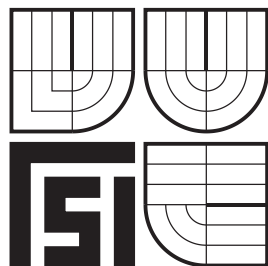


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENG.

PRACÍ PROCES A JEHO NÁROKY NA ENERGII A VODU

ENERGY AND WATER DEMAND OF WASHING PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

IVETA BARABÁŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR BOBÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Iveta Barabášová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

Prací proces a jeho nároky na energii a vodu

v anglickém jazyce:

Energy and water demand of washing process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se má věnovat spotřebám energií a vody při průmyslovém praní prádla ve vsádkové pračce. V rámci teoretického úvodu bude představen prací cyklus, jeho matematický bilanční model a popsány faktory, které prací proces ovlivňují. Na základě experimentálních dat bude určeno množství vody a tepla potřebné pro vyprání znečištěného prádla při daném pracím programu. Experimentální data budou získána jednak z archivu měřicího systému a dále provedením nového provozního testu na moderní průmyslové pračce, která je součástí vybavení Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre. Téma práce zapadá do výzkumné činnosti Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre.

POZOR:

Kompletní nabídku témat bakalářských prací na ÚPEI a další potřebné informace naleznete na webových stránkách:

<http://www.upei.fme.vutbr.cz/studium/temata-bakalarskych-praci-2014-2015>

nebo přímo u garanta zadání, který Vám vše rád osobně vysvětlí.

Cíle bakalářské práce:

Představení pracího procesu na základě jeho bilančního modelu.

Zpracování archivních dat a určení průměrných spotřeb energie a vody pracích cyklů.

Provedení testu pračky s elektrickým ohřevem a určení spotřeby el. energie.

Jednoduché ekonomické zhodnocení jednoho pracího cyklu s ohledem na typ ohřevu.

Seznam odborné literatury:

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.

Další odborná literatura dostupná z areálové knihovny nebo internetových zdrojů.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bobák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 24.11.2014

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

Abstrakt

Práce představuje profesionální praní prádla ve vsádkové pračce. Cílem je určení spotřeb vody a energií během jednoho pracího cyklu na základě archivních dat Laboratoře energeticky náročných procesů, NETME Centre. Data byla naměřena při praní s parním ohřevem a při praní s elektrickým ohřevem. Získaná data jsou zpracována v programu MS Excel a využita k jednoduchému ekonomickému zhodnocení pracího cyklu s uvážením typu ohřevu.

Klíčová slova

Praní, proces, spotřeba, energie, pára, voda, sběr dat.

Abstract

The thesis presents a professional washing process in washer-extractor. The aim is to appoint water and energy consumption during a washing cycle based on archive data from Laboratory of energy intensive process, NETME Centre. The data have been measured during washing with steam heating and washing with electric heating. Obtained data are processed via MS Excel software and they are used for simple economic evaluation of washing cycle.

Keywords

Washing, process, consumption, energy, steam, water, data acquisition.

Bibliografická citace práce

BARABÁŠOVÁ, I. *Prací proces a jeho nároky na energii a vodu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 26 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Bobákovi, Ph.D., za trpělivost, ochotu a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

Tato práce vznikla za podpory a na přístrojovém vybavení NETME Centre, regionálního výzkumného a vývojového centra vybudovaného z finančních prostředků Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), Reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a podporovaného v navazující fázi udržitelnosti prostřednictvím projektu 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



**OP Výzkum a vývoj
pro inovace**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně na základě vlastních poznatků získaných při studiu a konzultací s vedoucím práce, a že jsem veškeré literární i obrazové prameny správně a úplně citovala.

V Brně dne 28. května 2015

Iveta Barabášová

Obsah

Seznam použitých symbolů, zkratk a schématických značek	1
Úvod	3
1 Prací proces	5
1.1 Praní jako součást procesu profesní údržby prádla	5
1.2 Pračky	6
1.3 Bilanční model vsádkové pračky	8
1.4 Faktory ovlivňující prací proces	10
2 Sběr provozních dat	11
3 Spotřeba energie a vody při elektrickém ohřevu	13
3.1 Průběh měření	13
3.2 Vyhodnocení získaných dat	14
4 Spotřeba energie a vody při parním ohřevu	15
4.1 Statistika archivních dat	15
4.2 Data z 1. poloviny roku 2014	16
4.3 Data z 2. poloviny roku 2014	17
4.4 Diskuze výsledků	19
5 Ekonomika pracího procesu	20
5.1 Délka pracího cyklu s ohledem na typ ohřevu	20
5.2 Odhad cen energií a vody	21
Závěr	23
Seznam použité literatury	24
Seznam příloh	26

Seznam použitých symbolů, zkratek a schématických značek

Dolní indexy

i	číslo proudu
j	číslo prvku výběru
OV	odpadní voda
P	pára
SP	suché prádlo
V	voda
VP	vyprané prádlo

Symbole veličin

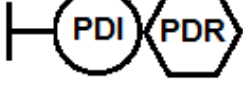
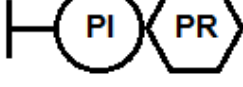
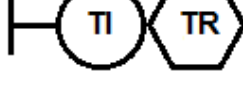
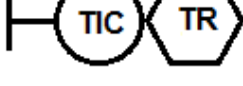
c_p	měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku	[kJ/kgK]
h	měrná entalpie	[kJ/kg]
m	hmotnost	[kg]
Me	medián	[j]
Mo	modus	[j]
n	počet hodnot	[-]
Q	teplo	[kJ]
r	počet intervalů	[-]
s	směrodatná odchylka	[j]
s^2	rozptyl	[j]
T	teplota	[K]
V	objem	[m ³]
x_j	hodnota prvku výběru	[j]
$\bar{x}$	aritmetický průměr	[j]
ρ	hustota	[kg/m ³]

Zkratky

AAT	(divize) letecké a automobilní techniky
AMM	(divize) progresivních kovových materiálů
BA	bavlna
DPH	daň z přidané hodnoty
FSI	Fakulta strojního inženýrství
LENP	Laboratoř energeticky náročných procesů
M	(divize) mechatroniky

NETME	New Technologies for Mechanical Engineering (Nové technologie pro strojírenství)
PES	polyester
PPE	(divize) energetiky, procesů a ekologie
VMDT	(divize) virtuálního navrhování a zkušebnictví
VUT	Vysoké učení technické (v Brně)
WEX	vsádková pračka s odstředováním

Schématické značky

	potrubní vedení
	elektrické vedení
	elektromagnetický ventil
	indikace elektrických veličin měřidlem, zápis elektrických veličin počítačem
	měření kumulovaného průtoku, zápis kumulovaného průtoku počítačem
	indikace a regulace výšky hladiny měřidlem, zápis výšky hladiny počítačem
	indikace vlhkosti měřidlem, zápis vlhkosti počítačem
	indikace diferenčního tlaku měřidlem, zápis diferenčního tlaku počítačem
	indikace tlaku měřidlem, zápis tlaku počítačem
	indikace teploty měřidlem, zápis teploty počítačem
	indikace a regulace teploty měřidlem, zápis teploty počítačem

Úvod

Praní není v lidské společnosti žádnou neznámou, odnepaměti se jím zabývá takřka každá domácnost. Zhruba od poloviny 20. století je tento proces usnadněn automatickými pračkami, které procházejí jako většina techniky různými inovacemi. Podstata však zůstává – praní je děj, při kterém jsou z textilu odlučovány nečistoty za pomoci vodní lázně a mechanické práce. Cílem této práce ovšem není popis praní, jak jej zná veřejnost. V následujících kapitolách je představeno praní v průmyslovém měřítku. Komerční sféra klade vysoké nároky na kvalitu zpracování praného prádla, hygienické normy, energetickou náročnost a spotřebu vody. Produkce průmyslové prádelny dosahuje stovek kilogramů až desítek tun vypraného prádla za směnu. Na zpracování takového množství prádla je potřeba i úměrné množství energie a vody.

Právě energetická náročnost předurčuje práci proces jako ideální objekt výzkumu energetické náročnosti a způsobů optimalizace. Vždyť význam energie a jejího užití v lidské společnosti neustále roste. Zdroje surovin pro její získání nejsou bezedné. Týká se to zejména fosilních paliv, která jsou pro Českou republiku převážně dovozním artiklem. Jejich dostupnost silně závisí na politické situaci ve světě. Není proto překvapením, že se hledají alternativní zdroje energií, které zaručí nezávislosti v tomto sektoru. Česká energetická koncepce počítá s nárůstem procentuálního zastoupení obnovitelných zdrojů (solární, větrné, vodní elektrárny, spalování biomasy), plynu a využití jádra [1]. Existují ale technologické limity, které nedovolují výraznější nárůst účinnosti elektráren. Proto se nelze zabývat pouze zdokonalováním elektráren a rozvodné sítě, ale je nutné přistupovat k energii také z pozice konzumenta. Snižování spotřeb začíná u velkých podniků a končí u jednotlivých občanů. V rámci udržitelného rozvoje je nutné zabývat se vedle úspory energií i spotřebou vody. Voda představuje základ života na Zemi. Zajišťuje nejen přežívání lidí, živočichů a rostlin, ale také utváří podobu krajiny. Člověkem je využívána ve většině průmyslových odvětví, k udržování hygieny, k rekreaci, sportu atd. Směry využití pitné vody se stále rozšiřují, ale její zásoby klesají.

V následujících kapitolách bude představen práci proces jako součást procesu profesní údržby prádla. Zejména bude stanovena náročnost práciho procesu vzhledem ke spotřebě energií a vody. Dojde tedy ke zpracování experimentálních dat získaných na soustavě měřidel popsanych v druhé kapitole. Dále budou data o práciho cyklech rozdělena podle typu ohřevu práci lázně uvnitř vsádkových praček. O elektrickém ohřevu pojednává kapitola třetí, která představuje postup měření a zpracovává data z měření proběhlých na popud této práce. Další kapitola se věnuje údajům z práciho cyklů s parním ohřevem provedeným během roku 2014. Celkové srovnání je obsaženo v poslední kapitole s názvem Ekonomika práciho procesu. Tato kapitola ukazuje jednoduché ekonomické zhodnocení jednoho práciho cyklu a naznačuje vliv typu ohřevu na délku cyklu, resp. produktivitu prádelny.

Sběr experimentálních dat je umožněn vybavením Laboratoře energeticky náročných procesů, o níž se zmiňují následující řádky.

Laboratoř energeticky náročných procesů

Laboratoř energeticky náročných procesů (LENP) je součástí výzkumného a vývojového centra zaměřujícího se na propojení akademické a průmyslové sféry. Jde o tzv. NETME Centre (Centrum nových technologií pro strojírenství) vzniklé mezi léty 2010 a 2013 při Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně [2].

Oblast zájmu NETME Centre je rozdělena mezi pět divizí:

- divize energetiky, procesů a ekologie (PPE),
- divize letecké a automobilní techniky (AAT),
- divize mechatroniky (M),
- divize virtuálního navrhování a zkušebnictví (VMDT),
- divize progresivních kovových materiálů (AMM).

Všechny divize a jejich sekce mají přímou návaznost na odborné ústavy FSI [2].

V rámci divize PPE jsou sdruženy sekce procesního a ekologického inženýrství, sekce přenosu tepla a proudění, sekce termomechaniky a techniky prostředí, sekce energetického inženýrství, sekce matematiky. První zmíněná, sekce procesního a ekologického inženýrství, v sobě zahrnuje mimo jiné Laboratoř energeticky náročných procesů. Mezi oblasti zájmu LENP patří snižování spotřeb energií a provozních látek v průmyslových provozech, testování spotřebičů za účelem určení jejich účinnosti a dalších provozních charakteristik, zvyšování efektivity mechanického čištění pomocí tryskání suchého ledu, či integrace plynových mikroturbín do průmyslových provozů [2].

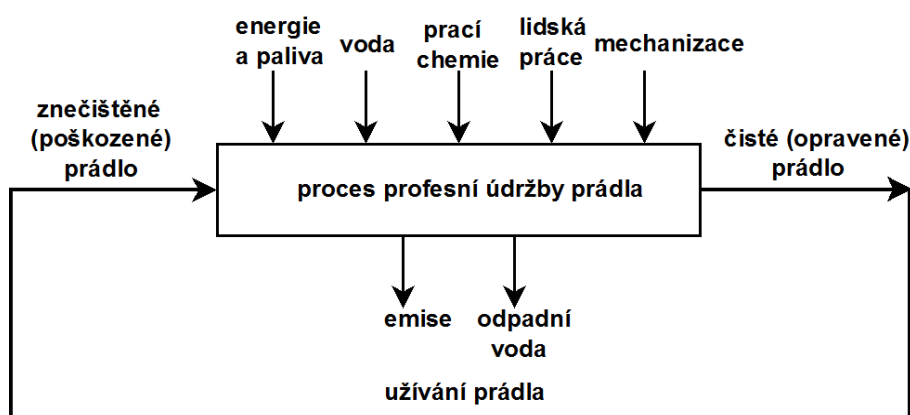
Laboratoř je vybavena prádelenskou technikou (pračky, sušiče, žehliče) značky Primus s celkovou zpracovatelskou kapacitou až 500 kg prádla za směnu. Dále disponuje úpravnou vody, systémem dávkování prací chemie, plynovou mikroturbínou Capstone C30, k dispozici jsou přípojky elektřiny, vody, zemního plynu, tlakového vzduchu, dvou parokondenzátních okruhů, chladicího okruhu, dále technologická vzduchotechnika, spalínovody, připojení na kanalizaci. Měřená data týkající se hmotnosti prádla, teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu v laboratoři, teploty, tlaku a průtoku (kumulovaného průtoku) médií v potrubích, elektrických veličin aj. jsou zaznamenávána a ukládána ústřednou pro sběr dat k dalšímu zpracování [2][3].

1 Prací proces

Tato kapitola představuje práci proces jako klíčovou součást procesu profesní úpravy prádla. Pojednává také o základním vybavení prádelny z pohledu realizace pracího cyklu, prezentuje jednoduchý bilanční model hmotnostních proudů během praní a zmiňuje faktory mající vliv na úroveň zpracování znečištěného prádla.

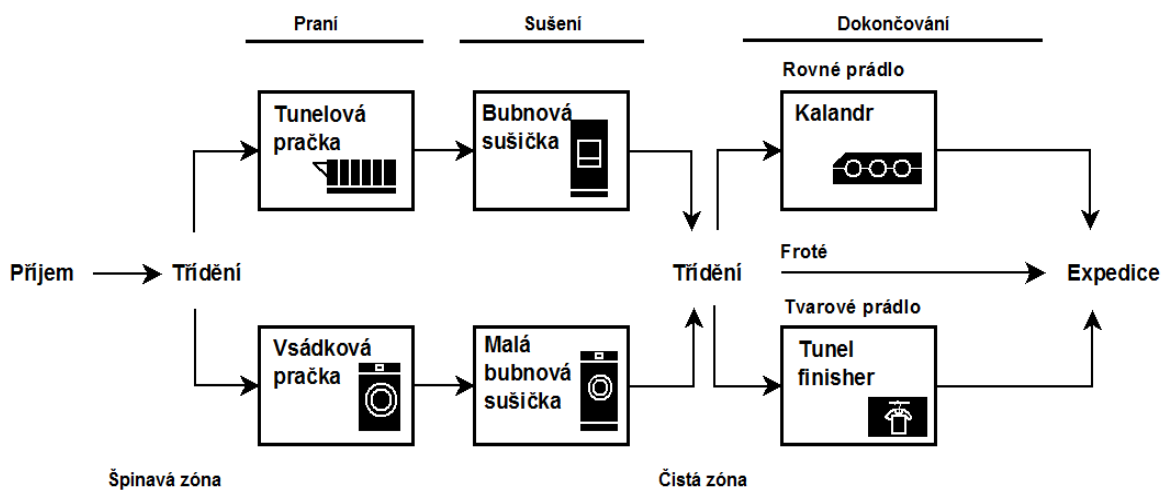
1.1 Praní jako součást procesu profesní údržby prádla

Proces profesní údržby prádla tvoří souhrn dílčích operací, které ve výsledku vrací nečistotami nebo mechanickým poškozením znehodnocenému prádlu schopnost plnit původní funkci v nejvyšší možné míře [3]. Schematicky je proces profesní údržby prádla znázorněn na obr. 1-1.



Obr. 1-1 Základní schéma procesu profesní údržby prádla [3]

Je patrné, že hlavními zdroji pro zajištění výstupu v podobě čistého prádla jsou energie, voda, prací chemie, technické zázemí prádelny a lidská práce. Nelze však opomenout vzniklé odpady, např. emise, odpadní voda. Odpadní voda se vypouští do kanalizace nebo přes vlastní čističku odpadních vod do povrchových vod v závislosti na daných předpisech.



Obr. 1-2 Technologické schéma profesní údržby prádla [3]

Mezi jednotlivé operace profesní údržby prádla se řadí doprava do prádelny, resp. z prádelny, příjem a třídění prádla (z hlediska materiálu, barvy, znečištění atd.), praní, sušení, žehlení, skládání, balení, případně menší opravy (zašití drobných dírek, přišití knoflíků) a uskladnění do termínu expedice. Z uvedeného výčtu výkonů lze sestavit ukázkový prádelenský provoz, jeho zjednodušené technologické schéma je zobrazeno na obr. 1-2.

Komerční prádelny

Komerční prádelny se nacházejí po celé republice. Jejich služeb využívají zejména hotely, ubytovny, nemocnice, restaurace, výrobní podniky, koleje, menzy a v menší míře také široká veřejnost. Jednotlivé prádelny se liší zejména kapacitou v závislosti na své klientele. Prádelenské provozy lze kategorizovat podle jejich kapacity následovně [4]:

- 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 – pradelny, žehlírny prádla.

Od velikosti provozu se odvíjí technické vybavení prádelny. Základní strojní vybavení prádelny se skládá z pracích strojů s odstředováním, sušičů prádla, žehlicích strojů na rovné a tvarované prádlo. Tyto stroje jsou poháněny elektrickou energií. Jejich vytápění může být prováděno jak elektřinou, tak parou (zdrojem páry je vlastní kotelna nebo teplárenská síť) nebo zemním plynem.

Nedílnými prvky procesní a energetické infrastruktury průmyslové prádelny bývá [4]:

- zdroj páry – kotelna na zemní plyn nebo regulační stanice pro odběr páry z teplárny,
- úprava vody – voda z vodovodních řádů má většinou příliš vysokou tvrdost a je nezbytné ji před použitím změkčit,
- zdroj el. energie – rozvodna, u větších pradelen vlastní trafostanice,
- zdroj tlakového vzduchu – kompresor,
- čistička odpadních vod – není nutná v případě, že prádelna má povolení vypouštět odpadní vody do veřejné kanalizace bez předčištění,
- vzduchotechnika – odsávání přebytků tepla a vlhkosti z provozu.

Mezi provozní příslušenství prádelny se řadí šicí stroje, stoly, vozíky (drátěné, s policemi, se zdvihacím dnem), šatní stojany a jiné manipulační nebo uskladňovací prostředky.

1.2 Pračky

V současné době se mezi dva v komerčních prádelnách užívané druhy praček řadí tunelová a vsádková pračka, příklad těchto praček je na obr. 1-3. Tyto pračky se podstatně odlišují v konstrukci, kapacitě i spotřebě.

Tunelová pračka

Tunelová pračka (kontinuální prací linka) je prací zařízení s kapacitou řádově 400 až 1000 kg_{SP}/h užívané ve velkokapacitních prádelnách. Tyto stroje jsou dominantními spotřebiči vody a energií. Přesto mají měrnou spotřebu vody nižší (3-15 l/kg_{SP}) než pračky vsádkové (14-50 l/kg_{SP}). Tohoto je dosaženo pomocí recirkulace vody z máchání i lisování do předepírací a prací zóny [5].

Vnitřní buben tunelové pračky má modulovou konstrukci a jeho rotační, příp. oscilační pohyb zajišťuje přesun prádla skrz předepírací, prací a máchací zónu. Každá zóna se může skládat z několika komor oddělených dělicími stěnami děrovanými (protiproudý princip praní) nebo

neděrovanými (praní ve stojaté lázni). Tunelová pračka se obvykle používá ve spojení s vkládacími a přepravními zařízeními, odvodňovacími systémy (lisy, odstředivkami) a takto-
tovými sušičkami [6].

Požadované efektivitu při užívání těchto praček lze dosáhnout nejen optimalizovanou konstrukcí stroje z hlediska druhu pohybu bubnu, směru pohybu prádla vůči pohybu vody, užití výměníků tepla apod. Ale především vyškolením obsluhy stroje, protože samotné nerovnoměrné plnění způsobuje rozdíly v kvalitě vypraného prádla, možné zadrhnutí stroje, apod. [6][7]

Vsádková pračka

Pro prádelny o menší kapacitě nebo pro méně objemné dávky prádla, které vyžadují zvláštní prací podmínky, je vhodné užití vsádkových praček. Jejich kapacita se pohybuje od 7 do 250 kg_{SP}/cyklus. Délka pracího cyklu se pohybuje v rozmezí 30 až 100 min podle zvoleného pracího programu.

Vsádkové pračky se vyrábí v prokládacím nebo neprokládacím provedení. Prokládací provedení má oddělené plnění a vyprazdňování bubnu pračky. Prádlu tak nehrozí kontaminace, protože se dostává přímo do čisté zóny prádelny. Neprokládací provedení pračky umožňuje plnění pračky z boku nebo shora ručně či automaticky. Rozdíly se vyskytují i v konstrukci bubnu pračky. Důležité je zejména perforování stěn bubnu zvyšující mechanické účinky při rotaci [7].

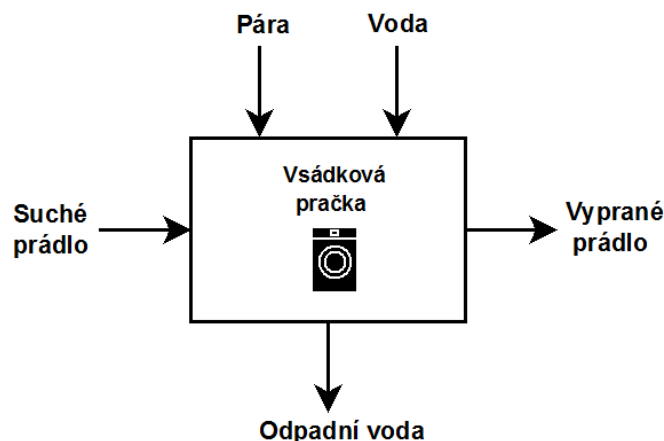
Prací cyklus vsádkové pračky se skládá z několika kroků. Na počátku každého kroku dochází k napuštění čisté vody, příp. detergentů do bubnu pračky. Následuje ohřev vodní lázně na teplotu dle nastavení pracího programu. Po uplynutí dané délky pracího kroku probíhá odstředění znečištěné vody, která je vypuštěna do odpadu. Podle skladby programu jsou takto probíhající kroky opakovány (s odlišnostmi v množství vody, detergentů, teploty lázně, rychlosti otáček bubnu i celkové délky každého kroku) do posledního kroku a ukončení cyklu. Prací program se volí podle materiálu prádla a míry a druhu jeho znečištění. Mezi kroky pracího cyklu se řadí předpírka, hlavní praní a máchání.



Obr. 1-3 Tunelová pračka X-Power, Accurate Technologies Europe BV (vlevo) [8],
vsádková pračka PW 6241 EL, Miele (vpravo) [9].

1.3 Bilanční model vsádkové pračky

Při analyzování energetické náročnosti kteréhokoli procesu je nasnadě vytvořit tzv. bilanční model. Ten zlepšuje orientaci v problematice spotřeb. Na obr. 1-4 je znázorněn model hmotnostní bilance, obr. 1-5 představuje model energetické bilance. Jde o výpočtový algoritmus, který sleduje systém z hlediska vstupů, výstupů, použitých energií a vzniklých odpadů, jejichž hodnoty lze určit měřením nebo výpočtem.



Obr. 1-4 Model hmotnostní bilance

Na zvoleném kontrolním objemu, v tomto případě v bubnu vsádkové pračky, se předpokládá konstantní celkový tok hmoty. Vstupní proudy se v následujících výpočetních vztazích uvažují jako kladné, výstupní proudy jako záporné. Pojem suché prádlo zahrnuje kromě samotného textilu i vlhkost vázanou v prádle (vzdušná vlhkost, vlhkost dodaná užitím). Vyprané prádlo potom slučuje suché prádlo a zbytkovou vlhkost (po odstředění). Z dat získaných při měření pracího cyklu jsou známy hmotnosti suchého i vypraného prádla, objem spotřebované vody a teplo dodané parou. Hmotnost vody se určí jednoduchým vynásobením objemu V_V [m³] hustotou ρ_V [kg/m³] (1.1).

$$m_V = V_V \cdot \rho_V \quad (1.1)$$

Teplo dodané parou během ohřevu lze převést na množství páry podle rovnice (1.2).

$$m_P = \frac{Q_P}{h_P} \quad (1.2)$$

Zde Q_P [kJ] je teplo dodané parou a h_P [kJ/kg] je měrná entalpie páry, pro 8 bar g je $h_P = 2774$ kJ/kg [10]. Dosud neznámé množství odpadní vody lze zjistit následným dosazením do rovnice hmotnostní bilance (1.3).

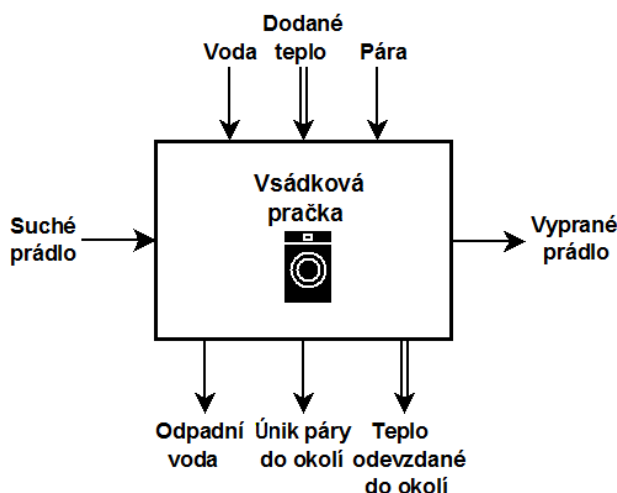
$$\sum_i m_i = 0 \quad (1.3)$$

Kde m_i je hmotnost proudu, i značí číslo proudu.

Při vytváření energetické bilance je model obsáhlejší kvůli více vstupům a výstupům. Výpočetní postup je ekvivalentní předchozímu, proudy je však třeba přepočítat na jimi dodané nebo odvedené teplo. Za předpokladu konstantního tlaku uvnitř systému lze k výpočtu tepla upravit druhou formu 1. zákona termodynamiky do tvaru (1.4), kde Q_i je teplo proudu, m_i je hmotnost proudu, h_i je měrná entalpie proudu, T_i je teplota proudu a T_0 je zvolená porovnávací teplota, pro zjednodušení je voleno $T_0 = 0$ °C. Vztah (1.5) je potom rovnicí energetické bilance.

$$Q_i = m_i \cdot h_i = m_i \cdot c_{pi} \cdot (T_i - T_0) \quad (1.4)$$

$$\sum_i Q_i = 0 \quad (1.5)$$



Obr. 1-5 Model energetické bilance

Příklad hmotnostní bilance pracího cyklu

K ověření rovnic pro výpočet hmotnostní bilance je proveden výpočet pro dva prací cykly s užitím dat o praní s parním ohřevem, které jsou zpracovávány v dalších kapitolách. Jde o prací cykly ze 17. 2. 2014 a 3. 11. 2014¹ provedené na pračce WEX1 s využitím programu č. 7. Ze známých hodnot spotřeb vody, páry, hmotností prádla před a po praní je rovnicí (1.3) určeno neznámé množství odpadní vody. Číselné hodnoty jsou uvedeny v tab. 1-1. Při určení hmotnosti vody byla použita tabulková hodnota hustoty vody $\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$ pro 20°C [10].

Tab. 1-1 Data zvolených cyklů a hodnoty použité v rovnici hmotnostní bilance

	Spotřeba vody [ℓ]	Teplo dodané parou [MJ]	Hmotnost suchého prádla [kg]	Hmotnost vypraného prádla [kg]
17. 2. 2014	338,2	51	24	36,7
3. 11. 2014	344,2	55	23,9	36

Hodnoty hmotností použité v rovnici hmotnostní bilance					Výsledek
	m_v [kg]	m_p [kg]	m_{sp} [kg]	m_{vp} [kg]	m_{ov} [kg]
17. 2. 2014	337,6	18,4	24	36,7	343,3
3. 11. 2014	343,6	19,8	23,9	36	351,3

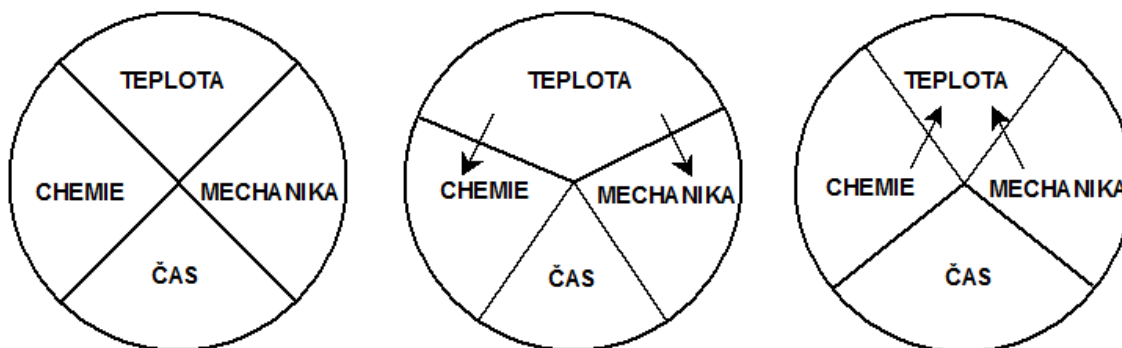
Po dosazení do rovnice hmotnostní bilance byla zjištěna hmotnost odpadní vody. Odpadní voda obsahuje nečistoty z prádla i zbytky detergentů, proto se bude její hustota lišit od hustoty čisté vody. Pro zjednodušení je ale k určení množství odpadní vody použita hustota čisté vody ($\rho = 998,2 \text{ kg/m}^3$). Výsledné množství odpadní vody je pro prací cyklus ze 17. 2. 2014 343,9 ℓ, pro praní z 3. 11. 2014 je to 351,9 ℓ.

¹ ID kód v aplikaci TRACE-TECH: 1:54-7 17/2/2014 13:04; 1:140-7 3/11/2014 9:56

1.4 Faktory ovlivňující prací proces

Čas, voda, prací chemie a mechanická práce tvoří základní faktory, které ovlivňují prací proces. Aby bylo dosaženo požadovaného odstranění nečistot, musí být tyto elementy ve správném poměru. Požadovaná teplota je zajišťována elektrickým ohřevem provedeným přímo pračkou nebo parním ohřevem (přívodem vysokotlaké páry do pračky). O efektivitě obou druhů ohřevů bude pojednáno dále. Za pojmem mechanická práce se skrývá rotační pohyb bubnu pračky, kdy je prádlo žebry v bubnu vynášeno vzhůru a následně padá zpět na dno bubnu, kde se stlačuje. Nastavení parametrů rotace bubnu (otáčky, úhel natočení) je otázkou výrobcem použité technologie. Prací chemie zajišťuje odstranění prachových částic, mastných nečistot a skvrn, přičemž dále plní i požadavky na bělost a hygienickou čistotu prádla. Správné složení použitých detergentů minimalizuje také chemické nebo mechanické poškození prádla. Mezi hlavní složky pracích prostředků patří povrchově aktivní činidla (mýdla, aniontová, neiontová), alkálie (uhličitan sodný, metasilikát sodný, hydroxid sodný, atd.), prostředky pro změkčování vody a další přísady (stabilizátory pěny, fluorescenční zjasňovací činidla, vonné látky, barviva aj.) [7]. Voda plní nejen funkci rozpouštědla nečistot, ale také dopravního prostředku prací chemie a transportu odepraných nečistot. Čas ovlivňuje samotný prací cyklus a jeho účinnost, ale určuje také celkovou produktivitu prádelny, která se podepisuje na ekonomice celého provozu.

Vliv každého faktoru lze do jisté míry nahradit zvýšeným vlivem ostatních faktorů – tuto interakci zachycuje tzv. Sinnerův diagram na obr. 1-6. Je patrné, že zvýšení teploty uvnitř pračky sníží spotřebu detergentů, mechanickou náročnost a v neposlední řadě délku praní. Naopak přidání více prací chemie, prodloužení délky praní a navýšení pohyblivosti prádla v bubnu pračky by mělo zaručit bezproblémovou aplikaci nižší teploty prací lázně.



Obr. 1-6 Sinnerův diagram s hlavními faktory pracího procesu [3]

Zmíněné faktory společně tvoří základ pracího programu. Výběr pracího programu potom primárně ovlivňuje celý prací proces. Volba vhodného programu je důležitým předpokladem pro kvalitní zpracování prádla. Výběr programu podmiňuje druh materiálu (např. maximální teplota lázně: bílá BA 95 °C, barevná BA 70 °C, PES 60 °C [3]), druh a míra znečištění (nečistoty přirozené – tuky, vosky, pigmentované nečistoty, rostlinné úlomky, nečistoty druhotné – zbytky jídel, mastící tuky a oleje, grafit, saze, chemikálie [4]) i dostupná prádelenská technika.

2 Sběr provozních dat

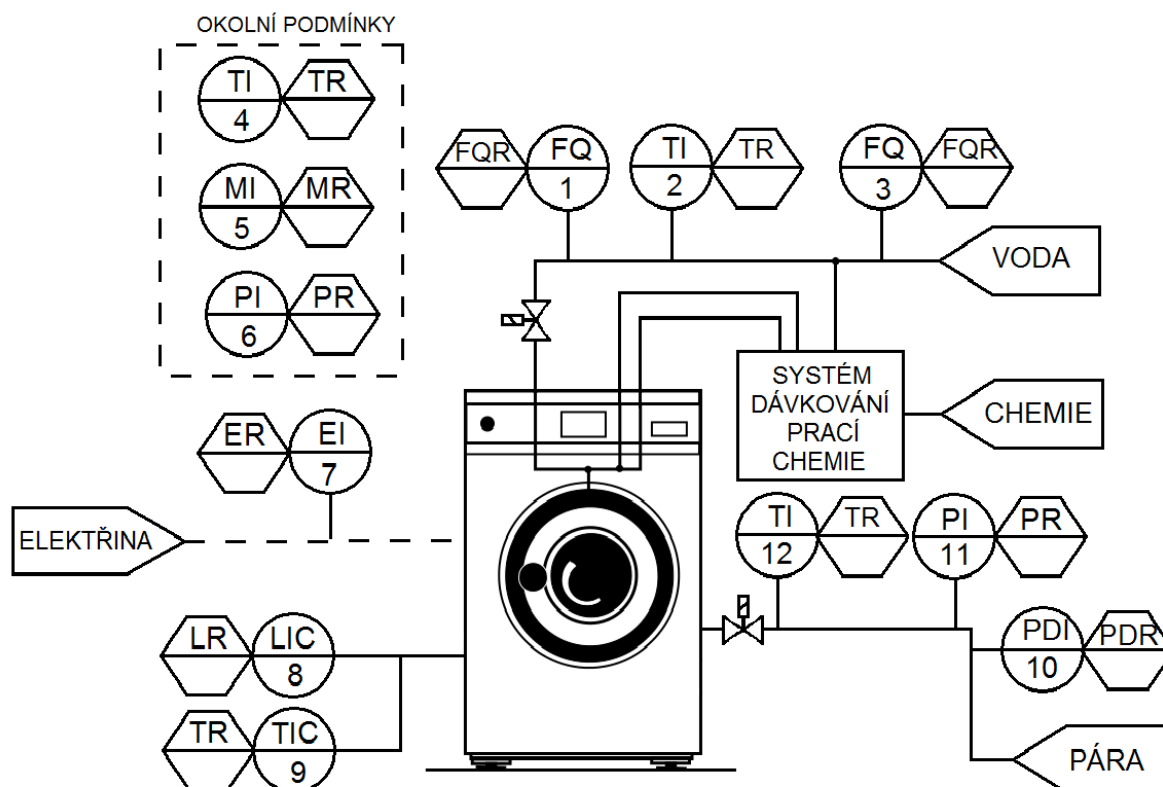
V již zmíněné Laboratoři energeticky náročných procesů (LENP) v rámci NETME Centre probíhá toho času pravidelně 1 až 2 dny v týdnu prádelenský provoz, který zpracovává prádlo z kuchyňského provozu Kolejí a menz VUT v Brně. Během doby jeho trvání jsou snímány provozní parametry strojního vybavení.

Měřicí instrumentace

LENP disponuje širokou základnou měřicí techniky. Obecně lze tato čidla rozdělit podle určovaných veličin:

- hmotnost (místková váha, plošinová váha, tenzometrické buňky v základnách strojů),
- teplota a vlhkost (prostorové teplotní čidlo, platinové teplotní čidlo, prostorové vlhkostní čidlo, vysokoteplotní vlhkostní čidlo),
- tlak (prostorové čidlo atmosférického tlaku, převodník diferenčního tlaku),
- průtok a rychlost proudění (indukční průtokoměr, Prandtlova trubice, clonová měřicí trať),
- vlastnosti elektrické sítě (analýzátor elektrické sítě),
- vodivost kapalin (vodivostní čidlo),
- deformace materiálu (tenzometr).

V následujícím schématu na obr. 2-1 je zjednodušeně znázorněn aktuálně využívaný soubor měřidel při provozu vsádkové pračky. Při tvorbě schématu byly jako informativní zdroje použity [3] a norma ČSN ISO 3511 – 4 [11]. Požadavky normy ovšem nebyly zcela dodrženy.



Obr. 2-1 Schéma měřidel instalovaných při vsádkové pračce

V tab. 2-1 je výčet pracích strojů v LENP. Následující tab. 2-2 obsahuje čidla a měřidla použitá při získávání dat k této práci a zobrazená v obr. 2-1.

Tab. 2-1 Základní parametry vsádkových praček v LENP

Model pračky	Kapacita bubnu* [kg _{SP}]	Objem bubnu [ℓ]	Druh ohřevu	Příkon el. ohřevu [kW]	G faktor při odstředění	Označení v laboratoři
Primus FX240 [12]	24	240	elektrický/parní	18	400	WEX1, WEX2
Primus FX180 [12]	18	180	elektrický/parní	18	400	WEX3, WEX4
Primus FX80 [13]	8	75	elektrický/parní	6	400	WEX5

* plnění 1:10

Tab. 2-2 Čidla a měřidla užitá pro měření pracího cyklu

Měřidlo	Číslo měřidla na obr. 2-1	Výrobce, model	Měřené veličiny	Měřicí rozsah	Přesnost
Analyzátor elektrické sítě [14]	7	SCHRACK, NA 96	napětí	80 až 500 V	±0,5 %
			proud	1 až 5 A	±0,5 %
			výkon		±1 %
			frekvence	47 až 63 Hz	±0,15 Hz
			účinník	0,5 ind - 0,5 cap	±1 %
Indukční průtokoměr [15]	1, 3	COMAC CAL, FLOW 33	průtok	1:60 (Qmin/Qmax)	±0,5 %
Čidlo atmosférického tlaku s převodníkem [16]	6	COMET, T 2114	tlak	600 až 1100 hPa	±1,3 hPa při 23 °C
Kombinované čidlo prostorové teploty a relativní vlhkosti s převodníkem [17]	4, 5	COMET, T 3110	teplota	-30 až +80 °C	±0,4 °C
			relativní vlhkost	0 až 100 %	±2,5 % při 23 °C
Platinové teplotní čidlo	2, 12		teplota		
Clonová měřicí trať [18]	10	JSP, CMT	průtok		
Snímač diferenčního tlaku [19]		SIEMENS, SITRANS P	diferenční tlak	2,5 až 250 mbar	
Snímač tlaku	11		tlak		

Hladina vody uvnitř pračky (8) a teplota lázně (9) jsou monitorovány čidly uvnitř pračky PRIMUS. Monitorování a ukládání dat získaných zmíněnou měřicí instrumentací se uskutečňuje přes měřicí ústřednu ProfiMessage (výrobce Delphin Technology AG). Záznam elektrického signálu probíhá s přesností 0,1 % [20].

3 Spotřeba energie a vody při elektrickém ohřevu

Vsádkové pračky používané v LENP jsou konstruovány pro využití parního i elektrického ohřevu. Elektrický ohřev je realizován topným tělesem umístěným uvnitř pračky. Při užití parního ohřevu je do bubnu pračky vpouštěna vysokotlaká pára, která se míchá s vodní lázní. Ostatní úkony pračky jsou však stále zajišťovány elektrickou energií. Elektrický ohřev prací lázně není v profesionálních prádelnách příliš rozšířen. Důvodem je nízká rychlost vytápění na požadovanou teplotu i rostoucí ceny energií. Ostatně další vybavení prádelny (sušička, kalandr, tunel finišer) také využívá při svých úkonech páru, proto je její užití vztaženo i na ohřev prací lázní. Elektrický ohřev se tak stává pouze výjimečnou záležitostí.

3.1 Průběh měření

Vzhledem k většinovému podílu parního ohřevu při dosavadním praní a tedy i v získaných datech, byly v březnu a v dubnu 2015 provedeny 3 prací cykly s využitím elektrického ohřevu. Aby bylo dosaženo srovnatelných podmínek měření pro další porovnání s archivními daty (parní ohřev), byla k tomuto účelu vybrána pračka WEX2. Ta je konstrukčně totožná s pračkou WEX1 (Primus FX240), která figuruje při praní s parním ohřevem. Dále byl vybrán prací program č. 7 (KUCHYNĚ 60 °C + 90 °C) pro 24 kg bílého bavlněného prádla.

Při měření byly postupně zaznamenány informace o dané dávce prádla (druh prádla, označení dávky prádla, hmotnost dávky suchého a vypraného prádla, použitý prací program, informace o příslušné pračce, čas začátku a konce pracího cyklu). Dále byly zjištěny podmínky v laboratoři během měření a samotné údaje o spotřebách vody a elektřiny. Tab. 3-1 obsahuje souhrn získaných hodnot. Kompletní záznamy z těchto cyklů jsou uvedeny v přílohách [P1], [P2], [P3].

Tab. 3-1 Data z měření pracích cyklů s elektrickým ohřevem

Datum měření	30. 3. 2015	7. 4. 2015	13. 4. 2015
ID kód (dle aplikace TraceTech)	2:99-7 30/3/2015 9:22	2:100-7 7/4/2015 9:09	2:102-7 13/4/2015 9:01
Hmotnost suchého prádla	24,0 kg _{SP}	24,0 kg _{SP}	24,0 kg _{SP}
Celková spotřeba vody	373,2 l	365,5 l	369,7 l
Měrná spotřeba vody	15,55 l/kg _{SP}	15,23 l/kg _{SP}	15,40 l/kg _{SP}
Celková spotřeba elektrické energie	13,40 kWh	12,70 kWh	13,00 kWh
Měrná spotřeba elektrické energie	0,56 kWh/kg _{SP}	0,53 kWh/kg _{SP}	0,54 kWh/kg _{SP}
Doba praní	119,5 min	117,7 min	116,7 min

3.2 Vyhodnocení získaných dat

S ohledem na malý počet pracích cyklů s elektrickým ohřevem lze hodnoty měrných energií určených k porovnání s daty naměřenými při praní s parním ohřevem stanovit jako aritmetický průměr. Aritmetický průměr (3.1) spolu s modem a mediánem (3.2 a 3.3) se řadí mezi tzv. míry centrální tendence. Vhodnost užití aritmetického průměru jako rozměrové charakteristiky potvrzují nebo vyvrací hodnoty rozptylu (3.4) a směrodatné odchylky (3.5) – míry rozptýlenosti. Výsledky jsou pak zapsány v tab. 3-2. Definice výpočtu a užití těchto statistických prostředků i další použitých v následující kapitole jsou uvedeny v [21].

$$\bar{x} = \frac{\sum x_j}{n} \quad (3.1)$$

$$Me = x_{(n+1)/2} \quad (3.2)$$

$$Me = 0,5 \cdot (x_{n/2} + x_{n/2+1}) \quad (3.3)$$

$$s^2 = \frac{\sum (x_j - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.4)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (3.5)$$

Tab. 3-2 Míry centrální tendence a míry rozptýlenosti měrných spotřeb při elektrickém ohřevu

	Měrná spotřeba vody [l/kg _{SP}]	Měrná spotřeba el. energie [kWh/kg _{SP}]
Počet hodnot (n)	3	3
Aritmetický průměr ($\bar{x}$)	15,4	0,543
Medián (Me)	15,4	0,542
Rozptyl (s^2)	0,0258	0,0002
Směrodatná odchylka (s)	0,1606	0,0146

Rozptyl a směrodatná odchylka udávají míru rozptýlenosti dat kolem aritmetického průměru. Číselné hodnoty těchto měr rozptýlenosti jsou velmi malé, z čehož vyplývá, že naměřená data se nijak výrazně neliší a neobsahují žádné extrémy, které by výrazně měnily velikost střední hodnoty. Také blízká hodnota mediánů k průměru naznačuje správnost výběru charakteristiky polohy. Aritmetické průměry obou měrných spotřeb tak mohou být považovány za vhodné a vypovídající. Dále byla stanovena průměrná délka pracího cyklu také jako hodnota aritmetického průměru.

Konečné výsledky měření pracího cyklu s elektrickým ohřevem tedy určily měrnou spotřebu elektrické energie k ohřevu i pohonu pračky jako 0,543 kWh/kg_{SP}, měrná spotřeba vody odpovídá 15,4 l/kg_{SP}, průměrná délka pracího cyklu je 118,0 min. Tato data budou posléze v kapitole 5 přepočítána na cenu odpovídající vyprání 1 kg_{SP}, respektive na náklady 1 pracího cyklu.

4 Spotřeba energie a vody při parním ohřevu

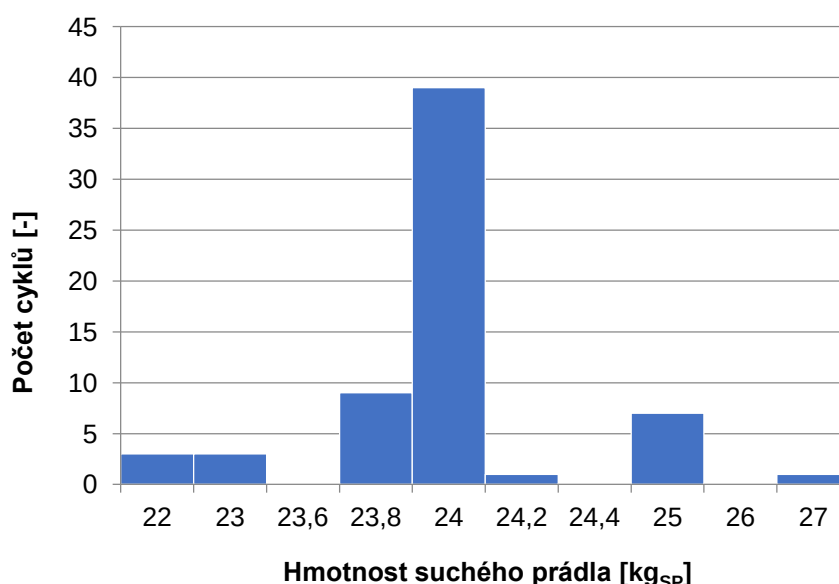
K vyhodnocení spotřeby energií a vody při parním ohřevu byla autorce poskytnuta provozní data za období únor – listopad 2014.

4.1 Statistika archivních dat

Celkem se jedná o 190 zaznamenaných pracích cyklů zpracovaných v programu Excel. Tato praní probíhala na všech pěti pračkách v LENP s užitím obou typů ohřevů při obsahově odlišných dávkách prádla. Na pračce WEX1 proběhlo 79 pracích cyklů, pračka WEX2 zaznamenala 14 pracích cyklů, WEX3 33 pracích cyklů, WEX4 23 pracích cyklů a WEX5 41 pracích cyklů. Nejčastěji byl využit program č. 7 a to při 109 praních. S parním ohřevem bylo provedeno 162 praní, s elektrickým 28. Tato kapitola se však zaměřuje pouze na zpracování dat z praní při využití parního ohřevu.

Vzhledem k množství dat s odlišnými pracími podmínkami byly k dalšímu zpracování vybrány již zmíněné pračky WEX1, WEX2 s pracím programem č. 7 a nákladkou 24 kg bavlněného prádla. Po eliminaci cyklů s ohlášenou chybou nebo chybějícími daty o množství páry zbylo k dalšímu porovnání 63 záznamů. Ty byly dále rozděleny do dvou skupin kvůli změně nastavení programu č. 7 v průběhu letní odstávky v roce 2014.

Program číslo 7 se skládá z předpírky na 60 °C, hlavního praní na 90 °C, bělení na 60 °C, a tří kroků máchání, přičemž v posledním máchání probíhá neutralizace. Původně trvalo každé praní 15 min, máchání jednotlivě 4 min, 4 min a 6 min. Změna v polovině roku se dotkla jen doby praní, kde došlo ke zkrácení každého kroku na 10 min. Celkově se tak prací cyklus zkrátil o 15 min. Nejde o příliš velkou změnu pracích podmínek ani s ohledem na spotřebu, přesto je nutné ji zohlednit. V následujícím srovnání proto figuruje 49 cyklů z první poloviny roku 2014 a 14 cyklů z druhé poloviny téhož roku.



Obr. 4-1 Histogram plnění praček WEX1 a WEX2

Nominální kapacita vybraných praček dosahuje 24 kg_{SP} při plnění 1:10. V reálném provozu není snadné dodržet nákladku každého praní o přesné hodnotě 24 kg_{SP}, proto se v záznamech vyskytují nenaplněné nebo přeplněné dávky. Jelikož hmotnost dávky prádla není

ovlivněna délkou pracího programu, je její zpracování provedeno na všech 63 pracích cyklech s parním ohřevem. Četnost těchto cyklů je znázorněna na obr. 4-1. Nejčastější hmotností nabládky suchého prádla je 24,0 kg_{SP} s výskytem v 39 případech. Kvůli rozdílnosti hmotností nabládek jsou nutné přepočty spotřeb energií a vody na měrné hodnoty, s nimiž bude dále pracováno. Pro potřeby posouzení celého pracího cyklu, budou dané hodnoty vztaženy na 24 kg_{SP}.

U obou skupin dat bylo k dalšímu porovnání třeba určit měrnou spotřebu páry, měrnou spotřebu vody a měrnou spotřebu elektrické energie. Spotřeba páry byla stanovena rozdílem psaných záznamů stavu páry ze snímače diferenčního tlaku na začátku a na konci cyklu. Ke stanovení měrné spotřeby byla tato hodnota následně podělena hmotností suchého prádla daného cyklu. Množství vody a elektřiny bylo odečteno ze záznamů v aplikaci ProfiSignal v laboratoři a poté rovněž převedeno na měrnou spotřebu. Přepočítané hodnoty byly zpracovány do tabulek četností a histogramů, které jsou uvedeny dále. Počet intervalů byl volen dle vztahu (4.1):

$$r = \sqrt{n} \quad (4.1)$$

Následně bylo zapotřebí určit míry centrální tendence i míry rozptýlenosti. Vzorce pro výpočet těchto charakteristik byly prezentovány v předchozí kapitole.

4.2 Data z 1. poloviny roku 2014

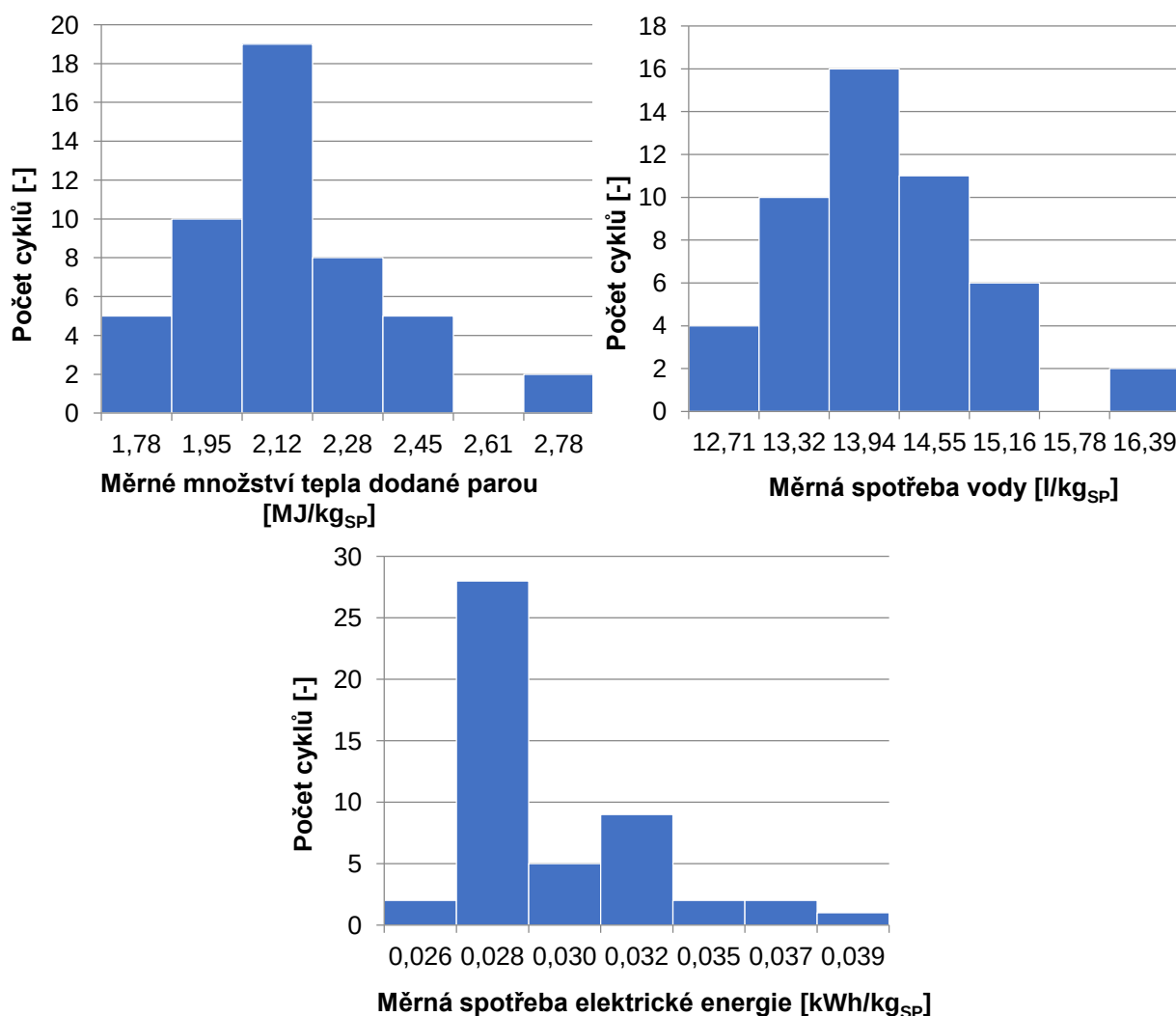
Z 1. poloviny roku 2014 bylo vybráno 49 cyklů. Na obr. 4-2 jsou znázorněny histogramy měrných spotřeb páry, vody a elektrické energie. Výše zmíněné statistické parametry jsou uvedeny v tab. 4-1.

Tab. 4-1 Míry centrální tendence a míry rozptýlenosti pro data z 1. poloviny roku 2014

	Měrné množství tepla dodané parou [MJ/kg _{SP}]	Měrná spotřeba vody [l/kg _{SP}]	Měrná spotřeba el. energie [kWh/kg _{SP}]
Počet hodnot (n)	49	49	49
Aritmetický průměr ($\bar{x}$)	2,126	14,13	0,030
Modus (Mo)	2,125	13,60	0,029
Medián (Me)	2,116	14,00	0,029
Rozptyl (s^2)	0,0497	0,6522	8,0.10 ⁻⁶
Směrodatná odchylka (s)	0,2229	0,8076	0,0028

Měrné množství tepla dodané parou, resp. měrná spotřeba páry 2,126 MJ/kg_{SP} odpovídá aritmetickému průměru, jehož příhodnost dokazuje blízkost s velikostmi modu a mediánu i nízká hodnota směrodatné odchylky. Také z grafu si lze povšimnout blízkosti převažující většiny naměřených měrných spotřeb k vypočítanému průměru. V příloze [P4] jsou uvedeny grafické testy normality pro hodnoty měrných spotřeb v tomto i dalším zpracovávaném období. Z tohoto posouzení vyplývá, že data o měrné spotřebě páry vykazují normální rozdělení, což potvrzuje vhodnost užití aritmetického průměru v dalším zpracování. Ze stejných důvodů je jako konečná měrná spotřeba vody vybrána hodnota aritmetického průměru, která činí 14,13 l/kg_{SP}.

Elektrická energie v této kapitole vystupuje jako zdroj energie pro pohon pračky. Bohužel analyzátor elektrické sítě zaznamenává spotřebu elektrické energie s rozlišením pouze 0,1 kWh. Získaná data jsou proto zatížena podstatnou chybou. Přesto by bylo nevhodné, aby byla tato spotřeba v určování energetické náročnosti pracího cyklu opomenuta. V tomto případě je kvůli odklonu od normálního rozdělení volen medián jako výsledná porovnávací hodnota. Jeho velikost je 0,029 kWh/kg_{SP}.



Obr. 4-2 Histogramy měrných spotřeb páry, vody a elektrické energie za 1. polovinu roku 2014

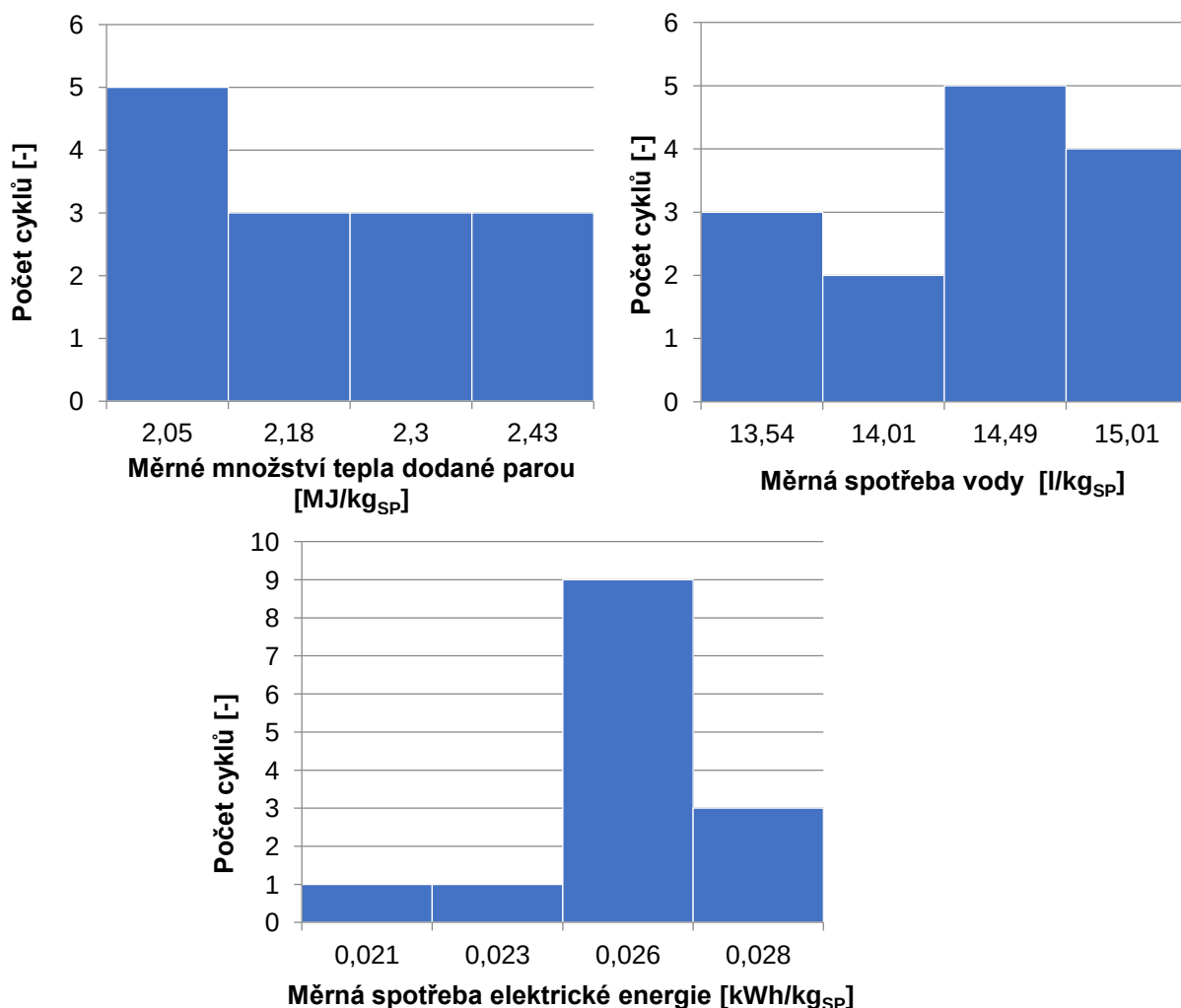
4.3 Data z 2. poloviny roku 2014

Ve 2. polovině roku 2014 bylo provedeno celkem 20 prání odpovídajících zvoleným kritériím. U šesti cyklů však chyběla data o spotřebě páry, proto byla z dalšího vyhodnocování vyřazena. Zbýlých 14 pracích cyklů je zpracováno stejně jako data z předchozího období. V níže uvedené tab. 4-2 jsou každé skupině měrných spotřeb přiřazeny vypočítané statistické charakteristiky, na jejichž základě byly vybrány porovnávací hodnoty spotřeb. Na obr. 4-3 jsou znázorněny histogramy příslušných měrných spotřeb. Ty však kvůli nízkému počtu dat neposkytují vypovídající obraz o charakteru rozdělení. Pro zhodnocení, zda se jedná o normální rozdělení, jsou v příloze [P4] uvedeny grafické testy normality.

Grafy v příloze potvrzují chování normálního rozdělení u měrných spotřeb páry a vody. Proto jsou dále voleny jejich aritmetické průměry. Měrná spotřeba páry je tedy 2,213 MJ/kg_{SP}, měrná spotřeba vody odpovídá 14,37 l/kg_{SP}. U měrné spotřeby elektrické energie dochází k výraznému odklonu od normálního rozdělení. Dále je proto využita hodnota mediánu a měrná spotřeba elektrické energie pro data z 2. pol. roku 2014 je tedy 0,025 kWh/kg_{SP}.

Tab. 4-2 Míry centrální tendence a míry rozptýlenosti pro data z 2. poloviny roku 2014

	Měrné množství tepla dodané parou [MJ/kg _{SP}]	Měrná spotřeba vody [l/kg _{SP}]	Měrná spotřeba el. energie [kWh/kg _{SP}]
Počet hodnot (n)	14	14	14
Aritmetický průměr ($\bar{x}$)	2,213	14,37	0,025
Modus (Mo)	2,033	14,40	0,025
Medián (Me)	2,199	14,40	0,025
Rozptyl (s^2)	0,0260	0,3945	$5,9 \cdot 10^{-6}$
Směrodatná odchylka (s)	0,1613	0,6281	0,0024



Obr. 4-3 Histogramy měrných spotřeb páry, vody a elektrické energie za 2. polovinu roku 2014

4.4 Diskuze výsledků

Na závěr této kapitoly je v tab. 4-3 zobrazen souhrn stanovených měrných spotřeb. Ze zjištěných údajů je zřejmé, že se změna délky programu projevila ve zkrácení průměrné doby praní o 15,27 min a poklesu spotřeby elektrické energie na pohon pračky o 0,004 kWh/kg_{SP}. Tento závěr je však zatížen chybou způsobenou rozdílným množstvím porovnávaných dat. Při obsáhlejší souboru dat z druhé poloviny roku, by se spotřeba vody a páry mohla změnit.

Z histogramů spotřeb je však vidět také rozdílnost extrémních hodnot měrných spotřeb. Původcem těchto výkyvů může být skladba dávky prádla (košile, kalhoty, pláště, ručníky, ubrusy), jehož nízká savost může zvyšovat spotřebu vody a tím navyšovat i množství páry potřebné k ohřátí na požadovanou teplotu prací lázně. Z dostupných záznamů obsahu jednotlivých dávek je patrný pokles spotřeby vody i páry při přítomnosti plášťů ve vsádce. Naopak nárůst spotřeby vody je znatelný u praní ručníků, což ale nekoresponduje s uvedenou úvahou. Informace o složení dávky ovšem nejsou úplné a nelze je ověřit.

Tab. 4-3 Výsledné spotřeby pracího procesu s parním ohřevem

Hmotnost suchého prádla	24 kg _{SP}	
Průměrná délka pracího cyklu	99,9 min	84,6 min
Měrná spotřeba vody	14,13 l/kg _{SP}	14,37 l/kg _{SP}
Měrné množství tepla dodané parou	2,126 MJ/kg _{SP}	2,213 MJ/kg _{SP}
	0,591 kWh/kg _{SP}	0,615 kWh/kg _{SP}
Měrná spotřeba elektrické energie	0,029 kWh/kg _{SP}	0,025 kWh/kg _{SP}
	1. polovina roku 2014	2. polovina roku 2014

V tab. 4-3 je uveden také přepočet měrného množství tepla dodaného parou na kWh/kg_{SP}. Z něj je patrná vyšší spotřeba energie u obou parních ohřevů, než je tomu u ohřevu elektrického (0,54 kWh/kg_{SP}). Na výsledcích se mohla projevit chyba měření vzniklá v datech z clonové měřicí tratě. Ta je koncipována pro plynulý průtok média, zatímco pračka napouští páru „skokově“. Náhlé rozdíly v průtoku páry tak mohou vést ke zkreslení informací o spotřebě páry.

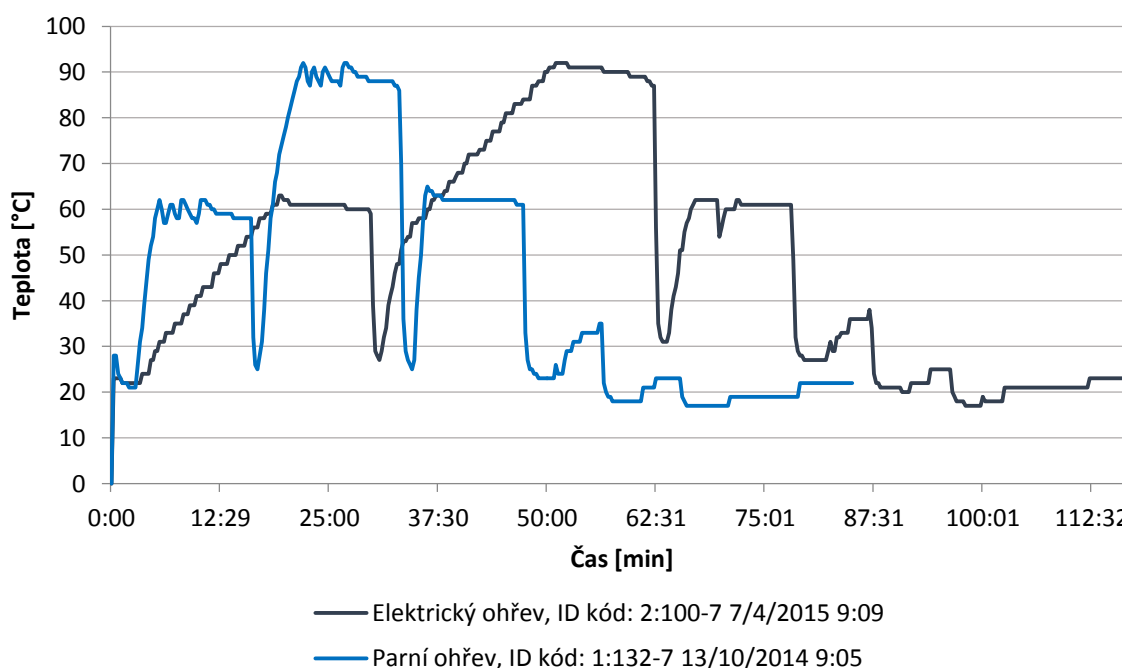
5 Ekonomika pracího procesu

Následující text pojednává, jak už název kapitoly naznačuje, o ekonomické stránce pracího procesu. Nejedná se o sestavení úplného cenového zhodnocení, které by zahrnovalo podíl na platech zaměstnanců, nákladech spojených s údržbou nebo s úpravou vody. Tyto informace včetně cen energií a vody nebyly autorce poskytnuty. Také dojde k porovnání rychlostí vytopení prací lázně na požadované teploty z hlediska typu ohřevu.

5.1 Délka pracího cyklu s ohledem na typ ohřevu

Pro zhodnocení produktivity prádelny z hlediska pracího cyklu byly stanoveny průměrné délky cyklů – 118,0 min (elektrický ohřev), 99,9 min (parní ohřev v 1. pol. r. 2014), 84,6 min (parní ohřev 2. pol. r. 2014). Při uvážení jednosměnného osmihodinového provozu prádelny lze podle těchto údajů prakticky realizovat 4 prací cykly s elektrickým ohřevem, 4 prací cykly s parním ohřevem při původním nastavení nebo 5 pracích cyklů s parním ohřevem po změně programu. V provozu však musí být vyprané prádlo také usušeno, proto bude skutečný počet provedených pracích cyklů za směnu nižší. Přesto lze říci, že zkrácení kroků praní v programu č. 7 potenciálně zvýšilo produktivitu pracího procesu o 1 dávku (24 kg_{SP}) v případě parního ohřevu.

Je třeba ale zjistit, jak velký vliv na délku pracího cyklu má typ ohřevu. Na následujícím obr. 5-1 jsou znázorněny teploty prací lázně během cyklu. Pro porovnání byly vybrány cykly se stejným nastavením pracího programu a délkou pracího cyklu blízkou zjištěným průměrným hodnotám. Prací cyklus s elektrickým ohřevem trval 117,7 min, u parního ohřevu trvalo praní 83,4 min. V průběžích ohřevů si lze všimnout delšího náběhu na požadovanou teplotu v prvních třech krocích (60 °C, 90 °C, 60 °C) u pracího cyklu s elektrickým ohřevem než je tomu u ohřevu parního. Následující 3 kroky máchání už nevyužívají ohřevu a nárůst teploty viditelný v grafu lze připsat zbytkovému teplu uvnitř pračky a uvnitř prádla.



Obr. 5-1 Graf ohřevu lázně parou a elektřinou

Z dat těchto prání byly zjištěny přesné délky trvání výhřevu na jednotlivé teploty, jejich hodnoty jsou zpracovány v tab. 5-1. Celkový rozdíl délky obou cyklů je 34,3 min. Z uvedeného času připadá 24,75 min na pomalejší ohřev lázně v prvních třech krocích při elektrickém ohřevu. Časy setrvání při dané teplotě i zbylé kroky se potom liší o 9,55 min. Lze tedy konstatovat, že prání s elektrickým ohřevem prodlužuje délku pracího cyklu ze 72,2 % kvůli delšímu výhřevu vodní lázně.

Tab. 5-1 Délky trvání ohřevu na dané teploty pro elektrický a parní ohřev

	Délka výhřevu [min:s] na danou teplotu pro:		
	krok 1	krok 2	krok 3
Elektrický ohřev	16:00	20:15	3:15
Parní ohřev	2:45	10:15	1:45

5.2 Odhad cen energií a vody

Finanční zhodnocení pracího cyklu v sobě zahrnuje určení ceny měrné spotřeby energií a vody pro daný typ ohřevu a přepočet výše ceny pro 1 prací cyklus, tedy pro 24 kg_{SP}. Ceny energií a vody uvedené dále byly zjištěny z podkladů na internetových stránkách dodavatelů. Tyto ceny byly zjišťovány pro podnikatele, jsou tedy udány bez DPH.

Cena elektřiny sestává z plateb za dodávku silové energie, distribuci elektřiny, ostatní služby a liší se podle nastavené distribuční sazby. Z ceníku elektřiny v kategorii podnikatelé od společnosti RWE byla přibližně určena cena pro distribuční sazbu C26d [22]:

- cena za nízký tarif: 1752,28 Kč/MWh
- cena za vysoký tarif: 3208,40 Kč/MWh
- měsíční platba: 3986,00 Kč/měsíc

Nízký tarif má pro zvolenou distribuční sazbu platnost po dobu 8 hodin. Je však otázkou, zda prádelna bude v tomto čase v provozu, proto je dále kladen vyšší důraz na výsledky založené na ceně vysokého tarifu. Dále je z výpočtu vyloučen podíl měsíční platby, s ohledem na spotřeby prádelny, které nesestávají jen ze spotřeb 1 pracího cyklu. Do ceny elektřiny pro prací cyklus jej lze promítnout po stanovení spotřeby el. energie prádelny za celý měsíc, tedy po přepočtu na cenu za 1 MWh. To ale data poskytnutá ke zpracování této práce neumožňují.

Teplárny Brno, a.s. uvádějí cenu tepla pro topnou sezónu 2014/2015 [23]:

- primární připojení: 488,30 Kč/GJ

Cena vody z distribuce Brněnských vod a kanalizací, a.s. jsou uvedeny na webových stránkách včetně DPH [24]. Po odečtení 14% DPH jsou ceny vody následující:

- vodné: 31,05 Kč/m³
- stočné: 32,99 Kč/m³
- celkem: 64,04 Kč/m³

Tab. 5-2 Ceny energií a vody použité při finančním zhodnocení pracích cyklů

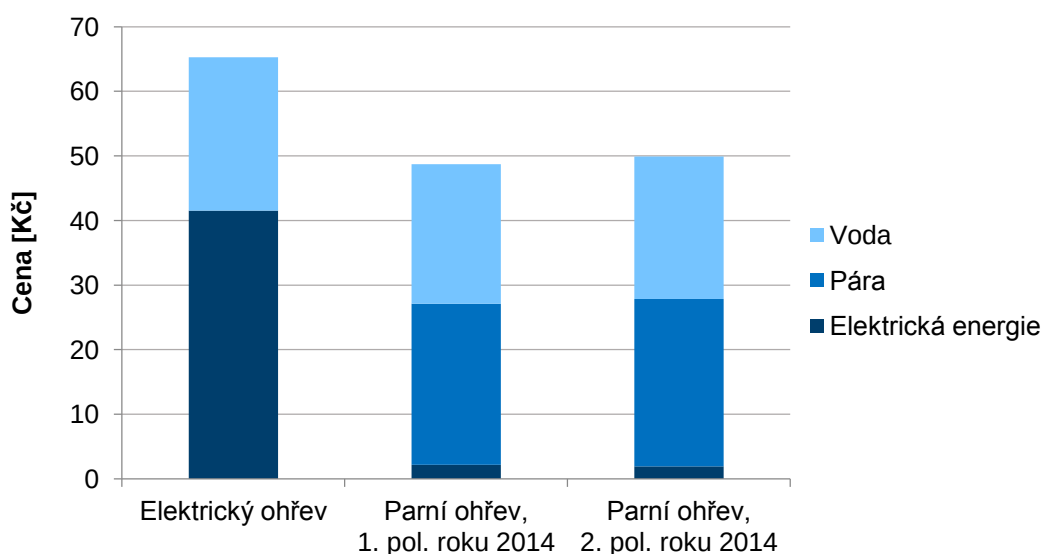
Elektrická energie	3208,4 Kč/MWh
Teplo/topná pára	488,3 Kč/GJ
Voda	64,04 Kč/m ³

Při výpočtu cen pro prací cykly s elektrickým a parním ohřevem byly využity ceny uvedené v tab. 5-2.

Pro prací cyklus s elektrickým ohřevem vychází z uvedených cen a určených měrných spotřeb celková cena 2,72 Kč/kg_{SP}, tedy 65,28 Kč pro 24 kg_{SP} při provozu za vysokého tarifu. Při provozu s nízkým tarifem je cena 1,94 Kč/kg_{SP}, respektive 46,56 Kč pro 24 kg_{SP}.

Prací cyklus s parním ohřevem pro data z 1. zkoumaného období vychází cenově na 2,03 Kč/kg_{SP}, 48,72 Kč pro 24 kg_{SP}. Za provozu pračky v době odběru elektrické energie za nízkého tarifu je cena snížena na 1,99 Kč/kg_{SP}, případně 47,76 Kč pro 24 kg_{SP}.

Prací cyklus s parním ohřevem vyhodnocený pro 2. období roku 2014 vykazuje cenu 2,08 Kč/kg_{SP} nebo 49,92 Kč za 24 kg_{SP} a stejně jako v předchozím případě při dodávce levnější el. energie se cena sníží na 2,04 Kč/kg_{SP}, tudíž pro 24 kg_{SP} odpovídá 48,96 Kč.



Obr. 5-2 Složení ceny pracích cyklů

Při pohledu na obr. 5-2 je zřejmé, že elektrický ohřev je finančně náročnější o zhruba 23,5 % oproti praní s parním ohřevem, při stejném nastavení pracího programu. U srovnání cyklů s parními ohřevy lze vidět nižší náklady při delším pracím cyklu v 1. polovině roku 2014, to je však podmíněno nižší spotřebou okomentovanou v předchozí kapitole. Kratší cyklus sice vykazuje vyšší náklady o 0,96 Kč, ale také může být zopakován teoreticky až 5 krát, kdežto praní s delším programem „jen“ 4 krát. Prádelna tak může za den zpracovat větší množství prádla a cenové znevýhodnění pracího cyklu s parním ohřevem za upraveného pracího programu se tím eliminuje. Tyto závěry však nelze brát jako stoprocentní, protože ceny energií, s nimiž je kalkulováno, jsou pouze ilustrativní a mohou se výrazně lišit podle smluvních podmínek dané prádelny. Zejména cena elektřiny bude jiná pro podnik využívající ji jen k pohonům strojů a jiná pro podnik užívající elektřinu k vytápění.

Závěr

Proces profesní údržby prádla je opomíjeným tématem v oblasti odborných publikací a článků. Navzdory tomu jde o oblast vhodnou ke studiu v rámci výzkumu energeticky náročných procesů. V prostorách NETME Centre proto vznikla laboratoř monitorující provoz profesionální prádelny. Klíčovou operací procesu údržby prádla je nesporně praní. Jeho krátká specifikace byla provedena v 1. kapitole této práce a poukazovala na strojní vybavení, vlivy na prací proces i jeho jednoduchý bilanční model.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zpracovat data o pracích cyklech uskutečněných v období únor – listopad 2014 v LENP. Tyto údaje byly zjištěny pomocí měřicí instrumentace a zaznamenány vícekanálovou měřicí ústřednou. Doplnující informace byly zaznamenány na tabuli v laboratoři a archivovány v podobě fotografií. Získaná data obsahovala informace o dávkách prádla, spotřebách užitých energií a vody, stavu praček atd. Po rozhodnutí o vhodných parametrech pro filtraci dat k dalšímu zpracování (viz kapitola 4) bylo vybráno 63 pracích cyklů uskutečněných při parním ohřevu. Skupina zvolených pracích cyklů byla dále rozdělena kvůli změně v nastavení pracího programu. Vyhodnocení spotřeb se tak provádělo na skupině dat z 1. poloviny roku 2014 a na datech z 2. poloviny téhož roku. Společně s těmito pracími cykly, byly v březnu a dubnu 2015 provedeny ještě 3 praní, při kterých bylo využito elektrického ohřevu, a mohly tak posloužit k následnému porovnání výsledků mezi oběma typy ohřevů.

Dalším krokem bylo určit hodnoty spotřeb vypovídající o dané skupině cyklů. K tomuto účelu byly spotřeby převedeny na měrné hodnoty (kvůli rozdílným množstvím praného prádla) a následně byly statisticky zpracovány. Výsledky jsou následující:

- prací cykly s elektrickým ohřevem
 - měrná spotřeba elektrické energie 0,543 kWh/kg_{SP}
 - měrná spotřeba vody 15,40 l/kg_{SP}
- prací cykly s parním ohřevem v 1. pol. roku 2014
 - měrná spotřeba páry (tepla v páře) 2,126 MJ/kg_{SP} (0,591 kWh/kg_{SP})
 - měrná spotřeba elektrické energie 0,030 kWh/kg_{SP}
 - měrná spotřeba vody 14,13 l/kg_{SP}
- prací cykly s parním ohřevem v 2. pol. roku 2014
 - měrná spotřeba páry (tepla v páře) 2,213 MJ/kg_{SP} (0,615 kWh/kg_{SP})
 - měrná spotřeba elektrické energie 0,025 kWh/kg_{SP}
 - měrná spotřeba vody 14,37 l/kg_{SP}

Pro názornější porovnání určených spotřeb proběhlo jejich finanční zhodnocení na základě dostupných ceníků dodavatelů energií. Dále byly porovnány délky pracích cyklů a rychlosti ohřevů pracích lázní. Z obou srovnání vychází jako efektivnější parní typ ohřevu. Náklady na vyprání 1 dávky prádla jsou v případě parního ohřevu s novým nastavením délky cyklu o 23,5 % nižší než při užití elektrického ohřevu a dochází také k 28,3% úspoře času.

Seznam použité literatury

- [1] LUKÁČ, P., B. RŮŽIČKOVÁ, R. ZELENKA. *Energy outlook 2013*. Economia a. s. 2013. 45s. Online [cit. 15. 4. 2015] dostupné z <http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdela-vani.html>
- [2] NETME Centre. *Centrum nových technologií pro strojírenství*. Vysoké učení technické v Brně. Online [cit. 30. 3. 2015] dostupné z: <http://www.netme.cz>
- [3] BOBÁK, P. *Snížování energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, 2014. 95 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
- [4] *Oborová informační příručka – obor praní, žehlení, opravy a údržba prádla, bytového textilu a osobního zboží*. Asociace prádel a čistíren ČR. Online [cit. 30. 3. 2015] dostupné z: <http://www.apac.cz/zaklady-podnikani/prani-pradla>
- [5] KŠENZULIAK, V. *Úspory vody a energie na prádelnách podle fyzikálních, nikoliv marketingových zákonů*. Procter & Gamble Professional. Online [cit. 9. 4. 2015] dostupné z: <http://pgprof.info/Publikace.html>
- [6] TŮMA, Z. *Model moderní komerční prádelny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, 2009. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [7] *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách*. Online [cit. 9. 4. 2015] dostupné z: <http://www.laundry-sustainability.eu/cz/>
- [8] *X-Power Tunnel Washer*. Accurate Technologies Europe BV. Online [cit. 11. 5. 2015] dostupné z: <http://www accurateteurope.com/product/category/cbw/language/gb>
- [9] *PW 6241 EL*. Miele. Online [cit. 11. 5. 2015] dostupné z: <http://www.miele-professional.co.uk/washing-machines/pw6241-152/>
- [10] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [11] ČSN ISO 3511-4: *Měření, řízení a přístrojové vybavení technologických procesů - Schematické zobrazování - Část 4: Základní značky pro řízení procesů počítačem, rozhraní a sdílené zobrazovací a řídicí funkce*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 16 s.
- [12] *Vysoce úsporné, odpružené pračky FX180, FX240, FX280*. Technické specifikace produktů. Primus CE, 2014. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/washer-extractors/fx-line/>
- [13] *Vysoce úsporné, odpružené pračky FX65, FX80, FX105, FX135*. Technické specifikace produktů. Primus CE, 2014. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/washer-extractors/fx-line/>
- [14] *Analýzátor elektrické sítě NA 96*. Katalogový list. Schrack Technic. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://www.schrack.cz>
- [15] *Flow 33, industrial flow meter*. Katalogový list. Comac cal s.r.o. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://comacal.cz/produkty>
- [16] *T2114 Snímač atmosférického tlaku s výstupem 4-20mA*. Katalog. Comet Systém, s.r.o. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://www.cometsystem.cz>

- [17] *T3110 Snímač teploty a vlhkosti s výstupem 4-20mA*. Katalog. Comet Systém, s.r.o. Online [cit. 5. 5. 2015] dostupné z: <http://www.cometsystem.cz>
- [18] *CMT-K, CMT-B, Clonová měřicí trať s koutovými odběry*. Informační list. JSP, s.r.o. Online [cit. 10. 5. 2015] dostupné z: <http://www.jsp.cz/cz/>
- [19] *SITRANS P, Series DSIII Transmitters for Pressure, Differential Pressure, Flanged Level, and Absolute Pressure Model 7MF4*33-*. Manuál. Siemens AG. Online [cit. 10. 5. 2015] dostupné z: <http://www.lesman.com/unleashd/transmit.htm>
- [20] *ProfiMessage*. Delphin Technology AG. Online [cit. 10. 5. 2015] dostupné z: <http://www.delphin.com/hardware/profimessage.html>
- [21] HENDL, J. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 4. vyd. Praha: Portál, 2012. 736 s. ISBN 978-80-262-0200-4
- [22] *Ceník elektřiny v kategorii podnikatelé*. Ceník. RWE, platný od 1. 2. 2014. Online [cit. 17. 5. 2015] dostupné z: <https://www.rwe.cz/firmy/>
- [23] *Ceny tepla pro topnou sezonu 2014/2015*. Online [cit. 17. 5. 2015] dostupné z: <http://www.teplarny.cz>
- [24] *Vodné a stočné v městě Brně*. Online [cit. 17. 5. 2015] dostupné z: <http://www.bvk.cz/zakaznikum/cenik/>

Seznam příloh

[P1]	Protokol: Prací proces – MĚŘENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI, 30. 3. 2015	(2 strany A4)
[P2]	Protokol: Prací proces – MĚŘENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI, 7. 4. 2015	(2 strany A4)
[P3]	Protokol: Prací proces – MĚŘENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI, 13. 4. 2015	(2 strany A4)
[P4]	Grafické testy normality pro data z praní s parním ohřevem	(2 strany A4)