrémů, filtrace, časový výběr nebo aplikace statistických metod, např. „stékání deště“. [39]

### 5.3.2 Čidla a měřidla

Soubor čidel a měřidel je z naprosté většiny navržen podle poznatků uvedených v podkapitole 4.2. Umožňuje měření:

- a) hmotnosti (viz obr. 5–24),
- b) teploty a vlhkosti (viz obr. 5–25),
- c) tlaku (viz obr. 5–26),
- d) průtoku a rychlosti proudění (viz obr. 5–21 c, d; obr. 5–27),
- e) vlastností elektrické sítě (viz obr. 5–28),
- f) vodivosti kapalin
- g) a deformací materiálu.

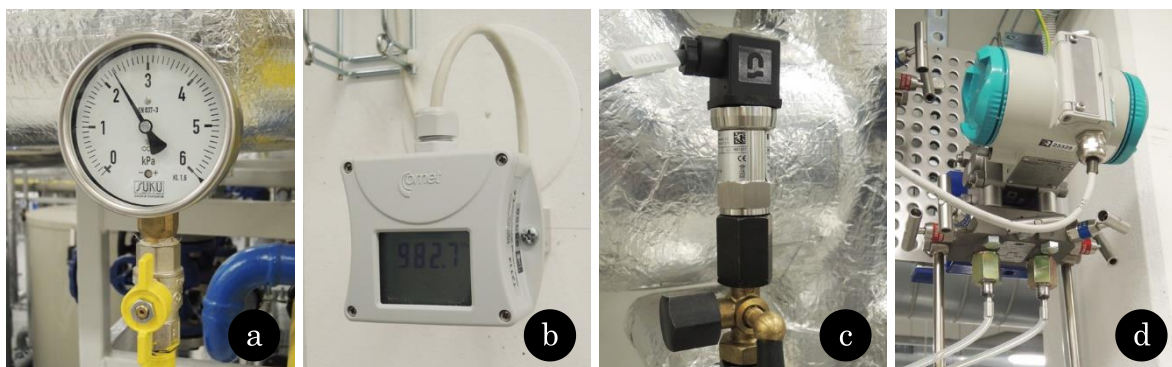
V tab. 5–6 je přehled, který uvádí, jaké veličiny měřidla sledují u jakých komponent modelu ENP, a dále způsob jejich propojení s ústřednou pro sběr dat.



obr. 5–24: Měření hmotnosti: (a) plošinová váha s nájezdy, (b) můstková váha, (c) přesná váha, (d) vážící tenzometrické buňky v základně stroje



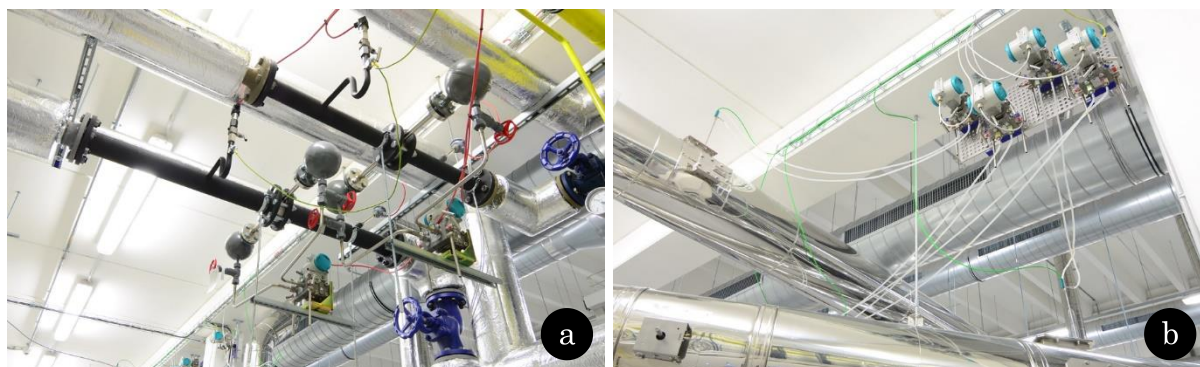
obr. 5–25: Měření teploty a vlhkosti: (a) mechanický teploměr, (b) kombinované čidlo prostorové teploty a rel. vlhkosti s převodníkem, (c) hlavicevý teploměr s platinovým teplotním čidlem a komb. kabelová sonda teploty a rel. vlhkosti, (d) mobilní měřicí sestava pro měření teploty a vlhkosti



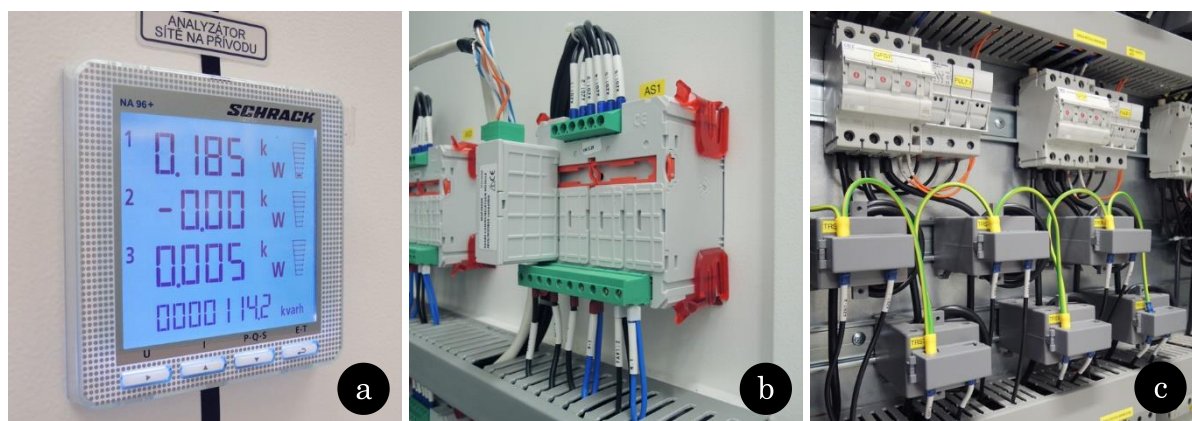
obr. 5–26: Měření tlaku: (a) manometr, (b) čidlo atmosférického tlaku s převodníkem, (c) převodník relativního/absolutního tlaku, (d) převodník diferenčního tlaku

tab. 5–6: Přehledová tabulka využití měřidel a jejich propojení s ústřednou pro sběr dat

veličina	čidlo/měřidlo	propojení s ústřednou pro sběr dat	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 (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. 5–27: Měření průtoku a rychlosti proudění: (a) clonové měřicí tratě pro měření průtoku páry, (b) sestava pro měření rychlosti proudění vzdušiny Prandtlovou trubicí

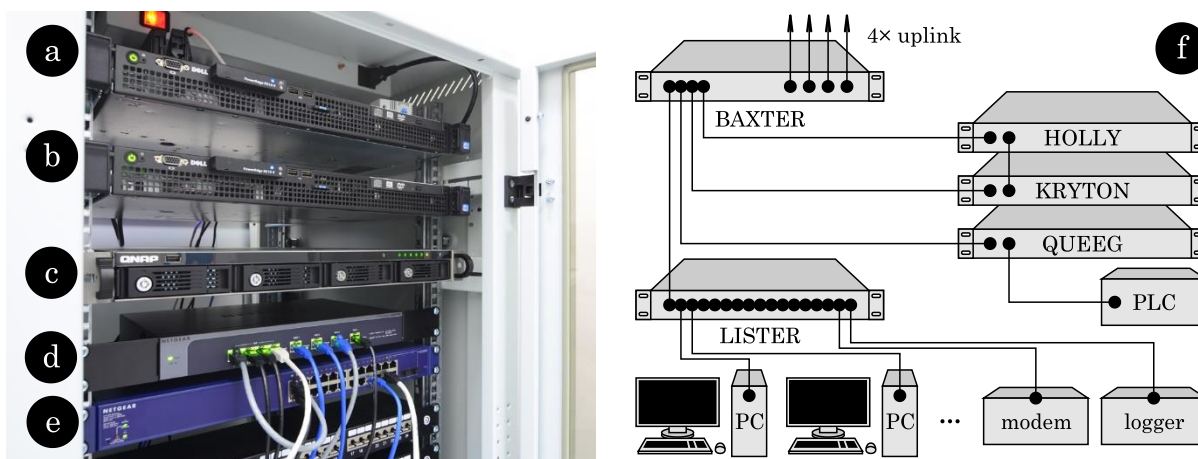


obr. 5–28: Měření elektrických veličin analyzátelem elektrické sítě: (a) pohled zepředu, (b) pohled zezadu, (c) zapojení průvlekových proudových transformátorů a jištění

### 5.3.3 Výpočetní infrastruktura

Vzhledem k množství dat je důležitou fází také jejich zpracování. Základní hardwarové prvky počítačové sítě Laboratoře ENP (na obr. 5–29), které zpracování dat zabezpečují, jsou:

- a) „HOLLY“ – server. Slouží ke správě domény a pro provoz veřejných webových stránek a intranetové aplikace (běží na něm webserver a databázový server). Dále plní roli aktualizčního serveru.
- b) „QUEEG“ – server. Je dedikován pro provoz aplikací pro sběr dat. Fyzicky jde o stejný výrobek jako HOLLY.
- c) „KRYTEN“ – diskové pole. Slouží jako hlavní úložiště dat. Má využitelnou kapacitu přes 8 TB a pracuje v konfiguraci RAID 6, která umožňuje bezchybný provoz i při havárii jednoho z celkem čtyř fyzických disků.
- d) „BAXTER“ – 4portový firewall, směrovač a přepínač s integrovaným VPN serverem. Odstiňuje podsít laboratoře od provozu ve fakultní síti. Filtruje a zabezpečuje komunikaci z/do fakultní sítě, resp. internetu.
- e) „LISTER“ – hlavní administrovatelný síťový přepínač.

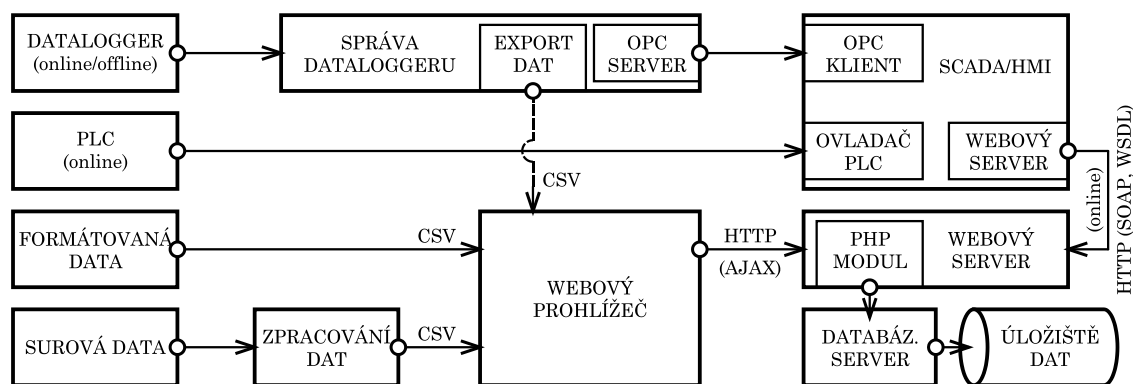


obr. 5–29: Výpočetní infrastruktura: (a) Holly, (b) Queeg, (c) Kryten, (d) Baxter, (e) Lister, (f) schéma zapojení ethernetové sítě

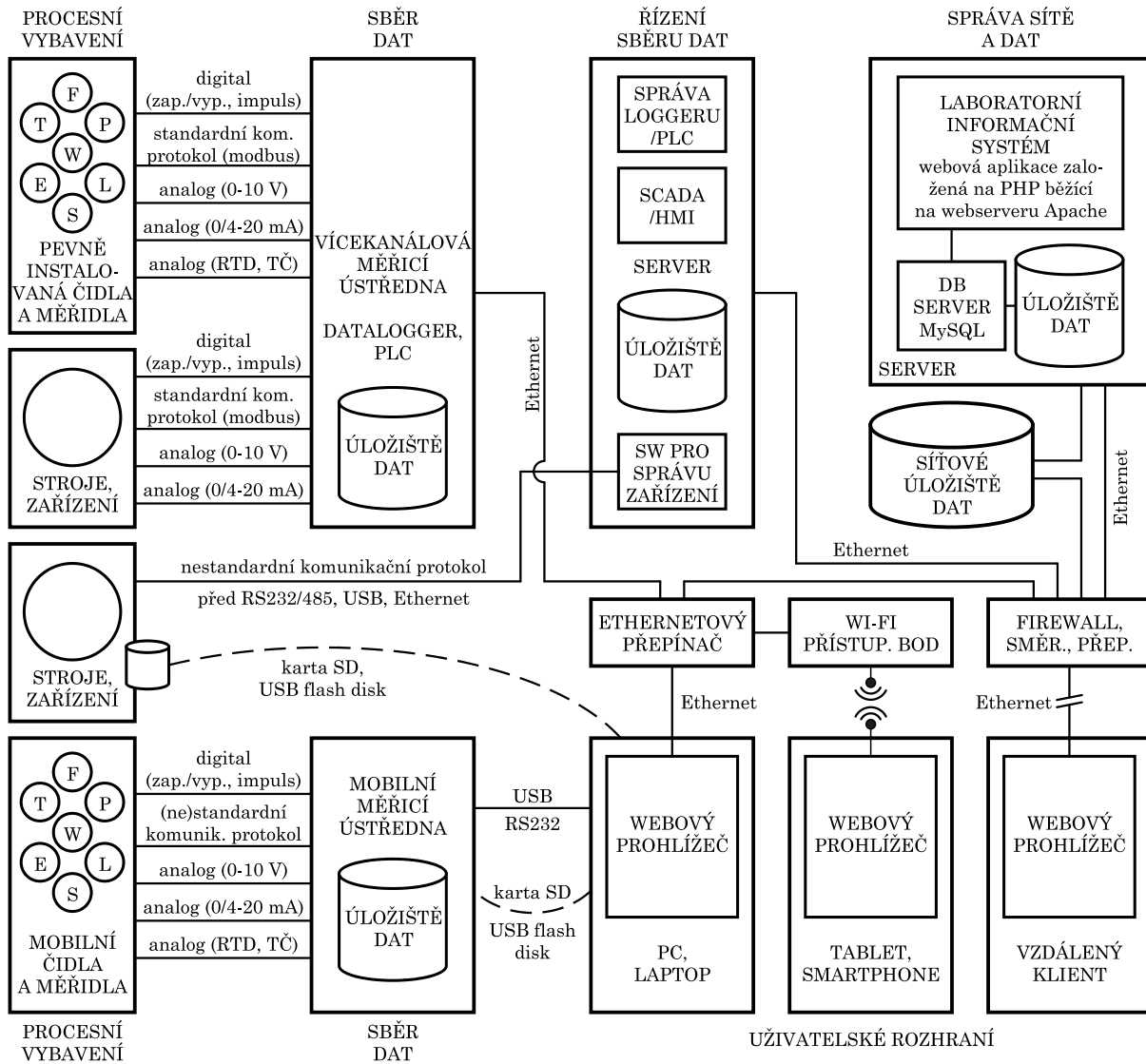
Ze schématu na obr. 5–31, který ukazuje propojení měřicí a výpočetní infrastruktury, je dobře patrný jev, jenž byl hlavní motivací pro návrh a zahájení realizace informačního systému popsaného v následující kapitole, a to je velké množství zdrojů měřených dat. Ty jsou následující:

- data z měření v rámci modelu ENP z měřicí ústředny Delphin ProfiMessage,
- data z měření v rámci modelu ENP z měřicí ústředny EMS DV 803,
- provozní data parokondenzátního okruhu (parního kotle a rozvodu páry v LENP) zaznamenaná prostřednictvím samostatného řídicího automatu Wago,
- provozní data vsádkových praček Primus FX získaná prostřednictvím dodaného softwaru TraceTech,
- provozní data systému dávkování prací chemie,
- data z měření mobilní měřicí technikou v LENP a mimo ni.

Schéma na obr. 5–30 uvádí možnosti, jak by se prostřednictvím webového prohlížeče mohla importovat data z různých zdrojů měření pomocí standardního formátu CSV do informačního systému, a princip online stahování z datového, resp. webového serveru komerční SCADA aplikace.



obr. 5–30: Import dat z měření z různých zdrojů ve formátu CSV a online stahování dat z datového (webového) serveru SCADA aplikace



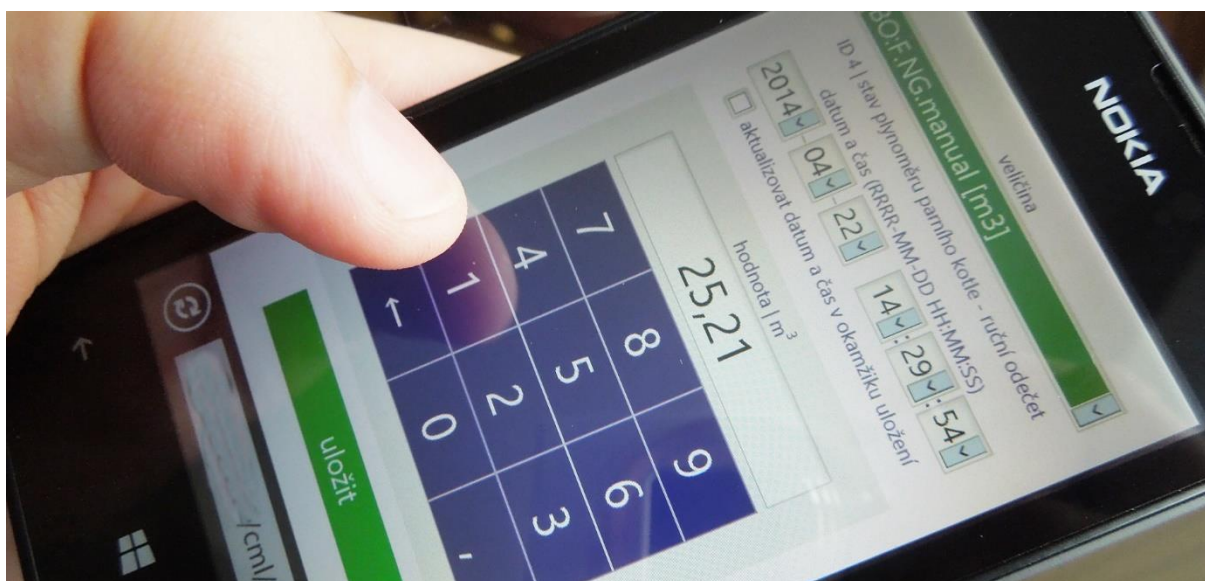
obr. 5–31: Schéma propojení měřicí a výpočetní infrastruktury

## 6 Organizace dat – návrh informačního systému

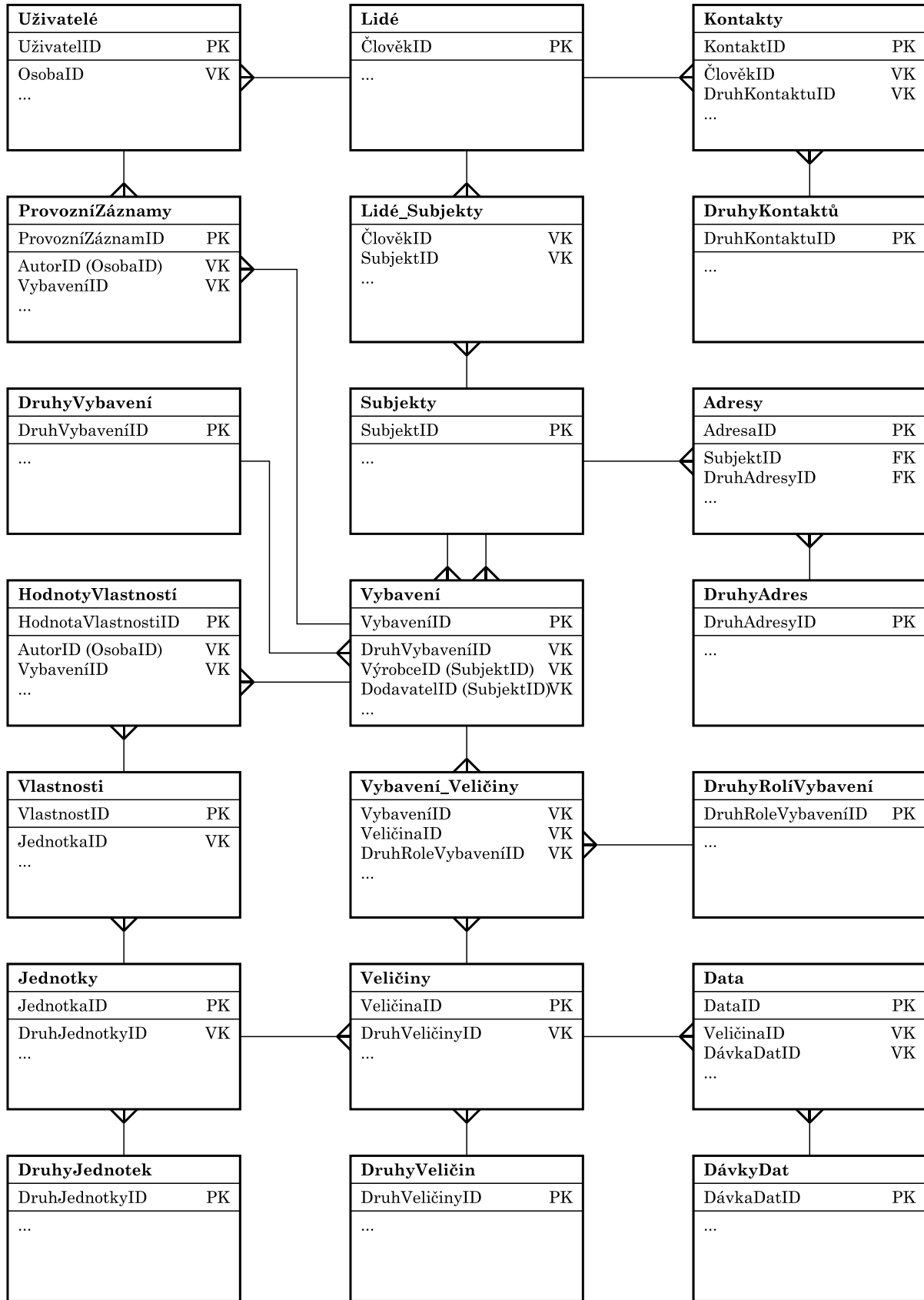
V zájmu zefektivnění organizace množství dat a informací, které se začaly sbírat od zahájení provozu modelu ENP, vznikla potřeba vytvořit informační systém, který by umožňoval:

- import a správu dat z měření z různých zdrojů – viz podkapitola 5.3.3, obr. 5–31,
- správu údajů o měřicí technice (pro automatický export příloh k protokolům z měření) a měřených veličin,
- správu provozních záznamů strojů a zařízení (provozní deníky) s informacemi o době provozu stroje, spotřebách, produktivitě, pravidelné údržbě, opravách, konstrukčních úpravách a podobně,
- správu projektů a zakázek,
- správu informací o osobách a obchodních subjektech.

Důležité nejsou jen výše uvedené informace, ale také vazby mezi nimi. Je vhodné uchovávat údaje například o tom, které vybavení (čidlo, převodník, ústředna) má vztah na danou měřenou veličinu, údaje o vztazích osob k různým subjektům, vztahy subjektů k vybavení v rolích dodavatelů, servisu apod. Zjednodušený datový model navržené relační databáze (MySQL), která je jádrem systému, je na obr. 6–2. Ovládání databáze se předpokládá prostřednictvím webové 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. 6–1). Systém byl nazván CML – centrální mozek laboratoře, což vyjadřuje myšlenku, že v budoucnu bude systém centrálním úložištěm poznatků, které v laboratoři vzniknou.



obr. 6–1: Pohled na rozpracovaný modul správy měřených dat – ukládání ručních odečtů stavů měřidel (optimalizováno pro dotykové displeje)



obr. 6–2: Zjednodušený datový model relační databáze informačního systému CML (PK – primární klíč, VK – vzdálený klíč, ... – další nezobrazené atributy tabulky)



## 7 Možnosti hodnocení a snižování energetické náročnosti procesu

Tato kapitola se zabývá možnostmi hodnocení spotřeb procesu ve formě vzájemného srovnávání spotřeb a srovnávání spotřeb s určitým teoretickým minimem, k jehož určení využívá dříve vytvořené matematické modely. Dále definuje možnosti snižování těchto spotřeb s podporou případových studií.

### 7.1 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 – tak, jak je to definováno v úvodu kapitoly 3. Aby bylo možné objektivně srovnávat takto vzniklé měrné spotřeby, je nezbytné brát v úvahu:

- druh materiálů prádla (síla vláken, gramáž, druh tkaniny atd.),
- vlastnosti prádla před a po zpracování (míra znečištění, vlhkost atd.),
- parametry technologických podmínek (prací, sušicí, žehlicí programy),
- produktivitu procesu nebo operace.

Z výše uvedeného je patrné, že 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.

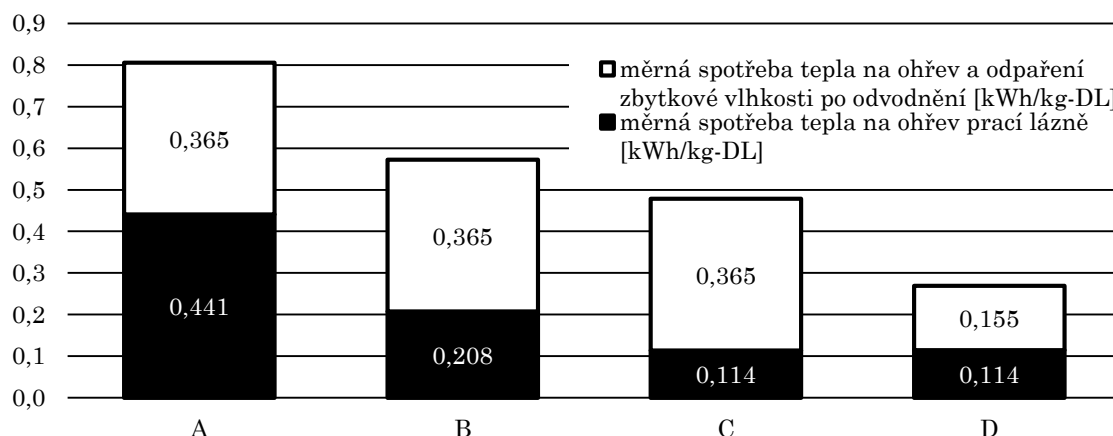
V rámci energetických auditů provedených v komerčních prádelnách v roce 2013 byly vytvořeny protokoly k určení energetické náročnosti prací a sušicích strojů dle jednocyklového neinvazivního měření, tzn. dle instalovaných (fakturačních) měřidel na přípojkách. Příklad těchto protokolů je v přílohách [P2] a [P3].

Další možností, jak spotřeby hodnotit, je srovnávat je s určitou teoretickou minimální možnou hodnotou – termodynamickým minimem. Následující příklad, který je představen v tab. 7–1, uvádí výpočet měrné spotřeby tepla pro ohřev prací lázně a výpočet měrné spotřeby tepla pro ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti z prádla po mechanickém odvodnění. Je uvažováno se 4 různými případy (A, B, C, D), jejichž popis je v uvedené tabulce. Pro určení teoretické spotřeby tepla je použit matematický model popsán v podkapitole 3.1, přičemž hodnoty jednotlivých proudů jsou uvedeny v příloze [P4]. Výpočet měrné spotřeby tepla pro ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti z prádla se určí podle vztahu (7–1), kde  $c_{p,H_2O}$  je měrná tepelná kapacita vody,  $t$  je teplota prádla před sušením, resp. po odvodnění a  $h_{fg}$  je měrné výparné teplo vody při 0 bar g.

$$q \left[ \frac{kJ}{kg_{H_2O}} \right] = c_{p,H_2O} \left[ \frac{kJ}{kg_{H_2O}K} \right] (100 - t [^{\circ}C]) + h_{fg} \left[ \frac{kJ}{kg_{H_2O}} \right] \quad (7-1)$$

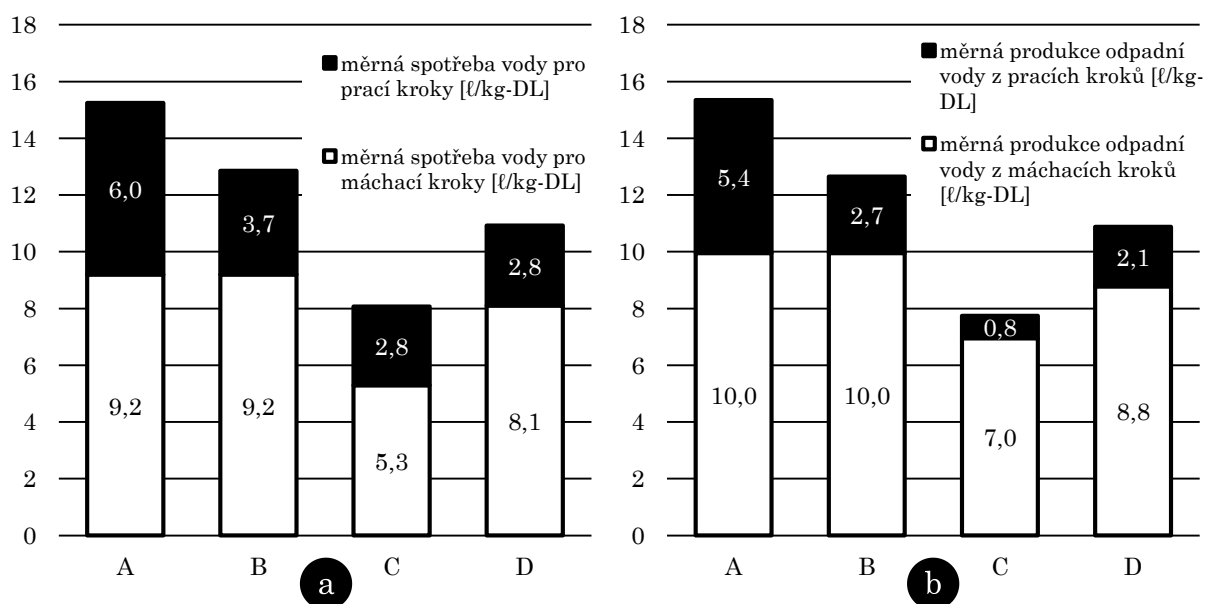
tab. 7-1: Příklad určení spotřeby tepla na ohřev prací lázně a ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti

případ		A	B	C	D
materiál prádla		100% BA	100% BA	100% BA	100% PES
příklad použití		bílé prádlo z průmyslové kuchyně	barevné prádlo středně znečištěné	barevné prádlo málo znečištěné	závěsy zaprášené bez skvrn
hmotnost sušiny	[kg <sub>DL</sub> ]	24	24	24	24
měrná vlhkost prádla – kg vody / kg sušiny					
- před praním	[kg/kg <sub>DL</sub> ]	0,08	0,08	0,08	0,02
- po odvodnění	[kg/kg <sub>DL</sub> ]	0,55	0,55	0,55	0,22
- po vysušení	[kg/kg <sub>DL</sub> ]	0,05	0,05	0,05	0,01
parametry pracího procesu (nastavená teplota a poměr vodní lázně – ℓ vody / kg sušiny)					
1. krok		předpírka 60 °C, 3 ℓ/kg	předpírka 45 °C, 3 ℓ/kg	hlavní praní 45 °C, 3 ℓ/kg	hlavní praní 45 °C, 3 ℓ/kg
2. krok		hlavní praní 90 °C, 3 ℓ/kg	hlavní praní 60 °C, 3 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg
3. krok		bělení Cl 60 °C, 3 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg
4. krok		máchání 5 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg	–	–
5. krok		máchání 5 ℓ/kg	máchání 5 ℓ/kg	–	–
6. krok		máchání 5 ℓ/kg	–	–	–
spotřeba páry (tepla)	[kg]	13,7	6,5	3,5	3,6
na ohřev prací lázně	[MJ]	38,11	17,96	9,83	9,87
(8 bar g, 2,77 MJ/kg)	[kg/kg <sub>DL</sub> ]	0,572	0,270	0,148	0,148
	[kWh/kg <sub>DL</sub> ]	0,441	0,208	0,114	0,114
spotřeba vody	[ℓ]	366 (15 °C)	308 (15 °C)	194 (15 °C)	262 (15 °C)
	[ℓ/kg <sub>DL</sub> ]	15,2	12,9	8,1	10,9
celková produkce odpadní vody	[ℓ]	368 (39 °C)	304 (29 °C)	186 (27 °C)	261 (24 °C)
	[ℓ/kg <sub>DL</sub> ]	15,3	12,7	7,7	10,9
produkce máchací odpadní vody	[ℓ]	239 (22 °C)	239 (22 °C)	167 (25 °C)	211 (19 °C)
	[ℓ/kg <sub>DL</sub> ]	10,0	10,0	7,0	8,8
parametry sušícího procesu					
teplota vlhkého prádla po odvodnění	[°C]	18	18	22	17
množství vody k odpaření	[kg]	12,0	12,0	12,0	5,0
	[kg/kg <sub>DL</sub> ]	0,5	0,5	0,5	0,21
spotřeba tepla na ohřev a odpaření vlh.	[MJ]	31,19	31,19	30,98	13,13
	[kWh/kg <sub>DL</sub> ]	0,365	0,365	0,365	0,155
spotřeba tepla na ohřev prací lázně a ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti	[MJ]	69,30	49,16	40,80	23,00
	[MJ/kg <sub>DL</sub> ]	2,900	2,061	1,722	0,969
	[kWh]	19,25	13,65	11,34	6,39
	[kWh/kg <sub>DL</sub> ]	0,806	0,572	0,478	0,269



obr. 7-1: Měrné spotřeby tepla na ohřev prací lázně a ohřev a odpaření zbytkové vlhkosti po mechanickém odvodnění prádla pro různé případy

Na obr. 7-1 jsou graficky porovnány hodnoty výsledných spotřeb. Jak se dalo očekávat, jsou mezi jednotlivými případy 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, které znázorňují grafy na obr. 7-2 a kde jsou hodnoty rozděleny na fázi praní a máchání. Je zde patrný význam systému recirkulace máchací vody, kdy prakticky celé množství vody potřebné k předpírce a hlavnímu praní se dá pokrýt recirkulovanou máchací vodou.

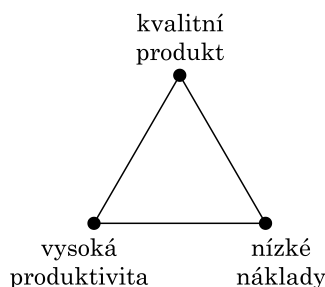


obr. 7-2: (a) Měrné spotřeby vody pro fázi praní a máchání, (b) měrné produkce odpadní vody z fáze praní a máchání pro různé případy

## 7.2 Snížování spotřeb

Zákazníci obecně vyžadují od dodavatelů, aby plnili zakázky rychle, levně a kvalitně. To, že ve skutečnosti je možné současně vyžadovat pouze dvě ze tří uvedených hledisek, je praxí prověřený fakt. Analogicky nemůže provozovatel po svém provozu současně

vyžadovat vysokou produktivitu, nízké náklady (ať už provozní nebo investiční) a kvalitní produkt. Nadměrný tlak na nízké náklady tak může zapříčinit snížení produktivity nebo v horším případě snížení kvality produktu. Situaci lze znázornit pomocí trojúhelníku, v jehož vrcholech jsou tři výše zmíněné požadavky (obr. 7–3). Motivace provozovatelů k hledání úspor se může lišit podle regionu, kde se provoz nachází – tímto efektem se zabývá případová studie I v podkapitole 7.3.



obr. 7–3: Požadavky na provoz

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.

Konvenční metody optimalizace tepelného hospodářství průmyslových provozů rekuperací tepla například pomocí tzv. Pinch analýzy (Pinch analysis) nebo instalací sítí tepelných výměníků (heat exchanger network, HEN) je možné úspěšně aplikovat jen v případě, že jsou teplé a chladné procesní proudy dostatečně stabilní – mají stálý hmotnostní průtok, teplotu a měrnou tepelnou kapacitu – a v ideálním případě nejsou znečištěné látkami, které by se mohly usazovat na teplosměnných plochách výměníků. Proces profesní údržby prádla tomuto přístupu není příliš nakloněn (viz podkap. 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6). Pomineme-li termodynamická hlediska, je nejvhodnější volit proudy podle následujících kritérií:

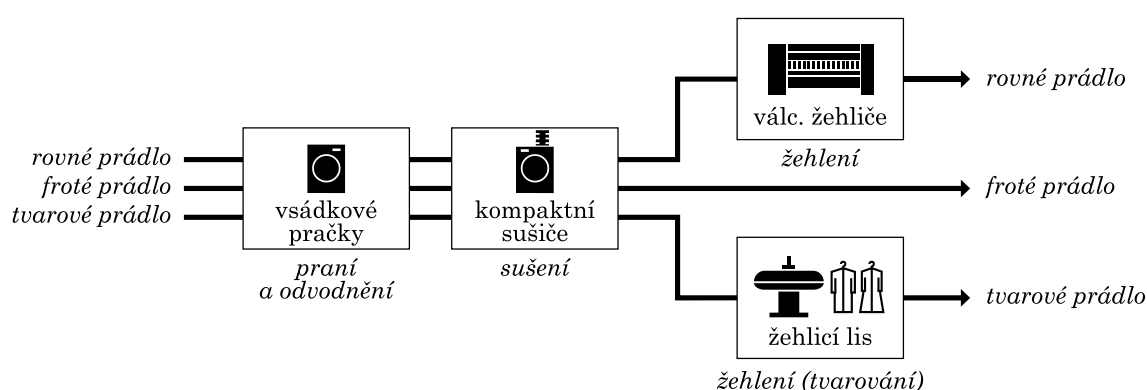
- a) Obsah nečistot by měl být minimální.
- b) Teplý proud by měl být k dispozici vždy, když je potřeba ohřívat studený proud.
- c) Teplý proud by měl mít co nejstabilnější parametry.
- d) Možnost využití proudů by neměla být omezena místní legislativou (např. spaliny).

V praxi je prakticky nemožné splnit všechna výše uvedená kritéria. Je tak na rozhodnutí a schopnostech inženýra, která omezení je ochoten akceptovat a schopen technicky vyřešit, aniž by to výrazně navýšilo investiční či provozní náklady navrhovaného systému.

Případová studie II v podkapitole 7.4 uvádí návrh tepelného výměníku pro rekuperaci odpadního tepla z tunelového finišeru a případová studie III v podkapitole 7.5 uvádí příklad komplexní rekonstrukce parního systému prádelny a aplikaci rekuperačních výměníků.

### 7.3 Případová studie I: Vliv regionu na strukturu provozních nákladů průmyslové prádelny

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. Technologické schéma uvažovaného provozu je na obr. 7–4.



obr. 7–4: Případová studie I: Technologické schéma uvažovaného provozu

Sledované provozní náklady jsou následující:

1. Náklady na energii pro ohřev během praní, sušení a žehlení:
  - a. varianta A – teplo pro ohřev se získává ze zemního plynu,
  - b. varianta B – teplo pro ohřev je dodané elektrickou energií.
2. Náklady na provoz strojů – elektrickou energii pro pohony (motory, ventilátory, čerpadla) a řízení strojů.
3. Náklady na čerstvou vodu a zpracování odpadní vody z pracího procesu.
4. Přímé náklady na mzdy.

Základní data nezbytná pro analýzu jsou uvedena v tab. 7–2. Data o jednotlivých spotřebách a měrné vlhkosti prádla byla získána při analýze parametrů nových strojů na trhu (dle dat poskytnutých výrobcem strojů). Data byla následně upravena podle zkušeností z měření. Měrná vlhkost prádla je myšlena jako volná (tj. přidaná) vlhkost a nezahrnuje přirozenou vlhkost prádla, která se pohybuje kolem 6–8 % (0,06–0,08 kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>DL</sub>). Spotřeba měrného tepla a elektrické energie při praní se vztahuje na 1 kg suchého prádla (kg<sub>DL</sub>). Spotřeba při sušení a žehlení se vztahuje na 1 kg odpařené vody (kg<sub>H2O</sub>). Hodnoty jsou jmenovité, to znamená, že je uvažováno s optimálními provozními podmínkami (optimální poměr nahládky strojů, bez významných a dlouhých provozních prostojů) a moderními stroji.

Použitím vztahů a postupu uvedeného v úvodu kapitoly 3 byly získány mezivýsledky, jež jsou uvedeny v tab. 7–3 a představují celkové měrné spotřeby a absolutní hodnoty spotřeb za rok.

tab. 7–2: Případová studie I: Vstupní data

	<i>veličina</i>	<i>značka [jednotka]</i>	<i>hodnota</i>
kapacita a fond pracovní doby	denní kapacita	CAP [kg <sub>DL</sub> /den]	= 500
	počet provozních hodin denně	HPD [h/den]	= 8
	počet provozních dní za rok	DPY [den/rok]	= 250
skladba prádla	podíl rovného prádla	P <sub>F</sub> [-]	= 0,7
	podíl froté prádla	P <sub>T</sub> [-]	= 0,2
	podíl tvarového prádla	P <sub>G</sub> [-]	= 0,1
měrná vlhkost prádla	- počáteční (před praním)	SMC <sub>INI</sub> [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0
	- po odvodnění (po praní)	SMC <sub>AE</sub> [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,5
	- před žehlením	SMC <sub>BI</sub> [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,3
	- konečná	SMC <sub>FIN</sub> [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0
praní (včetně odvodnění)	měrná spotřeba čerstvé vody	SFWC [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 13
	měrná spotřeba tepla	SHEC <sub>W</sub> [kWh <sub>h</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,2
	měrná spotřeba elektrické energie	SEEC <sub>W</sub> [kWh <sub>e</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,1
sušení	měrná spotřeba tepla	SHEC <sub>D</sub> [kWh <sub>h</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 1,5
	měrná spotřeba elektrické energie	SEEC <sub>D</sub> [kWh <sub>e</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 0,1
žehlení rovného prádla	měrná spotřeba tepla	SHEC <sub>I,F</sub> [kWh <sub>h</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 1,3
	měrná spotřeba elektrické energie	SEEC <sub>I,F</sub> [kWh <sub>e</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 0,08
žehlení tvarového prádla	měrná spotřeba tepla	SHEC <sub>I,G</sub> [kWh <sub>h</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 1,7
	měrná spotřeba elektrické energie	SEEC <sub>I,G</sub> [kWh <sub>e</sub> /kg <sub>H2O</sub> ]	= 0,11

tab. 7–3: Případová studie I: Mezivýsledky

<i>veličina</i>	<i>značka [jednotka]</i>	<i>hodnota</i>
celková měrná spotřeba tepla	SHEC [kWh <sub>h</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,91
celková měrná spotřeba elektrické energie	SEEC [kWh <sub>e</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 0,15
celková měrná produkce odpadních vod	SWWP [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>DL</sub> ]	= 12,5
počet zaměstnanců (dělníků)	NOE [-]	= 4
roční spotřeba tepla	HEC' [MWh <sub>h</sub> /rok]	= 131,4
roční spotřeba elektrické energie	EEC' [MWh <sub>e</sub> /rok]	= 21,0
roční spotřeba čerstvé vody	FWC' [m <sup>3</sup> <sub>H2O</sub> /rok]	= 1 869
roční produkce odpadních vod	WWP' [m <sup>3</sup> <sub>H2O</sub> /rok]	= 1 797

Jednoduchým vynásobením hodnot celkový spotřeb s cenami energií, vodného, stočného a lidské práce pro jednotlivé regiony (viz tab. 7–4) se získá odhad celkových a dílčích nákladů – pro variantu A jsou uvedeny v tab. 7–5, pro variantu B v tab. 7–6.

tab. 7–4: Případová studie I: Ceny energií, vodného, stočného a lidské práce dle [40], [41], [42]

kapitola	tarif		Německo (DE)	Francie (FR)	Česká rep. (CZ)
zemní plyn	I1 (< 1 000 GJ/rok)	[€/kWh]	0,046 7	0,053 7	0,048 5
elektrická energie	IB (20–500 MWh/rok)	[€/kWh]	0,109 1	0,086 7	0,144 1
vodné	–	[€/m <sup>3</sup> ]	2,240 7	1,724 8	1,285 9
stočné	–	[€/m <sup>3</sup> ]	2,002 0	1,416 8	1,224 3
mzdy	manuální pracovník	[€/osobu/rok]	22 488	18 192	7 059

tab. 7–5: Případová studie I: Výsledky – varianta A

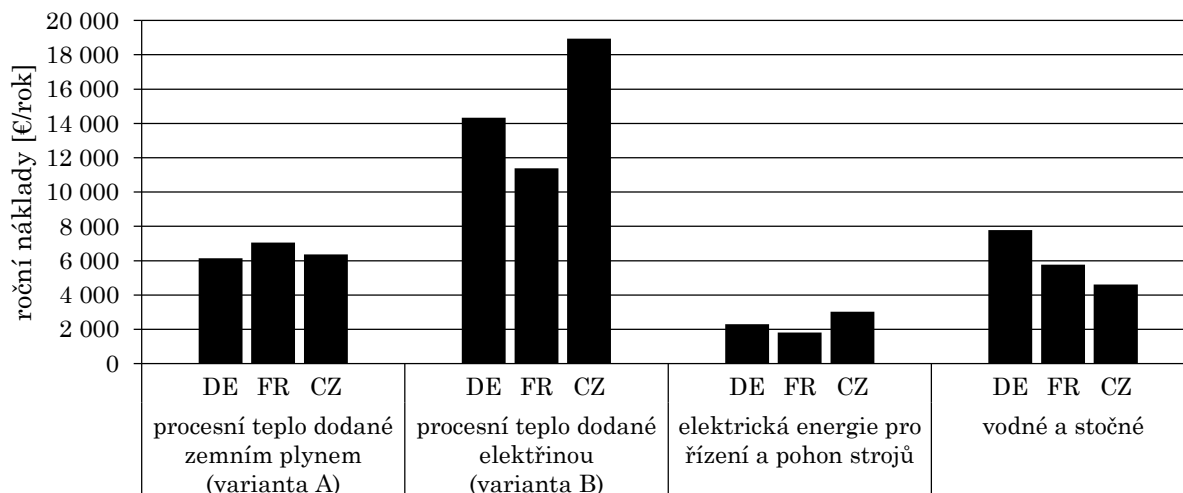
nákladová kapitola	Německo (DE)		Francie (FR)		Česká rep. (CZ)	
	[€/rok]	[€/kgDL]	[€/rok]	[€/kgDL]	[€/rok]	[€/kgDL]
zemní plyn (procesní teplo)	6 136	0,049	7 056	0,056	6 372	0,050
elektrina (řízení a pohon strojů)	2 291	0,018	1 821	0,015	3 026	0,024
vodné a stočné	7 785	0,062	5 770	0,046	4 603	0,036
mzdy (dělnické profese)	89 951	0,720	72 767	0,582	28 235	0,225
celkem	106 164	0,849	87 414	0,699	42 237	0,337

tab. 7–6: Případová studie I: Výsledky – varianta B

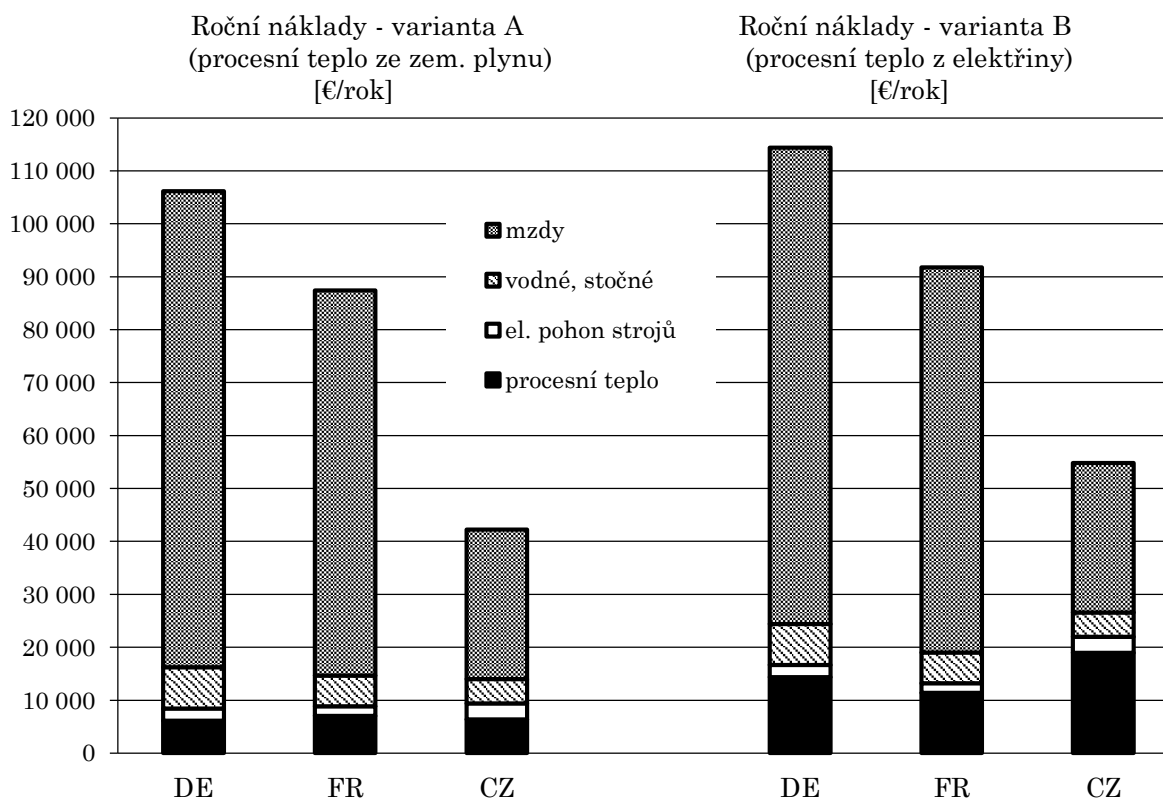
nákladová kapitola	Německo (DE)		Francie (FR)		Česká rep. (CZ)	
	[€/rok]	[€/kgDL]	[€/rok]	[€/kgDL]	[€/rok]	[€/kgDL]
elektrina (procesní teplo)	14 336	0,115	11 392	0,091	18 935	0,151
elektrina (řízení a pohon strojů)	2 291	0,018	1 821	0,015	3 026	0,024
vodné a stočné	7 785	0,062	5 770	0,046	4 603	0,037
mzdy (dělnické profese)	89 951	0,720	72 767	0,582	28 235	0,226
celkem	114 364	0,915	91 750	0,734	54 800	0,438

Graficky jsou výsledky prezentovány na obr. 7–5 a obr. 7–6. Jak se dalo předpokládat, provozní náklady prádelenského zařízení se v různých zemích liší. Náklady jsou nejvyšší v Německu, kde dosahují 115 000 eur na rok; o něco nižší jsou ve Francii, kde se pohybují kolem 92 000 eur na rok; a nejnižší náklady jsou v ČR, kde činí 55 000 eur za rok. Ceny energií ale nejsou rozhodujícím faktorem v provozních nákladech. Tím je lidská práce.

Náklady na lidskou práci tvoří 80 % provozních nákladů v Německu a Francii, 50–67 % v ČR. Chceme-li do výdajů zahrnout náklady na dopravu, musíme připočítat 16 000 eur ročně na jednu prádelnu (nizkokapacitní prádelna), kdy veškerou přepravu vykonává nákladní vozidlo s užitečným objemem 12–15 m<sup>3</sup>. Počítá-li se přeprava do celkových nákladů, tvoří 12 % těchto nákladů v Německu, 15 % ve Francii a 23 % v ČR.



obr. 7-5: Případová studie I: Výsledky – srovnání nákladů na procesní teplo, elektřinu pro řízení a pohon strojů a vodného a stočného pro region Německa, Francie a České republiky



obr. 7-6: Případová studie I: Výsledky – srovnání nákladů na mzdy, procesní teplo, elektřinu pro řízení a pohon strojů a vodného a stočného pro region Německa, Francie a České republiky

Výše uvedená případová studie shrnuje několik aspektů energetické strategie v prádelenských provozech. Zaprvé je nezbytné snižovat spotřebu elektřiny jakožto hlavního zdroje energie. Rozdíly finanční náročnosti ohřevu zemním plynem (varianta A) a elektrickou energií (varianta B) dosahují 61 % ve Francii a dramatických 197 % v ČR. To je rozdíl 12 500 eur ročně (ČR). Pokud by se počítalo pouze s finančním aspektem, v dnešních prádelenských provozech v Evropě by fungoval jako hlavní zdroj ohřevu zemní plyn. Elektrická energie může sloužit jako záložní zdroj ohřevu, aby byla zachována



nepřetržitost provozu. Bereme-li v potaz hypotetický vývoj cen vydaný agenturou IEA, zemní plyn bude cenově nejvýhodnějším zdrojem ohřevu v Evropě i v budoucnu. Vedle zemního plynu a elektrické energie využívají prádelny i páru, kterou vyrábí parní vyvíječ nebo parní kotel, který spaluje zemní plyn. V současnosti ale nastává odklon od páry, neboť se jedná z pohledu investic a provozu o drahé médium. Dalo by se říct, že zemní plyn jakožto zdroj ohřevu je k životnímu prostředí méně šetrný než elektrická energie. Záleží ale na způsobu výroby elektrické energie. Prádelenský provoz z případové studie využívající plynový ohřev emituje 35,5 tun oxidu uhličitého ročně (životní cyklus emisí oxidu uhličitého včetně výroby činí 270 kg/MWh [43]).

Vysoké ceny vody motivují úsporná opatření v Německu, kde jsou náklady na vodu dokonce vyšší než náklady na zemní plyn, pokud se ho využívá k ohřevu (varianta A). Ekonomická stránka užívání vody by se neměla zanedbávat ani ve Francii a ČR, kde jsou náklady na vodu rovněž srovnatelné s náklady na ohřev. Lze říci, že v evropských prádelnách je nezbytné používat energeticky účinné technologie a opatření, která vedou k úsporám nákladů na vodu.

Mezi základní opatření, jak v prádelenském provozu šetřit s vodou, patří recirkulace máchací vody. Podíl máchací vody na celkové spotřebě u nejběžnějšího pracího programu (bavlněné prádlo) činí cca 20 %. Pokud by analyzované prádelny učinily toto opatření, roční úspory by se pohybovaly kolem 1560 eur u německé a francouzské prádelny a 920 eur u české prádelny. Díky čištění odpadní vody přímo v provozu lze většinu této vody znovu použít. Je třeba ale zvážit investiční náklady takového systému. Čištění musí zbavit odpadní vodu nežádoucích nečistot, ale zároveň ponechat všechnu aktivní chemii. Takovéto metody musí být teprve vyvinuty.

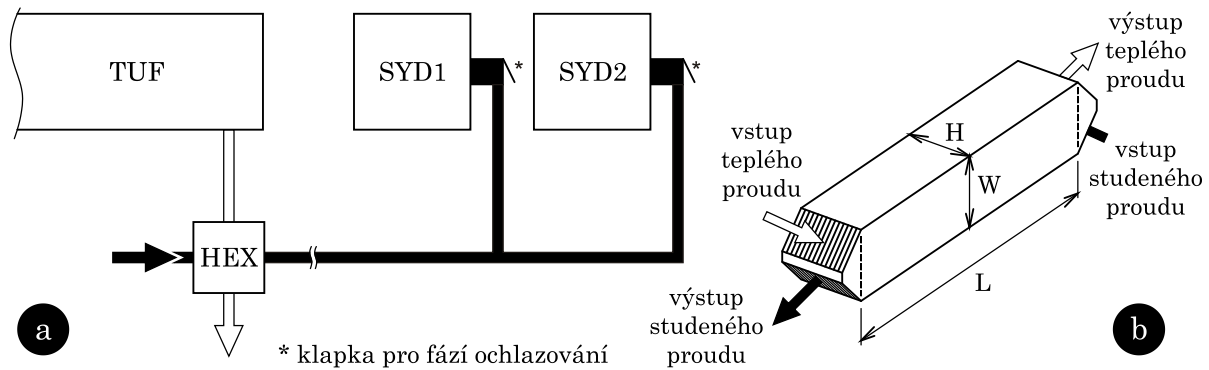
Náklady na lidskou práci tvoří nejvýznamnější část provozních nákladů. Provozovatelé prádelen ve všech třech zmíněných zemích jsou si této skutečnosti dobře vědomi a počet zaměstnanců není rozhodně nijak naddimenzován. Je třeba dbát na efektivitu práce, čehož se dosahuje sledováním vytíženosti strojů a plynulostí jednotlivých kroků prádelenského procesu. Dále lze optimalizovat i přepravu materiálů. Technologie RFID rovněž umožňuje flexibilní monitorování toků prádla. A je významným faktorem při zvyšování celkové energetické účinnosti provozu.

Náklady na provoz strojů (elektrickou energii) nijak výrazně neovlivňují ekonomiku provozu. Jejich podíl na provozních nákladech (včetně mezd) činí 2 % v Německu a Francii a zhruba 7 % v ČR.

Pokud by úspory energie a vody v prádelenském provozu, který využívá zemního plynu, dosáhly po zavedení účinných technologií 15 %, znamenalo by to úspory na výdajích kolem 2 080 eur ročně v Německu (2 % celkových nákladů), 1 920 eur ročně ve Francii (2,2 % celkových nákladů) a 1 640 eur ročně v ČR (3,9 % celkových nákladů). Pro konkrétní prádelnu to už jsou významné úspory. Úspěch opatření je lépe vidět, pokud je vztáhneme k nákladům na uskutečnění jednotlivých opatření na zlepšení účinnosti využívání energií. Studie by tedy měla obsahovat analýzu návratnosti investic.

## 7.4 Případová studie II: Rekuperace odpadního tepla

Uvedená případová studie byla publikována v [11]. Náčrt situace je na obr. 7–7 (a). Jádrem systému je protiproudý deskový výměník typu vzduch-vzduch (na obr. 7–7 b) využívající odpadní teplo z tunelového finišeru (TUF) pro předehřev sušicího vzduchu pro bubnové sušiče (SYD).



obr. 7–7: Případová studie II: (a) schéma zapojení výměníku, (b) náčrtek výměníku

Měřením provozních parametrů byl průměrný ztrátový výkon TUF určen na 216 kW daný průtokem odpadního vzduchu 2 000 m<sup>3</sup>/h při teplotě 95 °C o absolutní vlhkosti 196 g/m<sup>3</sup>. Kvůli výskytu textilního prachu ve vzduchu byl výměník navržen v provedení s hladkými deskami. Parametry navrženého výměníku jsou uvedeny v tab. 7–7.

tab. 7–7: Případová studie II: Parametry deskového výměníku

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Nominální výkon	100 kW	Rozestup desek – teplá strana	4 mm
Délka desky (L)	2 130 mm	Rozestup desek – studená strana	8 mm
Šířka desky (W)	558 mm	Tloušťka desky	1,2 mm
Výška bloku desek (H)	558 mm	Materiál desky	ocel
Počet desek v bloku	81	Uspořádání proudů	protiproudé
Průtok teplého proudu	1 672,6 kg/h	Průtok studeného proudu	12 852,3 kg/h
Vstupní teplota teplého proudu	95,0 °C	Vstupní teplota studeného proudu	25,0 °C
Výstupní teplota teplého proudu	70,2 °C	Výstupní teplota studeného proudu	52,6 °C
Tlak na vstupu teplého proudu	1,2 bar a	Tlak na vstupu studeného proudu	1,0 bar a
Tlaková ztráta teplého proudu	150 Pa	Tlaková ztráta na studené straně	750 Pa
Koef. přestupu tepla na teplé straně	33 W/m <sup>2</sup> K	Koef. přestupu tepla na studené straně	77 W/m <sup>2</sup> K
Celkový koef. přestupu tepla	23,2 W/m <sup>2</sup> K	Teplosměnná plocha	99 m <sup>2</sup>
Střední teplotní rozdíl	43,7 °C		

Vzhledem k uspokojivé míře stability výstupního proudu z TUF není potřeba systém vybavit automatickou regulací. Provedením hydraulického výpočtu potrubních tras bylo zjištěno, že na straně teplého proudu se tlaková ztráta zvýší o 150 Pa, což je schopen pokrýt

stávající ventilátor v TUF. Na studené straně se tlaková ztráta zvýší o 750 Pa vlivem výměníku a o dalších 400 Pa vlivem proudění v doplněném potrubí a vlivem místních odporů. Tlaková ztráta studeného proudu tak bude pravděpodobně vyžadovat instalaci vhodného ventilátoru.

## 7.5 Případová studie III: Komplexní rekonstrukce prádelny

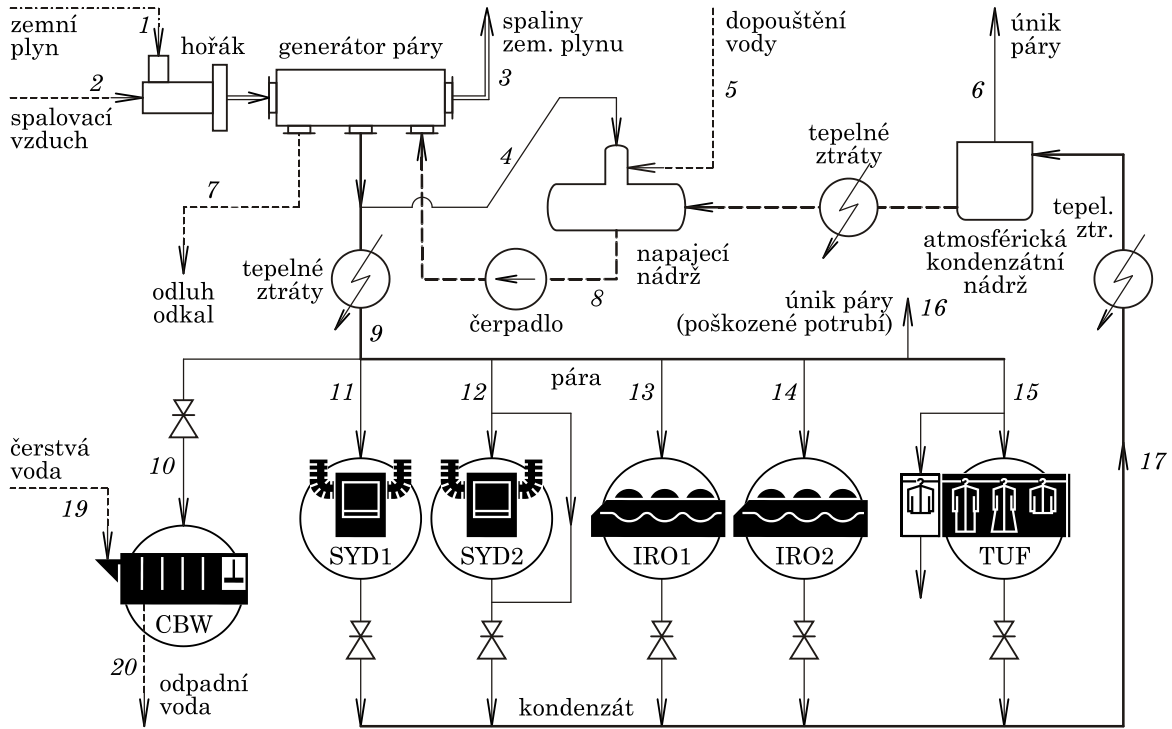
Následující případová studie byla publikována v [13]. Ukazuje použití softwaru *W2E* při bilančních výpočtech energetického systému prádelenského provozu, který zpracovává 1,5 tuny prádla za hodinu, ve stavu před a po celkové rekonstrukci. Procesní schémata obou případů jsou na obr. 7–8 a obr. 7–9. V tab. 7–8 jsou údaje o vybraných procesních proudech, které představují vstupní, resp. výstupní hodnoty ze softwaru *W2E*.

Výchozí stav představuje prádelnu s parním ohřevem, která využívá zastaralého energetického systému (obr. 7–8); toto uspořádání je nicméně stále běžné. Vysokotlaká pára se vyrábí v generátoru páry, který využívá tepla spalin z hořáku, který spaluje zemní plyn. Vysokotlaká pára se využívá pro ohřev hlavních zařízení, např. kontinuální bubnové pračky (CBW), systémového sušiče (SYD), korytového žehliče (IRO) a tunelového finišeru (TUF) včetně jeho napařovací komory. Z těchto strojů, kromě CBW a napařovací komory TUF, proudí parokondenzátní směs přes odvaděče kondenzátu do kondenzátní nádrže. Kondenzát obsahuje vysoký podíl expandované páry, která se vytvořila po snížení tlaku za odvaděčem kondenzátu. Plynná a kapalná fáze se neoddělí, dokud se nedostanou do atmosférické kondenzátní nádrže. Jedná se o významnou ztrátu tepla a vody. Pára použitá pro CBW a napařovací komoru TUF rovněž odchází z parokondenzátního okruhu, nicméně v tomto případě je to účelné. Pára ohřívající CBW se přímo vstříkuje do vodní lázně a odchází spolu s odpadní vodou do kanalizace. Pára používaná v napařovací komoře expanduje do okolí při napařování prádla před vysušením. Voda dále proudí z kondenzátní nádrže do nádrže s napájecí vodou, kde se smíchá s proudem dopouštěné vody a ostrou parou a je následně čerpána zpět do parního generátoru. Ve výchozím stavu se používají stará zařízení s velkou spotřebou energie. Potrubí parokondenzátního okruhu jsou ve špatném stavu, což způsobuje úniky (ztráty) páry.

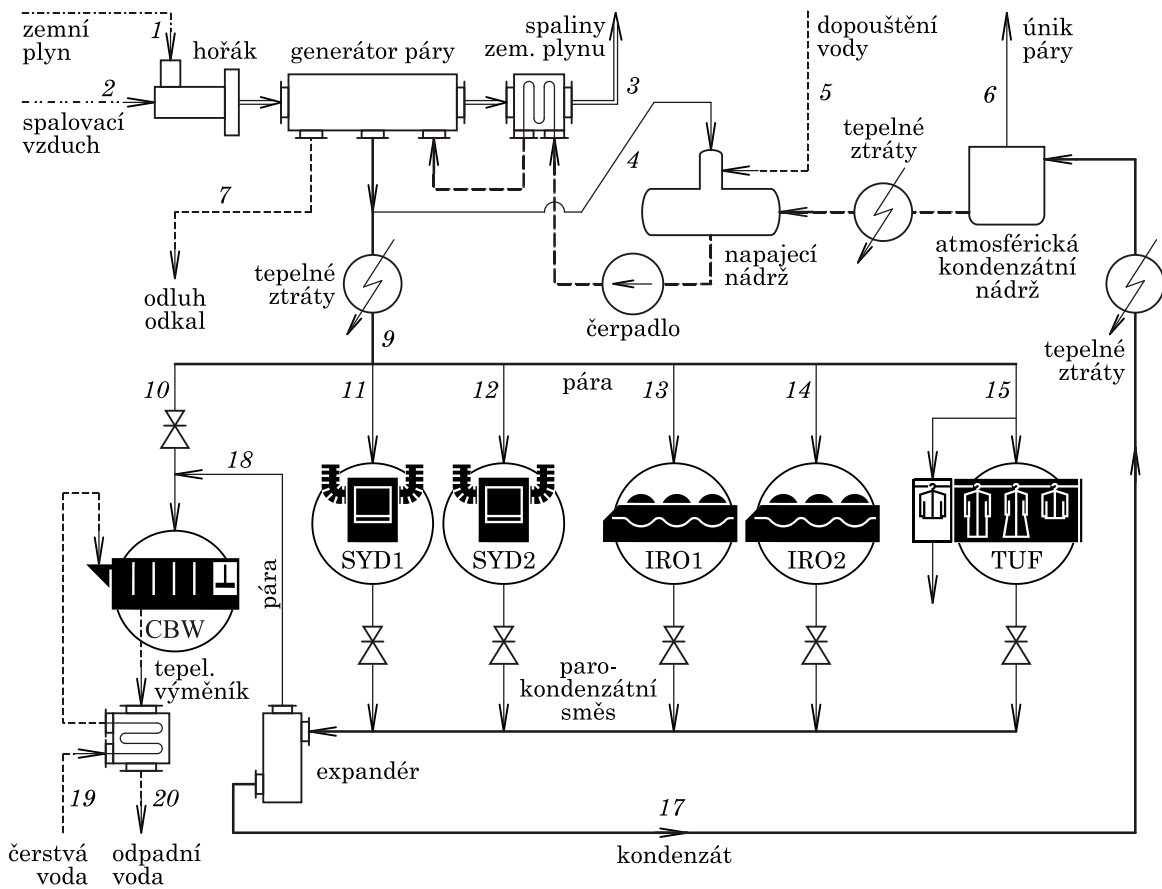
Stav po celkové rekonstrukci představuje moderní prádelnu využívající parní ohřev (obr. 7–9). Oproti výchozímu stavu se liší v těchto ohledech:

- a) potrubí je v dobrém stavu, tj. bez vad, a odvaděče kondenzátu nepropouští páru do potrubí kondenzátu;
- b) energetický systém obsahuje expandér, který využívá expandovanou páru z kondenzátu, tato pára ohřívá CBW;
- c) napájecí voda se předeřívá spalinami ve výměníku tepla (ekonomizér);
- d) čerstvá prací voda se ve výměníku tepla předeřívá odpadní vodou z CBW, díky čemuž se snižuje množství tepla (páry) potřebné pro ohřev vodní lázně v CBW;
- e) jsou instalována moderní optimalizovaná zařízení s nízkou spotřebou energie.

Z tab. 7–8 je patrné, jak výrazný rozdíl spotřeby energií, tj. spotřeby zemního plynu (ZP), může celková rekonstrukce provozu představovat. V prvním případě činí nárok na ZP 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.



obr. 7-8: Případová studie III: stav před rekonstrukcí



obr. 7-9: Případová studie III: stav po rekonstrukci

tab. 7–8: Případová studie III: Údaje ke studii zadané/získané do/ze softwaru W2E

číslo prou- du	název proudu	případ A (zastaralý parní systém)			případ B (moderní parní systém)		
		tlak [bar]	teplota [°C]	hodinový průtok	tlak [bar]	teplota [°C]	hodinový průtok
1	zemní plyn	–	–	354 mN <sup>3</sup>	–	–	140 mN <sup>3</sup>
2	spalovací vzduch	–	–	4 055 mN <sup>3</sup>	–	–	1 470 mN <sup>3</sup>
3	spaliny	–	250	4 409 mN <sup>3</sup>	–	120	–
4	pára pro barbotáž	13	–	274 kg	13	–	97 kg
5	doplňovací voda	0,1	10	1 500 kg	0,1	10	500 kg
6	únik expandované páry	–	–	230 kg	–	–	28 kg
7	odkal/odluh	–	–	46 kg	–	–	20 kg
8	napájecí voda	0,1	95	4 559 kg	0,1	95	1 985 kg
9	pára	13	–	4 288 kg	13	–	1 846 kg
10	pára pro CBW	6	–	1 000 kg	13	–	220 kg
11	pára pro SYD1	13	–	470 kg	13	–	220 kg
12	pára pro SYD2	13	–	470 kg	13	–	220 kg
13	pára pro IRO1	13	–	750 kg	13	–	410 kg
14	pára pro IRO2	13	–	750 kg	13	–	410 kg
15	pára pro TUF	13	–	750 kg	13	–	430 kg
16	únik páry	–	–	48 kg		není	
17	kondenzát	6	–	3 015 kg	3	–	1 415 kg
18	expand. pára pro CBW		není		3	–	146 kg
19	čerstvá voda CBW	0,2	10	15 000 kg	0,2	10	8 250 kg
20	odpadní voda z CBW	0,2	51	16 000 kg	0,2	33	8 616 kg



## 8 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. 8–1.

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.

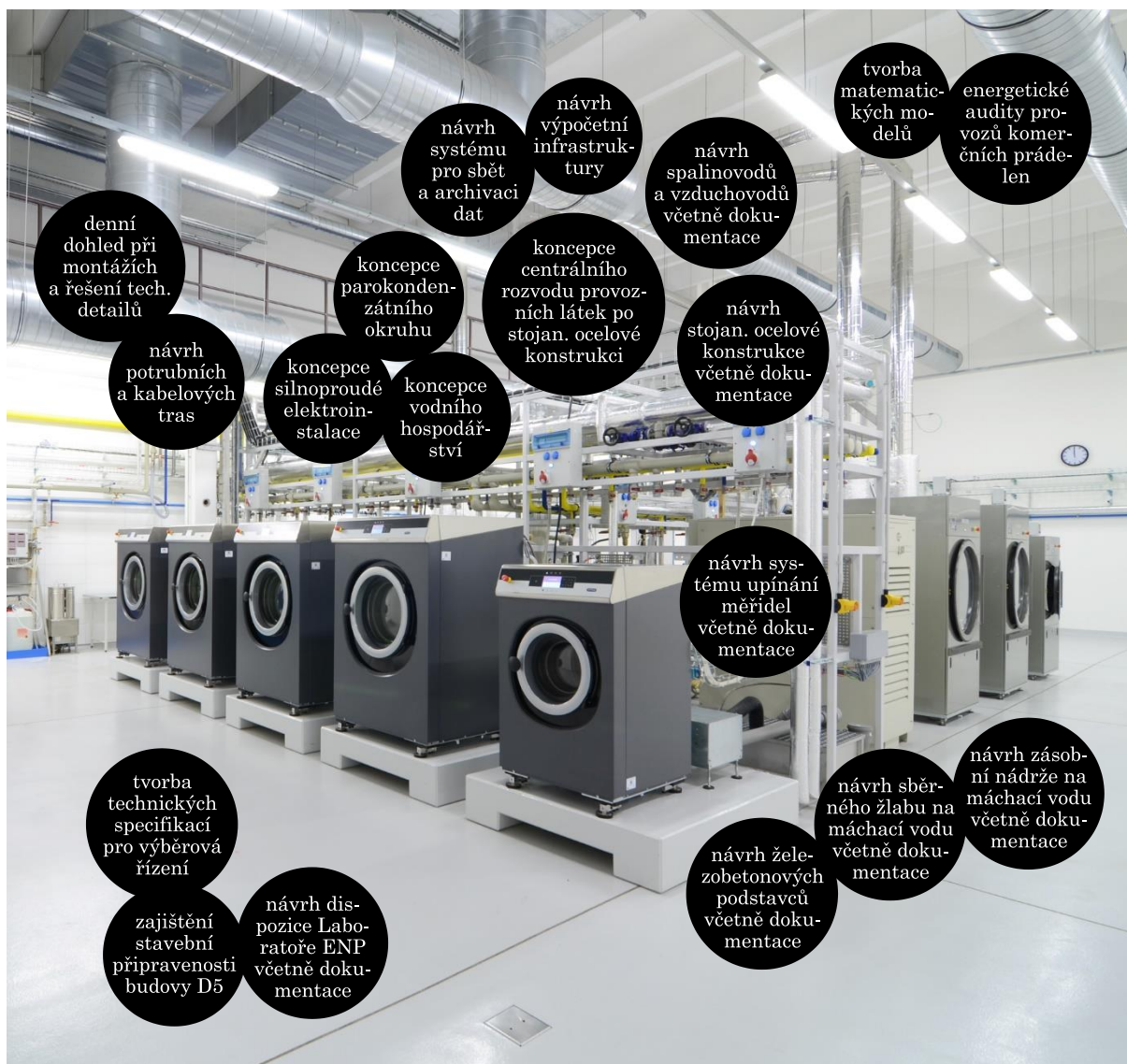
Práce upozorňuje na faktory, které ovlivňují proces PÚP, a na vazby mezi nimi. Může se tak stát zdrojem inspirace pro budoucí výzkum, resp. návrh témat pro závěrečné práce. Ve strukturované formě se přínosy dizertační práce očekávají v oblasti:

- 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.

Využitím potenciálu renomované univerzity a fakulty se zde otevírá možnost navázat na úspěšnou tradici prádelenských výzkumných týmů, kterými v minulosti české země disponovaly, a stát se v budoucnu nezávislou certifikační autoritou, případně spoluvytvářet legislativu. Stát se tak de facto ekvivalentem Hohenstein institutu pro východní Evropu. To je však z dnešního pohledu ještě dosti vzdálená vize.



obr. 8-1: Grafický souhrn osobních přínosů autora při výstavbě Laboratoře energeticky náročných procesů a k výzkumu v oblasti profesní údržby prádla



# Seznam použitých zdrojů

- [1] *NETME Centre. Centrum nových technologií pro strojírenství.* Vysoké učení technické v Brně. Online [cit. 10. 3. 2014] dostupný z <http://www.netme.cz>
- [2] *Úspory vody a energie.* Professional support s. r. o. Online [cit. 10. 3. 2014] dostupný z <http://www.pgprof.info/uspory-vody-a-energie.html>
- [3] 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
- [4] 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)
- [5] *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>
- [6] 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
- [7] KIM, H.-C., SHANG, X., HUANG, J.-H., DEMPSEY, B. A. Treating laundry waste water: Cationic polymers for removal of contaminants and decreased fouling in microfiltration. *Journal of Membrane Science.* 2014, vol. 456, s. 167–174, ISSN 0376-7388, DOI: 10.1016/J.MEMSCI.2014.01.028
- [8] 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.
- [9] 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.
- [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] ZHOU, L., ZHANG, Y. Cotton woven fabric with less energy consumption during home laundry. In: *2011 International Conference on Eco-Dyeing, Finishing and Green Chemistry*. 2012, ISBN 9783037853436.  
DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.441.619.
- [13] 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.
- [14] HUSTVEDT, G. Review of laundry energy efficiency studies conducted by the US Department of Energy. *International Journal of Consumer Studies*. 2011, vol. 35, č. 2, s. 228–236, ISSN 1470-6423, DOI: 10.1111/j.1470-6431.2010.00970.x.
- [15] 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.
- [16] GOLDEN, J. S., SUBRAMANIAN, V., IRIZARRI, G. M. A. U., WHITE, P., MEIER, F. Energy and carbon impact from residential laundry in the United States. *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2010, vol. 7, č. 1, s. 53–73, ISSN 1943-815X, DOI: 10.1080/19438150903541873.
- [17] 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.
- [18] DURKEE, J. Cleaning times. Lessons from the laundry: Recovering energy costs with heat wheels. *Metal Finishing*. 2009, vol. 107, č. 10, s. 51–52, ISSN 0026-0576, DOI: 10.1016/S0026 0576(09)80259 6.
- [19] 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.
- [20] KOSEK, J. Energy efficiency in hospitality laundries. *Textile Rental*. 2008, vol. 91, č. 5, s. 54–58, ISSN 0195-0118.
- [21] BEEH, M. Conservation of energy and detergents in commercial laundries. *Tekstil*. 2005, vol. 54, č. 6, s. 297–299, ISSN 0492-5882.
- [22] 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.
- [23] *Oborová informační příručka – obor praní, žehlení, opravy a údržba prádla, bytového textilu a osobního zboží*. Asociace prádel a čistíren. Online [cit. 10. 6. 2012] dostupné z <http://www.apac.cz/zaklady-podnikani/prani-pradla>

- [24] Vyhláška č. 195/2005 Sb. Vyhláška, kterou se upravují podmínky předcházení vzniku a šíření infekčních onemocnění a hygienické požadavky na provoz zdravotnických zařízení a ústavů sociální péče. Sbírka zákonů, částka 71, ročník 2005, ISSN 1211-1244
- [25] *Technical information and diary 2012*. Girbau Group. Barcelona 2011. Girbau, SA.
- [26] VAN STEENBERGEN, K.: *Water and energy savings in laundries – a first step to sustainable operation*. Christeys Academy. Presentace v rámci odborného fóra veletrhu Texcare 2012 International Frankfurt. Online [cit. 10. 6. 2012] dostupné z <http://texcare.messefrankfurt.com/frankfurt/en/besucher/events/texcare-forum/montag.html>
- [27] PECHÁČEK, F., JANKOVSKÝ, J. *Zkoušení textilií*. Praha 1963. Státní pedagogické nakladatelství.
- [28] *Praní – Hodnocení kvality praní – Vliv praní na textilie*. Oborová specifikace (OS) 80-04. Brno 2012. Textilní zkušební ústav, s. p. Online [cit. 10. 4. 2014] dostupné z [http://tzu.cz/pdf/OS/OS\\_80-04\\_Prani-Hodnoceni\\_kvality\\_prani.pdf](http://tzu.cz/pdf/OS/OS_80-04_Prani-Hodnoceni_kvality_prani.pdf)
- [29] *Kontrola kvality praní*. Textilní zkušební ústav, s. p. Online [cit. 10. 4. 2014] dostupné z <http://tzu.cz/kontrola-kvality-prani-CZ12412>
- [30] 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.
- [31] *Wireless sensor network*. Wikipedie. Otevřená encyklopedie. Online [cit. 6. 4. 2014] dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [32] *Vysoce úsporné odpružené pračky FX 80, FX 105, FX 135*. Technická specifikace produktů. Primus CE. Online [cit. 5. 4. 2014] dostupné z [http://www.primuslaundry.com/\\_media/primus-4e022b997ab2dd911f57e77afc0551f8/techspecs\\_fx65\\_80\\_105\\_135\\_cz.pdf](http://www.primuslaundry.com/_media/primus-4e022b997ab2dd911f57e77afc0551f8/techspecs_fx65_80_105_135_cz.pdf)
- [33] *Vysoce úsporné odpružené pračky FX 180, FX 240, FX 280*. Technická specifikace produktů. Primus CE. Online [cit. 5. 4. 2014] dostupné z [http://www.primuslaundry.com/\\_media/primus-9d48f937d7d9ef48f9ebd93cc0eb7495/techspecs\\_fx180\\_240\\_cz.pdf](http://www.primuslaundry.com/_media/primus-9d48f937d7d9ef48f9ebd93cc0eb7495/techspecs_fx180_240_cz.pdf)
- [34] *Průmyslové bubnové sušiče T 11, TAMS 13, T 13, T 13/13, T 16*. Technická specifikace produktů. Primus CE. Online [cit. 5. 4. 2014] dostupné z [http://www.primuslaundry.com/\\_media/primus-16e9f99dc0ac81a2800f3115b19e08a4/techspecs\\_t11\\_13\\_16\\_1313\\_tams13\\_cz.pdf](http://www.primuslaundry.com/_media/primus-16e9f99dc0ac81a2800f3115b19e08a4/techspecs_t11_13_16_1313_tams13_cz.pdf)
- [35] *Průmyslové bubnové sušiče T 24, T 35*. Technická specifikace produktů. Primus CE. Online [cit. 4. 4. 2014] dostupné z [http://www.primuslaundry.com/\\_media/primus-386af492637d5d212ad7a8a638112886/techspecs\\_t24\\_35\\_cz.pdf](http://www.primuslaundry.com/_media/primus-386af492637d5d212ad7a8a638112886/techspecs_t24_35_cz.pdf)

- [36] *Průmyslový sušicí válcový žehlič I 33*. Technická specifikace produktu. Primus CE. Online [cit. 4. 4. 2014] dostupné z [http://www.primuslaundry.com/\\_media/primus-5dc3c05af310128b4771544ceea5cd6b/techspecs\\_i33\\_cz.pdf](http://www.primuslaundry.com/_media/primus-5dc3c05af310128b4771544ceea5cd6b/techspecs_i33_cz.pdf)
- [37] *Capstone Turbine*. Wikipedie. Otevřená encyklopedie. Online [cit. 6. 4. 2014] dostupné z [http://en.wikipedia.org/wiki/Capstone\\_Turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Capstone_Turbine)
- [38] *Product catalogue 2013/2014. Measuring. Testing. Automation*. Produktový katalog. Delphin Technology AG. Online [cit. 3. 4. 2014] dostupné z [http://www.delphin.com/fileadmin/Medien/Downloads/Broschueren/2013\\_03\\_08\\_Produktkatalog-EN-2013\\_low.pdf](http://www.delphin.com/fileadmin/Medien/Downloads/Broschueren/2013_03_08_Produktkatalog-EN-2013_low.pdf)
- [39] *Měřicí ústředna EMS DV 803*. Produktový list. Ing. Miroslav Pohl – Elektronické měřicí systémy.
- [40] *Earnings statistic*. Eurostat. Luxembourg. Online [cit. 2. 11. 2012] dostupné z [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables)
- [41] *Energy price statistic*. Eurostat. Luxembourg. Online [cit. 2. 11. 2012] dostupné z [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/labour\\_market/earnings/data\\_base](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/labour_market/earnings/data_base)
- [42] *Tariff rises outstripped inflation*. Global Water Intelligence. Oxford, Velká Británie. Online [cit. 5. 12. 2012] dostupné z <http://www.globalwaterintel.com/archive/13/9/market-analysis/tariff-rises-outstripped-inflation.html>
- [43] CHAMBERS M., DAVIES K., HARDIE M. *The BeWILD Legacy Report. An evaluation of the BeWILD Project 2008–2011, an ancient woodland management project in Berkshire*. North Wessex Downs, Thames Valley. 2013. Online [cit. 22. 4. 2014] dostupné z [http://sylva.org.uk/downloads/BeWILD\\_Legacy\\_Report.pdf](http://sylva.org.uk/downloads/BeWILD_Legacy_Report.pdf)

# Publikace autora

## 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.



# Seznam příloh

- |      |  |               |
|------|--|---------------|
| [P1] | Seznam veřejných zakázek a jejich částí souvisejících s vybavením Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre | (1 strana A4) |
| [P2] | Protokol k určení energetické náročnosti pracího stroje dle jednocyklového neinvazivního měření                          | (2 strany A4) |
| [P3] | Protokol k určení energetické náročnosti sušicího stroje dle jednocyklového neinvazivního měření                         | (2 strany A4) |
| [P4] | Matematický model vsádkové pračky k určení teoretické spotřeby tepla na ohřev prací lázně                                | (1 strana A4) |

# Seznam veřejných zakázek a jejich částí souvisejících s vybavením Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre

Technologie modelu energeticky náročného procesu a její infrastruktura – Etapa I  
(ev. č. 7202011010934)

- Část 1 – Parní kotel s ochlazovacím okruhem
- Část 4 – Pračky, sušičky, žehliče a žehlicí lis
- Část 5 – Plynová mikroturbína
- Část 7 – Dávkovač pracích prostředků
- Část 8 – Příslušenství
- Část 9 – Úpravna vody

Technologie modelu energeticky náročného procesu a její infrastruktura – Etapa V  
(ev. č. 231710)

- Část 13 – Systém měření, vizualizace a archivace dat
- Část 14 – Systém pro měření napjatosti
- Část 15 – Vážní systémy
- Část 16 – Měření stavových a procesních veličin a délek
- Část 17 – Měření a generování elektrických veličin
- Část 18 – Skladování a zabezpečení měřicí techniky a příslušenství
- Část 19 – Univerzální infrastruktura pro testování en. náročných zařízení

Hardware – Etapa VII  
(ev. č. 344635)

- Část 2 – PC s příslušenstvím
- Část 3 – Notebooky s příslušenstvím
- Část 4 – Monitory
- Část 5 – Rackové servery, NAS a příslušenství
- Část 6 – Síťové komponenty
- Část 8 – Tiskárny

Vybavení interiéru – Etapa V  
(ev. č. 345615)

- Část 1 – Kancelářský nábytek
- Část 2 – Laboratorní nábytek



# Protokol č. 2013/...

k určení energetické náročnosti pracího stroje  
dle jednocyklového neinvazivního měření



## A) Identifikace a základní údaje

<b>Pračka 3</b> označení stroje	výrobce / model	...
	výrobní číslo / rok výroby	...
	kapacita [kg s. pr.]	140
<b>3.1</b> označení dávky prádla	typ ohřevu	parní
	otáčky bubnu při odstředění [ $\text{min}^{-1}$ ]	660
	vnitřní průměr bubnu [mm]	1453
<b>program č. 3</b> <b>BÍLÉ SILNÉ - 80 °C</b> program / nastavení stroje	provozovatel	...
	podmínky měření	25 ± 2 °C, 56 ± 9 % r. v.
	datum a místo měření	...

## B) Naměřené hodnoty

veličina [jednotka]	na začátku cyklu	na konci cyklu	rozdíl
čas [h:m:s]	13:31:48	15:47:38	2:15:50
hmotnost dávky prádla [kg]	115,5	161,15	45,65
stav hlavního vodoměru (V5) technologie [ $\text{m}^3$ ]	30828,686	30834,977	6,291
stav podružného vodoměru (Vk) v kotelně [ $\text{m}^3$ ]	3881,75415	3882,272	0,51785
stav plynoměru (Pł), prac. přetlak 300 kPa [ $\text{m}^3$ ]	414858,92	414864,17	5,25
stav elektroměru (Eł) [kWh]	275731	275750	19

## C) Analýza dávky prádla (čisté, suché, resp. složené prádlo)

barevné směšové oděvy ze strojřenské výroby charakteristika prádla	množství v dávce [ks]	celková hmotnost [kg]	měrná hmotnost [kg/ks]	hmotnostní podíl BA [%]	hmotnostní podíl PES [%]	absolutní podíl BA [kg]	absolutní podíl PES [kg]
3.1.1 - triko, krátký rukáv	116	23,20	0,200	100,0	0,0	23,200	0,000
3.1.2 - triko, dlouhý rukáv	51	10,70	0,210	100,0	0,0	10,700	0,000
3.1.3 - halena	95	40,40	0,425	35,0	65,0	14,140	26,260
3.1.4 - mikina	9	3,55	0,394	35,0	65,0	1,243	2,308
3.1.5 - kalhoty	94	36,30	0,386	35,0	65,0	12,705	23,595
3.1 - celá dávka	365	114,15	0,313	54,3	45,7	61,988	52,163

**D) Produktivita**

zadáno/naměřeno

vypočteno

doba praní [min] = 135,8 hmotnost suchého prádla v dávce {P1} [kg <sub>s.pr.</sub> ] = 114,15	měrná doba praní [min/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 1,19 čistá hodinová produktivita [kg <sub>s.pr.</sub> /h] = 50,42
--	--

**E) Spotřeba vody**

spotřeba dle hl. vodoměru {P2} [m <sup>3</sup> ] = 6,291 spotřeba ostatních zařízení za hl. vodoměrem [m <sup>3</sup> ] = 0,51785	čistá spotřeba vody [m <sup>3</sup> ] = 5,77315 měrná spotřeba vody [ℓ/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 50,58
--	---

**F) Spotřeba elektrické energie**

spotřeba dle hl. elektroměru {P3} [kWh] = 19 spotřeba ostatních zařízení za hl. elektroměrem {P4} [kWh] = 3,4	čistá spotřeba el. energie [kWh] = 15,6 měrná spotřeba el. energie [kWh/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 0,137
--	--

**G) Spotřeba tepla**

spotřeba ZP k výrobě tepla dle hl. plynoměru {P5} [m <sup>3</sup> ] = 5,250 spotřeba ostatních zařízení za hl. plynoměrem [m <sup>3</sup> ] = 0 pracovní přetlak plynoměrů [kPa] = 300 teplota ZP [°C] = 15 výhřevnost ZP [kWh/m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ] = 9,94 měrné kondenzační teplo použité páry (7 bar g) [kJ/kg] = 2047 celková účinnost výroby a dodávky páry {P6} [%] = 83	spotř. ZP k vyr. tepla při daném P a T [m <sup>3</sup> ] = 5,250 spotřeba ZP k výrobě tepla [m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ] = 19,7 spotřeba ZP k výrobě tepla [kWh] = 195,9 měr. spotř. ZP k výrobě tepla [kWh/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 1,72 měr. spotř. tepla dod. parou [kWh/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 1,42 měrná spotřeba páry [kg/kg <sub>s.pr.</sub> ] = 2,506
--	--

**H) Zbytková vlhkost po odstředění, G-faktor**

hmotnost prádla po odstředění [kg] = 161,15 otáčky bubnu při odstředění {P7} [min <sup>-1</sup> ] = 660 vnitřní průměr bubnu [mm] = 1453 nominální tíhové zrychlení [m.s <sup>-2</sup> ] = 9,80665	mn. zbytkové vlhkosti v prádle [kg <sub>H2O</sub> ] = 47,0 měrná zbytková vlhkost [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>s.pr.</sub> ] = 0,412 dostředivé zrychlení při odstředění [m.s <sup>-2</sup> ] = 3470 G-faktor při odstředění [-] = 354
---	--

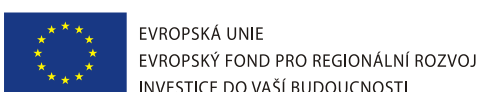
**I) Rekapitulace podstatných hodnot**

množství suchého prádla v dávce <b>114,2</b> kg s. pr. (54,4 % BA + 45,6 % PES)	měrná spotřeba vody <b>50,6</b> ℓ / kg s. pr.	měr. spotřeba el. energie <b>0,137</b> kWh / kg s. pr.	měrná spotřeba tepla <b>1,42</b> kWh / kg s. pr.
hodinová produktivita (bez nakládky/vykládky) <b>50,4</b> kg s. pr. / h	měrná zbytková vlhkost <b>41,2</b> % (100 % · kg H <sub>2</sub> O / kg s. pr.)	G-faktor při odstředění <b>354</b> -	měrná spotřeba ZP (brutto) <b>1,72</b> kWh / kg s. pr.

**J) Poznámky**

- {P1} ... zjištěno při analýze prádla po jeho usušení a složení - viz část C  
 {P2} ... není zahrnuta spotřeba vody na splavování prací chemie (použit automatický dávkovač tekutých pracích prostředků)  
 {P3} ... předpokládá se významná chyba z důvodu rozlišení elektroměru pouze 1 kWh  
 {P4} ... dle odhadu fundamentální spotřeby provozu (výpočetní technika, osvětlení, kompresor, termolis, ventilátory) ve výši 1,5 kWh/h  
 {P5} ... předpokládá se určitá chyba z důvodu cyklického spinání a odstávek hořáku parního vyvíječe  
 {P6} ... odhadovaná hodnota  
 {P7} ... hodnota převzata z technické dokumentace stroje, nebylo ověřováno měřením

NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství, Fakulta strojního inženýrství,  
 Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno (www.netme.cz)  
 Projekt je spolufinancován Evropskou unií a Evropským fondem pro regionální rozvoj  
 v rámci OP Výzkum a vývoj pro inovace (reg. č. projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002)



zpracoval  ..... Ing. Petr Bobák dne ... v Brně	schválil  ..... Ing. Vítězslav Máša, Ph.D. dne ... v Brně
---	---

# Protokol č. 2013/...

k určení energetické náročnosti sušicího stroje  
dle jednocyklového neinvazivního měření



## A) Identifikace a základní údaje

<b>Susič</b> označení stroje	výrobce / model	...
	výrobní číslo / rok výroby	...
<b>1.2</b> označení dávky prádla	popis	<b>bubnový sušič</b>
	kapacita [kg s. pr.]	<b>55</b>
<b>30 min: sušení 60 °C</b> <b>5 min: ochlazování</b> program / nastavení stroje	typ ohřevu	<b>plynový</b>
	provozovatel	...
	podmínky měření	<b>25 ± 2 °C, 56 ± 9 % r. v.</b>
	datum a místo měření	...

## B) Naměřené hodnoty

veličina [jednotka]	na začátku cyklu	na konci cyklu	rozdíl
čas [h:m:s]	<b>21:12:10</b>	<b>21:47:05</b>	0:34:55
hmotnost dávky prádla [kg]	<b>49,45</b>	<b>40,75</b>	-8,70
stav plynoměru (P <sub>l</sub> ), prac. přetlak 300 kPa [m <sup>3</sup> ]	<b>414913,56</b>	<b>414913,9525</b>	0,39
stav elektroměru (E <sub>l</sub> ) [kWh]	<b>275966</b>	<b>275969</b>	3

## C) Analýza dávky prádla (čisté, suché, resp. složené prádlo)

barevné směšové oděvy ze strojírenské výroby charakteristika prádla	množství v dávce [ks]	celková hmotnost [kg]	měrná hmotnost [kg/ks]	hmotnostní podíl BA [%]	hmotnostní podíl PES [%]	absolutní podíl BA [kg]	absolutní podíl PES [kg]
1.2.1 - halena	<b>26</b>	<b>16,45</b>	0,633	<b>35,0</b>	<b>65,0</b>	5,758	10,693
1.2.2 - kalhoty s laclem	<b>30</b>	<b>24,30</b>	0,810	<b>35,0</b>	<b>65,0</b>	8,505	15,795
<b>1.2 - celá dávka</b>	<b>56</b>	<b>40,75</b>	<b>0,728</b>	<b>35,0</b>	<b>65,0</b>	<b>14,263</b>	<b>26,488</b>

**D) Produktivita**

zadáno/naměřeno

vypočteno

hmotnost prádla na začátku cyklu [kg] = 49,45 hmotnost prádla na konci cyklu [kg] = 40,75 hmotnost suchého prádla [kg] = 40,75 doba cyklu (sušení + ochlazování) [min] = 34,9	měr. zbytková vlhkost na zač. [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>s.pr.</sub> ] = 0,213 měr. zbytk. vlhkost na konci [kg <sub>H2O</sub> /kg <sub>s.pr.</sub> ] = 0,000 množství odpařené vlhkosti [kg <sub>H2O</sub> ] = 8,70 odpařovací kapacita {P1} [kg <sub>H2O</sub> /min] = 0,25
--	---

**E) Spotřeba elektrické energie**

spotřeba dle hl. elektroměru {P2} [kWh] = 3 spotřeba ostatních zařízení za hl. elektroměrem {P3} [kWh] = 0,9	čistá spotřeba el. energie [kWh] = 2,1 měrná spotřeba el. energie [kWh/kg <sub>H2O</sub> ] = 0,244
---	---

**F) Spotřeba tepla**

spotřeba ZP k výrobě tepla dle hl. plynoměru [m <sup>3</sup> ] = 0,393 spotřeba ostatních zařízení za hl. plynoměrem [m <sup>3</sup> ] = 0 pracovní přetlak plynoměrů [kPa] = 300 teplota ZP [°C] = 15 výhřevnost ZP [kWh/m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ] = 9,94	spotřeba ZP při daném P a T [m <sup>3</sup> ] = 0,393 spotřeba ZP [m <sub>N</sub> <sup>3</sup> ] = 1,474 spotřeba ZP [kWh] = 14,648 měrná spotřeba ZP [kWh/kg <sub>H2O</sub> ] = 1,684
--	---

**G) Rekapitulace podstatných hodnot**

množství suchého prádla v dávce <b>40,8</b> kg s. pr. (35 % BA + 65 % PES)	odpařovací kapacita <b>0,25</b> kg H <sub>2</sub> O / min	měr. spotřeba el. energie <b>0,244</b> kWh / kg H <sub>2</sub> O	měrná spotřeba tepla (ZP) <b>1,68</b> kWh / kg H <sub>2</sub> O
--	---	--	---

**H) Poznámky**

{P1} ... průměrná hodnota za celou dobu cyklu (sušení + ochlazování)

{P2} ... předpokládá se významná chyba z důvodu rozlišení elektroměru pouze 1 kWh

{P3} ... dle odhadu fundamentální spotřeby provozu (výpočtení technika, osvětlení, kompresor, termolis, ventilátory) ve výši 1,5 kWh/h

NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství, Fakulta strojního inženýrství,  
 Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno (www.netme.cz)  
 Projekt je spolufinancován Evropskou unií a Evropským fondem pro regionální rozvoj  
 v rámci OP Výzkum a vývoj pro inovace (reg. č. projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002)



EVROPSKÁ UNIE  
 EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
 INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OP Výzkum a vývoj  
 pro inovace

zpracoval  ..... Ing. Petr Bobák dne ... v Brně	schválil  ..... Ing. Vítězslav Máša, Ph.D. dne ... v Brně
---	---

