



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

ODPADNÍ TEPLA V RÁMCI PRŮMYSLOVÉ PRÁDELNY

WASTE HEAT WITHIN PROFESSIONAL LAUNDRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Svoboda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Bobák, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Adam Svoboda
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Petr Bobák, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Odpadní teplo v rámci průmyslové prádely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma je vhodné zejména pro ty studenty, kteří mají ambici a schopnosti zpracovat časově náročnější bakalářskou práci. Téma předpokládá samostatnou tvůrčí činnost studenta a jeho opravdový zájem o tuto problematiku.

Práce zapadá do výzkumného programu Centra nových technologií pro strojírenství (NETME Centre) při Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně, konkrétně Laboratoře energeticky náročných procesů, v rámci které byl vybudován provoz průmyslové prádely jako model energeticky náročného procesu. Téma je možné v budoucnu rozšířit do podoby diplomové práce řešené v rámci navazujícího magisterského studia Procesní inženýrství.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat stručný úvod do problematiky procesu profesní údržby prádla s odkazy na vhodnou literaturu.

Zpracovat rešerši komerčně dodávaných řešení na využití odpadního tepla v rámci průmyslových prádelen.

Zpracovat přehled odpadních proudů v rámci průmyslové prádely se zaměřením na provoz experimentální prádely v Laboratoři energeticky náročných procesů, NETME Centre, FSI VUT v Brně, a uvést jejich přibližné parametry a vlastnosti.

Zabývat se předně odpadním proudem v podobě odpadní vody z konkrétní průmyslové vsádkové pračky (při konkrétním pracím programu).

Spolupracovat na přípravě a provádění potřebných měření a analýze získaných dat.

Formulovat možná rizika nebo omezení využití tepla z odpadní vody vzhledem ke zjištěným vlastnostem odpadního proudu.

Zpracovat ideový návrh využití tepla z odpadní vody.

Seznam literatury:

Bobák, P. (2015): Snižování energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla. Dizertační práce na FSI VUT v Brně, Brno. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá profesní údržbou prádla a rešerší o komerčně dodávaných možnostech využití odpadového tepla v rámci průmyslové prádelny. Popisuje odpadové proudy z provozu modelu experimentální prádelny LENP NETME Centre.

Praktická část spočívá v měření vlastností odpadového proudu z průmyslové pračky a výpočtu potenciálně využitelného tepla. V závěru jsou zformulována možná rizika využití tepla z odpadové vody a ideový návrh jeho využití.

Klíčové slova

Odpadové teplo, prádelna, odpadový proud, praní, měření, detergenty

Abstract

This bachelor thesis deals with professional laundry service and background research on commercial opportunities for utilization of waste heat in industrial laundries. The practical part consists in measuring properties of the waste flow from the industrial washing machine and the calculation of potentially useful heat. In the conclusion possible risks of using heat from waste water and a draft plan for this use are formulated.

Keywords

Waste heat, laundry, waste flow, washing, measuring, detergents

Bibliografická citácia práce

SVOBODA, A. *Odpadní teplo v rámci průmyslové prádelny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 62 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bobák, Ph.D.

Pod'akovanie

Týmto by som chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Petrovi Bobákovi za cenné rady a spoluprácu. Ďakujem tiež rodičom a priateľke za podporu pri štúdiu.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne na základe vedomostí získaných pri štúdiu a odborných konzultácií s vedúcim práce, a že som všetky literárne a obrazové pramene správne a úplne citoval.

V Brne dňa 24. mája 2016

.....
Adam Svoboda

Obsah

1	Úvod	15
1.1	NETME Centre	16
1.2	Laboratórium energeticky náročných procesov	17
2	Proces profesijnej údržby bielizne.....	19
2.1	Pracovný postup práčovne	20
2.2	Faktory ovplyvňujúce prací proces	21
2.3	Úloha vody v práčovniach	21
2.4	Detergenty	21
2.5	Energie	22
2.6	Sinnerov kruh	22
3	Komerčne dodávané riešenia pre využitie odpadového tepla v rámci priemyselných práčovní	23
3.1	Opatrenia k úsporám energie	23
3.2	Optimalizácia tepelného a vodného hospodárstva tunelových práčok	24
3.3	Optimalizácia tepelného a vodného hospodárstva vsádkových práčok	26
3.4	Optimalizácia parného hospodárstva	27
3.5	Úspory energií na sušičoch a žehličoch	28
3.6	Opatrenia k úsporám vody v pracom procese	29
4	Odpadové prúdy v prevádzke modelu experimentálnej práčovne LENP NETME Centre.....	31
4.1	Zostava bubnových sušičov a odpadový prúd	31
4.2	Žehliaci lis, zostava valcových žehličov a odpadový prúd	34
4.3	Zostava vsádkových práčok a odpadový prúd	38
5	Meranie vlastností odpadového prúdu vsádkovej práčky Primus FX 240 a ideový návrh využitia odpadového tepla	41
5.1	Príprava a spôsob merania	41
5.2	Meranie s použitím pracích detergentov	46
5.3	Meranie bez použitia detergentov	48
5.4	Bilančný výpočet prania.....	51
5.5	Výpočet množstva potenciálne využiteľného tepla a ideový návrh jeho využitia.....	52
6	Záver.....	57
	Zoznam použitých zdrojov	58
	Zoznam použitých symbolov a skratiek	60

Zoznam použitých obrázkov	61
Zoznam príloh	62

1 Úvod

Podoba prania sa počas histórie ľudstva prudko menila, podstata však zostala nezmenená – ide o proces odstránenia nečistôt za pomoci kombinácie vody a mechanickej práce. Najmä podľa objemu bielizne by sa dalo pranie rozdeliť do osobnej a komerčnej sféry. Kapacita komerčných priemyselných práčovní sa pohybuje v závislosti na delení na malé, stredné a veľké podniky v rozmedzí od niekoľko stoviek kilogramov až po niekoľko desiatok ton spracovanej bielizne za pracovnú zmenu. Priemerná domácnosť sa môže pohybovať v rozmedzí niekoľkých desiatok kíl opranej bielizne za mesiac.

Na základe tohto enormného množstva bielizne je zrejmá obrovská energetická náročnosť pracieho procesu v komerčnej sfére. Jedná sa najmä o energie potrebné na ohrev vody v práčke spolu so samotnou spotrebovanou vodou, ktorá sa po skončení cyklu vypúšťa do odpadovej kanalizácie. V prípade veľkých práčovní sa aj v prípade používania ideálnych technológií (napr. tunelových práčok) môže spotreba vody hravo vyšplhať na desiatky tisícov litrov vody za zmenu. Ide pritom o základnú strategickú surovinu nevyhnutnú pre život, pričom jej zásoby sú obmedzené. Niet sa čomu diviť, že sa v tejto pro-blematike nachádza priestor na neustály vývoj nových technológií a optimalizáciu celkového procesu.

Každá komerčná práčovňa má relatívne široké spektrum technického vybavenia v závislosti na sortimente a množstva spracovanej bielizne. Základné strojné vybavenie sa skladá z práčok s odstredňovaním, sušičov bielizne a žehliacich strojov na rovnú a tvarovanú bielizeň. Všetky stroje sú na elektrický pohon, avšak líšia sa možnosťami ich vykurovania. Ide o stroje vykurované pomocou:

- elektriny,
- pary,
- zemného plynu.

Okrem základného strojného vybavenia má práčovňa tiež rozsiahle technické vybavenie ako napríklad [1]:

- zdroj tepla – napr. parný kotol na zemný plyn alebo regulačná stanica pre odber pary z teplárne,
- úpravňa vody – bežná voda z vodovodného potrubia má väčšinou príliš vysokú tvrdosť a je potrebné ju upraviť pre vyššiu kvalitu celého procesu,
- zdroj elektrickej energie – rozvodňa, u väčších práčovniach vlastná trafostanica,
- zdroj tlakového vzduchu – kompresor, tlakový vzduch je potrebný pre pohon ventilov, prípadne rôznych mechanizmov strojov,
- čistička odpadových vôd – nie je nutná v prípade, že ma práčovňa povolenie vypúšťať odpadovú vodu do verejnej kanalizácie bez predčistenia,
- vzduchotechnika – odsávanie prebytkov tepla a vlhkosti z prevádzky.

Z vyššie uvedeného popisu technického zázemia bežnej komerčnej pracovne je zrejmý značný objem odpadových prúdov. Ide najmä o teplú vodu zo vsádkových či kontinuálnych bubnových práčok a o teplý vzduch zo sušičov a žehličov.

Tejto problematike, spolu s optimalizovaním celého pracieho procesu, sa venuje Laboratórium energeticky náročných procesov (LENP) NETME Centre – model priemyselnej pracovne s kapacitou až 500 kg bielizne za zmenu, ktoré bude predstavené v nasledujúcich podkapitolách.

1.1 NETME Centre

„NETME Centre (plným názvom New Technologies for Mechanical Engineering – Centrum nových technológií pre strojárstvo) je koncipované ako regionálne výskumné a vývojové centrum, založené na kvalitnej vedeckej a výskumnej základni Fakulty strojného inžinierstva Vysokého učení technického v Brne.“ [2]

„Aktivity centra majú za cieľ rozvinúť spoluprácu s aplikačnou sférou a posilniť tak konkurencieschopnosť regiónu, podieľať sa na rozvoji znalostnej ekonomiky regiónu a umožniť súkromným subjektom ľahký prístup k najnovším výsledkom výskumu na zmluvnej báze a s cieľom zaistiť maximálny aplikačný potenciál.“ [2]

Projekt NETME Centre sa skladá z piatich divízií:

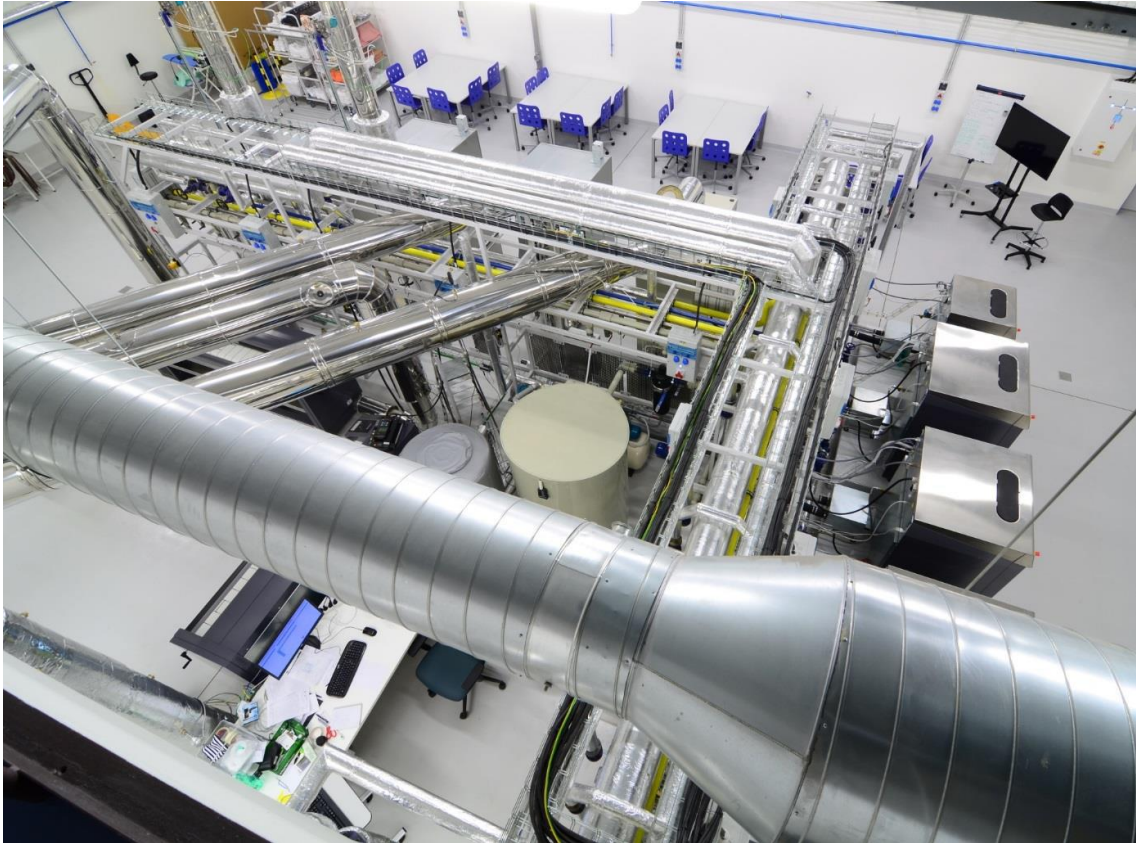
- Divízia energetiky, procesov a ekológie,
- Divízia leteckej a automobilovej techniky,
- Divízia mechatroniky,
- Divízia virtuálneho navrhovania a skúšobníctva,
- Divízia progresívnych kovových materiálov.

Divízia PPE sa zaoberá aplikovaným výskumom a vývojom v oblasti koncepcnej energetiky a energetických zariadení, procesných technológií a v oblasti ochrany životného prostredia. Združuje pod sebou sekciu procesného a ekologického inžinierstva, sekciu prenosu tepla a prúdenia, sekciu termomechaniky a techniky prostredia, sekciu energetického inžinierstva a sekciu matematiky.

Pod vyššie spomínanú sekciu procesného a ekologického inžinierstva spadá viacero špecializovaných výskumných a vývojových skupín a to najmä skupina energeticky náročných procesov. Špecializuje sa na znižovanie spotrieb energií a prevádzkových látok priemyselných prevádzok v rámci univerzálnej experimentálnej infraštruktúry – Laboratória energeticky náročných procesov (obr. 1–1).

1.2 Laboratórium energeticky náročných procesov

Laboratórium je vybavené primárne súborom vsádkových práčok, bubnových sušičov, valcových žehličov a žehliacim lisom. Disponuje taktiež úpravňou vody, systémom dávkovania pracej chémie, súborom testovacej bielizne, systémom identifikácie bielizne na rádiovkej frekvencii a ďalším prevádzkovým a meracím aparátom. [3]



obr. 1–1: LENP – pohľad na ocelovú konštrukciu s rozvodmi médií a pripojené spotrebiče [3]

Infraštruktúra LENP umožňuje pripojiť a testovať rôzne priemyselné spotrebiče spolu s množstvom sekundárnych zariadení ako napríklad výmenníky či zásobníky tepla, tepelné čerpadlá, kogeneračné jednotky a i. K dispozícii sú prípojky elektriny, vody, zemného plynu, tlakového vzduchu, dvoch parokondenzátnych okruhov, chladiaceho okruhu a taktiež vzduchotechnika, spalínovody a pripojenia na kanalizáciu. K tomu všetkému je prítomná moderná meracia technika umožňujúca ústredný zber dát pre ďalšie spracovanie – merania teploty a tlaku v laboratóriu a v potrubiach, vlhkosti, prietoku, vlastnosti elektrickej siete, prípadne tenzometrické merania deformácií konštrukcie strojov [3].

V súčte LENP predstavuje plne funkčný model priemyselnej pracovne s kapacitou až 500 kg bielizne za zmenu v jedinečnom spojení priemyselnej prevádzky a výskumného zázemia so zberom reálnych prevádzkových dát predstavujúci energeticky náročný proces s veľkým výskumným a vývojovým potenciálom do budúcnosti.

Nasledujúce kapitoly práce sa budú venovať úvodu do problematiky profesijnej údržby bielizne a komerčne dodávaným riešeniam na využitie odpadového tepla v rámci priemyselných pracovní. Práca sa následne zameria na LENP a prehľad jeho odpadových prúdov – horúci vzduch zo sušičiek a žehličov, avšak prednostne odpadovú vodu z práčky Primus FX240 pri konkrétnom pracovnom programe. Tento odpadový prúd bude detailnejšie opísaný v kapitole 5 spolu s prípravou, prevedením potrebných meraní a následným vyhodnotením. V závere bude predstavený ideový návrh využitia odpadového tepla.

2 Proces profesijnej údržby bielizne

Proces profesijnej údržby bielizne (PÚB) v sebe zahŕňa kompletnú starostlivosť o bielizeň počnúc práním, cez sušenie, žehlenie, skladanie a stohovanie, končiac triedením.

Najdôležitejším prvkom PÚB je samotný proces prania. Jeho základným cieľom je obnovenie pôvodných funkcií bielizne či už ide o hygienickú, ochrannú, estetickú a pod. Ide teda v podstate o regeneračný proces bielizne zložený zo zmáčania, predpierky, hlavného prania, plákania, finalizácie a odvodnenia.

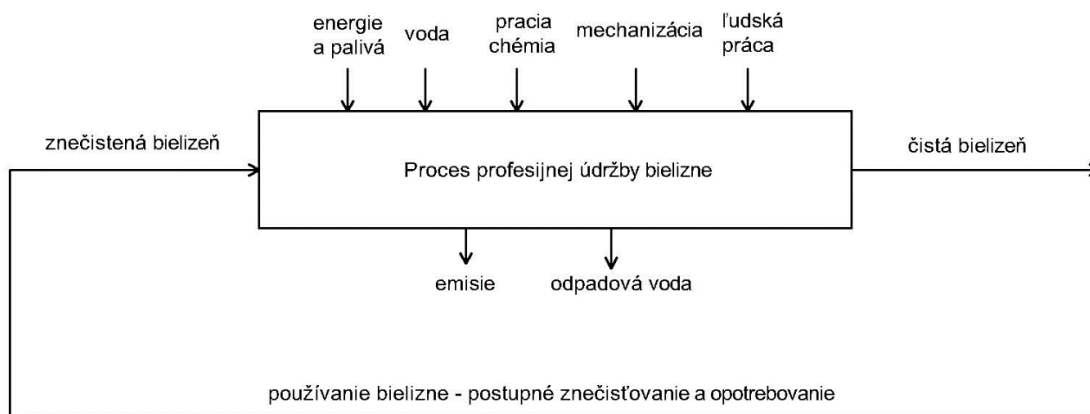
Hlavné účely prania sú:

- odstránenie nečistôt a škvŕn,
- udržanie belosti bielej, respektíve jasnosti farieb farebnej bielizne,
- udržanie, prípadne obnovenie fyzikálnych vlastností bielizne.

PÚB pozostáva zo sledu viacerých operácií a to najmä [3]:

- zvoz špinavej bielizne od zákazníka do pracovne,
- príjem bielizne a následné dočasné uskladnenie,
- triedenie bielizne podľa materiálu a miery znečistenia,
- pranie,
- sušenie do sucha po praní (froté bielizeň), prípadne len predsušenie pred žehlením,
- dokončovanie (žehlenie, skladanie),
- oprava poškodených kusov (šitie),
- kontrola kvality celého procesu,
- balenie, prípadné dočasné uskladnenie a expedícia bielizne späť ku zákazníkovi.

Schematicky je PÚB znázornený na obr. 2–1.



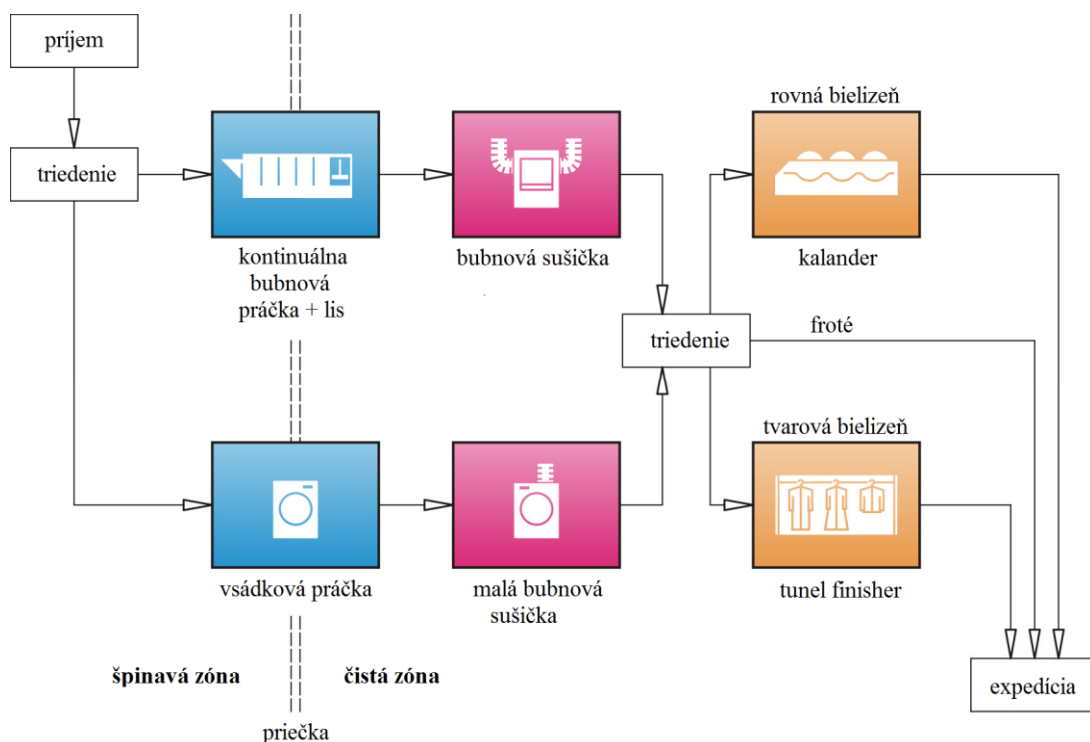
obr. 2–1: Základné schéma procesu profesijnej údržby bielizne [3]

Z obrázku je zrejmé, že pre získanie konečného produktu, čistej bielizne, sú potrebné viaceré zdroje. Ide o energiu, vodu, prácu, chémiu, technické vybavenie pracovne a ľudskú prácu za prítomnosti vzniknutých emisií a odpadovej vody. Tá sa vypúšťa do kanalizácie priamo, respektíve cez vlastnú čističku odpadových vôd.

2.1 Pracovný postup pracovne

Na začiatku je bielizeň roztriedená podľa miery znečistenia a rozdelená na jednotlivé dávky. Menšie množstvo silne znečistenej bielizne sa zvykne prať vo vsádkových práčkach, ostatná bielizeň sa perie v kontinuálnych bubnových práčkach. Pokiaľ sa v pracovni perie infekčná bielizeň, tak priestor pracovne musí byť rozdelený na špinavú a čistú zónu. Vstup zo špinavej do čistej zóny je možný jedine skrz dezinfekčnú komoru. Bielizeň sa po vypratí naloží do bubnových sušičiek a po sušení sa triedi na bielizeň rovnú, ktorá sa žehlí na kalandroch a tvarovú, ktorá sa dokončuje napríklad v tunel finisheri. Následne sa bielizeň poskladá a pokračuje na expedíciu ku zákazníčkovi. [4]

Zjednodušené schéma toku bielizne pracovňou je zobrazené na obr. 2–2.



obr. 2–2: Zjednodušené schéma toku bielizne pracovňou [4]

2.2 Faktory ovplyvňujúce prací proces

Faktory ovplyvňujúce prací proces sú [5]:

- kvalita pracej vody,
- koncentrácia pracích prostriedkov (detergentov) a ďalších prísad podľa technologického postupu,
- stupeň znečistenia materiálu a typ nečistoty,
- teplotný priebeh celého procesu prania,
- doba zmáčania a doba vlastného prania ,
- konštrukcia pracieho stroja – spôsob namáhania bielizne, spôsob oplachu a i.

2.3 Úloha vody v práčovniach

Úloha vody pri praní je ešte dôležitejšia než úloha samotných detergentov. Funguje ako ohrievacie, či transportné médium, rozpúšťadlo pre detergenty a špinu a ako zmáčacie činidlo pre textílie. Prenáša tiež mechanickú energiu práčky na bielizeň, je teda hlavnou zložkou pracieho procesu. V závislosti na použitých technológiach sa jej spotreba pohybuje v rozmedzí 4 až 30 litrov vody na kilogram bielizne. [6]

V súčasnej dobe tvorí cena vody relatívne malú časť celkových nákladov, avšak ďalšie náklady treba investovať do úpravy vody v závislosti na príslušnom zdroji (rieka, studňa, pitná voda). Môže ísť o zmäkčovanie vody, dekontamináciu a pod. Úprava vody je veľmi dôležitá, pretože jej kvalita ma veľký vplyv na kvalitu celého procesu prania a životnosť bielizne. Znížením celkovej spotreby vody sa dosiahne úspora nielen na menšom množstve vody a jej úprave, ale taktiež na zneškodňovaní odpadovej vody, ktorá musí byť prevedená podľa európskych a národných noriem. Pre ešte vyššiu efektivitu je možné odpadovú vodu recyklovať (napríklad voda z plákania sa dá znovu použiť pri hlavnom praní, prípadne predpierce). [6]

2.4 Detergenty

Detergent sa dá definovať ako látka, ktorá ma výrazné čistiace účinky. Jeho voľba pri praní je veľmi dôležitá z hľadiska výrazného ovplyvňovania účinnosti prania. Úlohou detergentu je zaistiť rôzne funkcie v pracom procese vrátane ideálnych parametrov vody, optimálneho pH, rovnomerného zmáčania špinavej bielizne a odstránenia prachových častíc, mastných nečistôt a škvŕn. [7]

Taktiež musí splniť požiadavky na belosť a hygienickú čistotu pranej bielizne. Jeho zloženie musí odpovedať národnej a európskej legislatíve ohľadom obsahu biologicky odbúrateľných látok v odpadovej vode. [7]

V súčasnosti v mnohých pracovniach zodpovedajú za dávkovanie či už práškových alebo kvapalných detergentov automatické dávkovacie systémy. Redukujú nároky na ľudskú prácu, ručnú manipuláciu s chemikáliami a zaisťujú presné a rovnomerné dávkovanie.

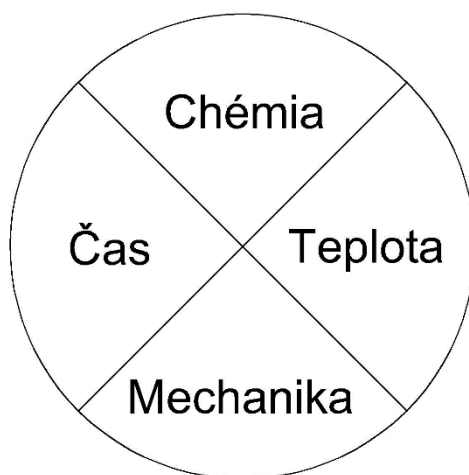
2.5 Energie

V pracovniach je nutné vytvárať procesné teplo či už na ohrev vody, prípadne výrobu pary. Ako zdroj tepla slúži elektrina alebo rôzne palivá, z ktorých je najbežnejší zemný plyn. Práčovnicke stroje sa štandardne vyrábajú s možnosťou elektrického, parného alebo plynového ohrevu. Menšie pracovne zvyčajne pracujú s miestnym ohrevom (samostatným pre každý stroj). Väčšie naopak preferujú centrálny zdroj ohrevu (parný kotol alebo rýchla tvorba pary).

Za zmienku stojí možnosť diverzifikácie zdrojov tepla pre potlačenie závislosti na jednom druhu paliva, resp. dodávke tepla. Umožní tak pracovní aspoň čiastočnú prevádzku v prípade vypadnutia jedného typu zdroja [3].

2.6 Sinnerov kruh

Sinnerov kruh je diagram, ktorý znázorňuje vzájomnú závislosť štyroch hlavných faktorov ovplyvňujúcich prací proces. Ide o teplotu vody, mechanickú prácu, čas a účinok práce chémie. Pri nadmernej snahe o zníženie spotreby tepla na ohrev vodného kúpeľa sa zvýšia náklady v podobe dlhšieho pracieho času, resp. väčšieho množstva chémie alebo mechanickej práce. Pre čo najvyššiu kvalitu výsledného produktu (čistej bielizne) a zároveň za čo najnižších nákladov je veľmi dôležité vzájomne optimalizovať spomínané faktory. Sinnerov kruh je znázornený na obr. 2–3.



obr. 2–3: Sinnerov kruh

3 Komerčne dodávané riešenia pre využitie odpadového tepla v rámci priemyselných prácovní

Odpadové teplo je teplo, ktoré vzniká pri technologických procesoch, pre ktoré sa v priebehu procesu obvykle nenájde využitie. Môže byť viazané na rôzne teplotné médiá ako napríklad vodu, vzduch alebo spaliny. Zdroje odpadového tepla sú veľmi rôznorodé. Ide o spaľovacie motory, plynové turbíny, či rôzne technologické postupy spracovania v spaľovniach, oceliarniach, sklárňach alebo prácovníach.

Priemyselné prácovne majú značné množstvo zdrojov odpadového tepla (odpadovým prúdom so zameraním na Laboratórium energeticky náročných procesov NETME Centre sa venuje nasledujúca kapitola). Významné úspory sa dajú dosiahnuť nielen využívaním odpadového tepla, ale aj rôznymi inými opatreniami k úsporám energie.

V tejto kapitole bude stručný prehľad spomínaných opatrení a následne komerčne dodávaných možností využitia odpadového tepla.

3.1 Opatrenia k úsporám energie

Ide o súbor organizačných, technických a technologických opatrení, ktoré sa zavádzajú v uvedenom poradí. Opatrenia na ďalšej úrovni sa nezavádzajú, pokiaľ nie sú vyčerpané možnosti v rámci jednej úrovne. Môže sa stať, že nový stroj s lepšimi technickými špecifikáciami zvýši efektivitu menej než reorganizácia práce. Avšak v prípade zastaraného technického vybavenia lepšia organizácia práce nevyrovná náklady vyvolané tepelnými stratami. [8]

Organizačné opatrenia udávajú, v akom poradí spracovávať bielizeň a ako realizovať pracovné postupy. Dôležité je triedenie bielizne a správna kombinácia prácových programov. Treba sa vyhýbať preplneniu práčok, pretože výsledkom môže byť nekvalitný produkt. Pracovné procesy sa musia organizovať tak, aby generátor pary mohol kontinuálne dodávať paru po celú pracovnú zmenu. [8]

Technické opatrenia sú opatrenia, ktoré majú vplyv na technické procesy a môžu byť užívateľom ovplyvňované. Ich stanovenie znamená napríklad optimalizácia Sinnerovho kruhu. Nižšia teplota prania pri rovnakej kvalite produktu môže byť dosiahnutá použitím väčšieho množstva chémie, mechanickej práce (vyššie otáčky) alebo dlhšou dobou prania. [8]

Technologické opatrenia sú opatrenia v konštrukcii strojného vybavenia bez možnosti zmeny v praxi v prácovníach. Jedná sa o optimalizáciu horákov zariadení, cirkulácie spalín v sušičoch, prípadne mechanickeho pôsobenia práčok (rozmery a tvary bubny, nastavenie rytmov pracovnej doby a nečinnosti). Ďalej ide o dôkladnú izoláciu rozvodov pary a v neposlednom rade o možnosti využívania odpadového tepla zo zariadení. [8]

3.2 Optimalizácia tepelného a vodného hospodárstva tunelových práčov

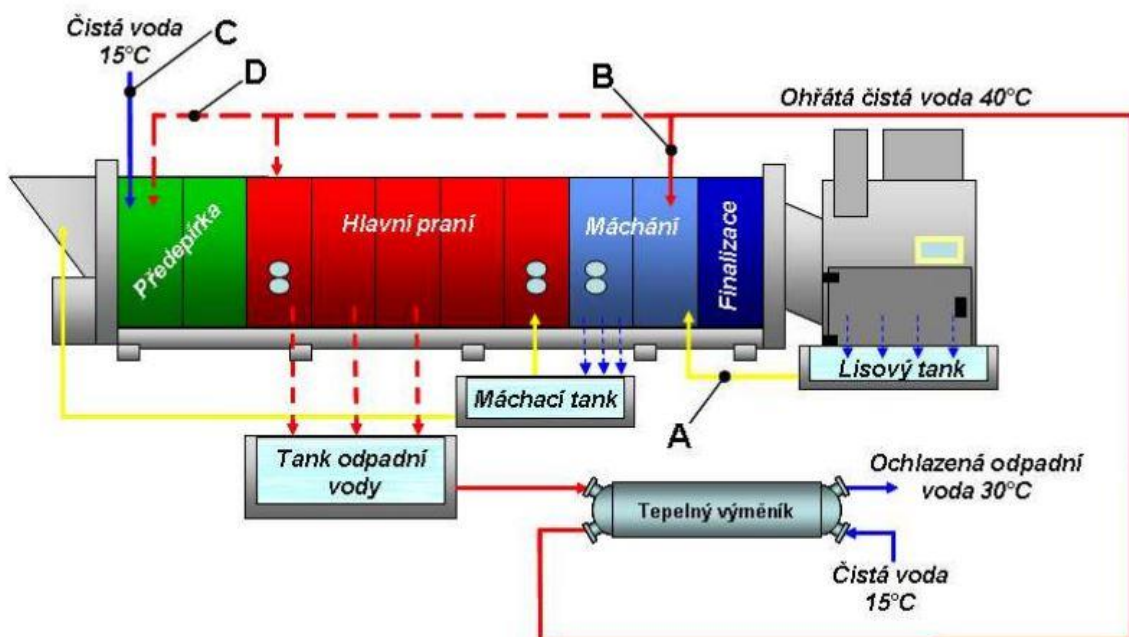
Na základe spotreby vody a energie (pary) sú tunelové pracie linky nezanedbateľným prvkom pre optimalizáciu, a preto sa im pri dosahovaní úspor venuje značná pozornosť.

Postup navrhovania optimalizácie je nasledovný [9]:

- získanie potrebných parametrov od zákazníka a z analýzy prevádzky,
- vypracovanie matematického modelu pracej linky (určí sa typ zapojenia tepelného výmenníka a dosiahnuteľné úspory,
- podrobný individuálny návrh systému,
- pomocou neustáleho merania po inštalácii sa preukazujú úspory a hodnoty sa archivujú do databáz.

Úplná recirkulácia lisovej vody spolu s klasickým zapojením tepelného výmenníka

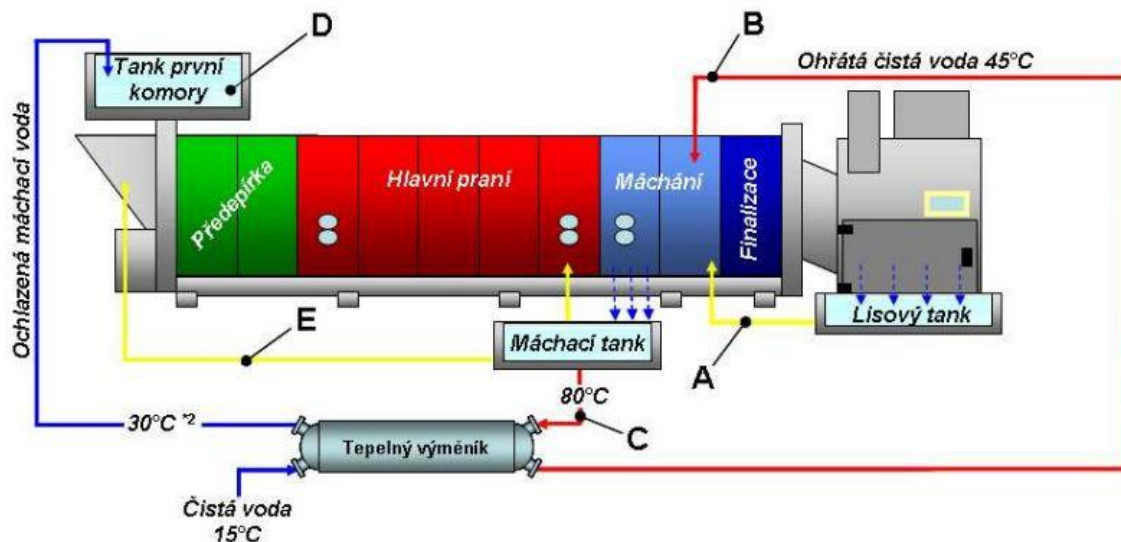
Toto zapojenie je vhodné v prípade, že zákazník potrebuje majoritný podiel bielizne za nižšej teploty prania (60 – 70 °C). Odpadová voda má však nižší teplotný potenciál a preto je kľúčové dosiahnuť maximálnu efektivitu systému. Zapojenie je zobrazené na obr. 3–1.



obr. 3–1: Úplná recirkulácia lisovej vody s klasickým zapojením tepelného výmenníka [9]

Úplná recirkulácia lisovej vody spolu so špeciálnym zapojením tepelného výmenníka

Príklad nutnosti tohto zapojenia je pranie operačnej bielizne s vysokým podielom krvi, kde pri vyšších teplotách vody v prvej komore príde k zapraniu krvi do textilných tkanív. Následné odstránenie je možné len za pomoci silnej dávky chlóru, čo však značne znižuje životnosť bielizne. Teplota vodného kúpeľa v prvej komore by preto nemala prekročiť 30 °C, kúpeľ sa ohrieva až po odpraní krvavého zašpinenia. Zapojenie je vyobrazené na obr. 3–2.



obr. 3–2: Úplná recirkulácia lisovej vody so špeciálnym zapojením tepelného výmenníka [9]

Tieto systémy zapojenia s tepelným výmenníkom je možno riadiť tromi spôsobmi.

Prvý spôsob „riadenia“ je neriadený systém, kde sú prietoky nastavené manuálne na základe odhadu. Pochopiteľne, nedosahuje efektivity ostatných dvoch spôsobov. [9]

Druhý spôsob je regulácia výstupnej teploty čistej vody. Prietok čistej vody sa nemení a problém nastane pri zvolení príliš vysokej teploty. Systém začne neúmerne rýchlo odčerpávať odpadovú vodu z vyrovnávacej nádrže, ktorá dochádza ešte pred ukončením cyklu. Naopak, pri znížení požadovanej teploty je prietok odpadovej vody nižší než prietok čistej vody a dochádza ku stratám vplyvom prelievania nádrže. [9]

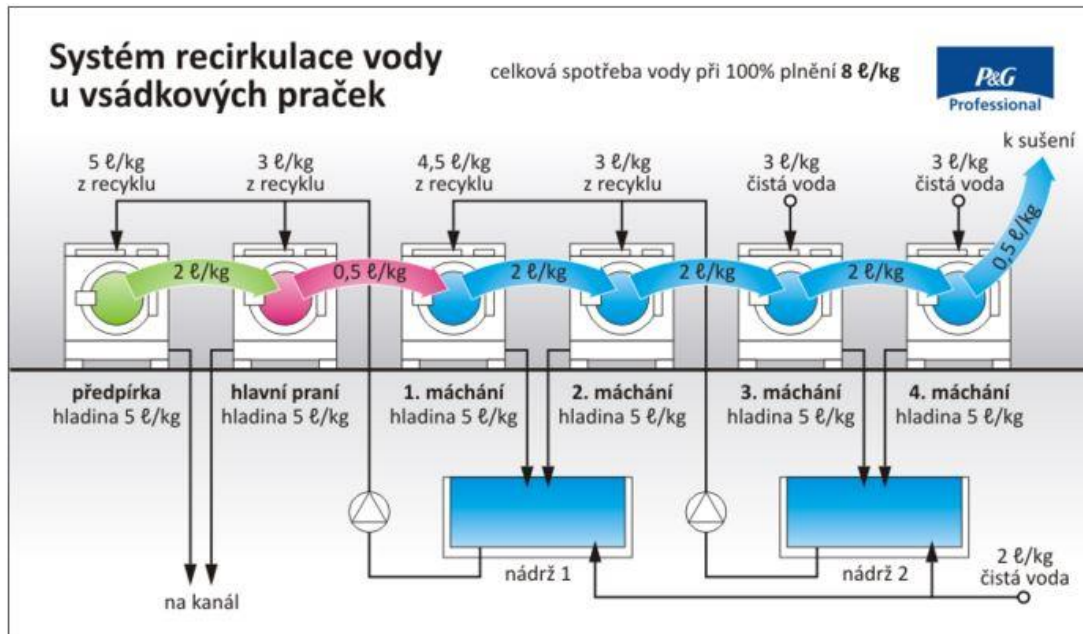
Tretím a najefektívnejším spôsobom je riadenie prietokové. Dlhodobu do práce linky vstupuje približne rovnaké množstvo vody ako z nej aj vystupuje.

Pre maximálnu efektivitu systémov s tepelným výmenníkom je potrebné splniť niekoľko základných podmienok súčasne a to [9]:

- čistá voda musí tiecť výmenníkom stálym a kontrolovaným prietokom a zároveň tiecť maximálnu možnú dobu (ideálne celý cyklus),
- odpadová voda je dostatočne rýchlo odoberaná, aby nedošlo k pretekaniu nádrže odpadovej vody. Zároveň nesmie byť odoberaná príliš rýchlo, aby nedošlo k jej spotrebovaniu pred ukončením cyklu,
- je použitý správny typ tepelného výmenníka, v ktorom dochádza k silne turbulentnému prúdeniu (laminárne prúdenie vo výmenníku je najväčšou prekážkou efektívneho využitia odpadového tepla).

3.3 Optimalizácia tepelného a vodného hospodárstva vsádkových práčok

Vsádkové práčky majú značne vyššiu spotrebu vody na kilogram bielizne než práčky tunelové, avšak dá sa u nich aplikovať podobný systém recirkulácie vody a odpadového tepla. Je to zabezpečené využitím recirkulačných nádrží s tepelným výmenníkom. Schéma optimalizácie je zobrazené na obr. 3–3.



obr. 3–3: Systém recirkulácie vody u vsádkových práčok [9]

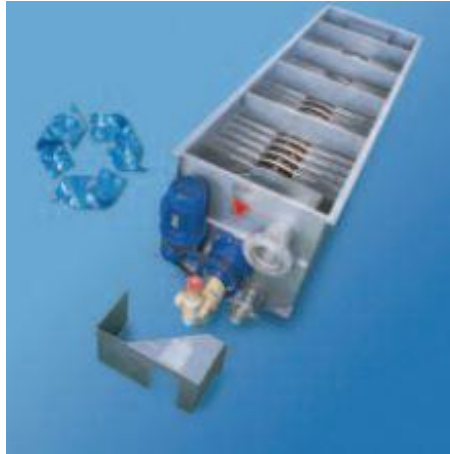
Využitie odpadového tepla z vody z práčok dodáva firma Christeys v podobe tepelných výmenníkov typu voda – voda na predohrev čistej vody. Konkrétne ide napríklad o zariadenia *Heat – X Rotor* (obr. 3–4) a *Heat – X Energo* (obr. 3–5). Firma Ecolab dodáva obdobné tepelné výmenníky na využitie odpadového tepla z vody z práčok ako *Energy Optimiser* (obr. 3–6).



obr. 3–4: Heat – X Rotor [10]



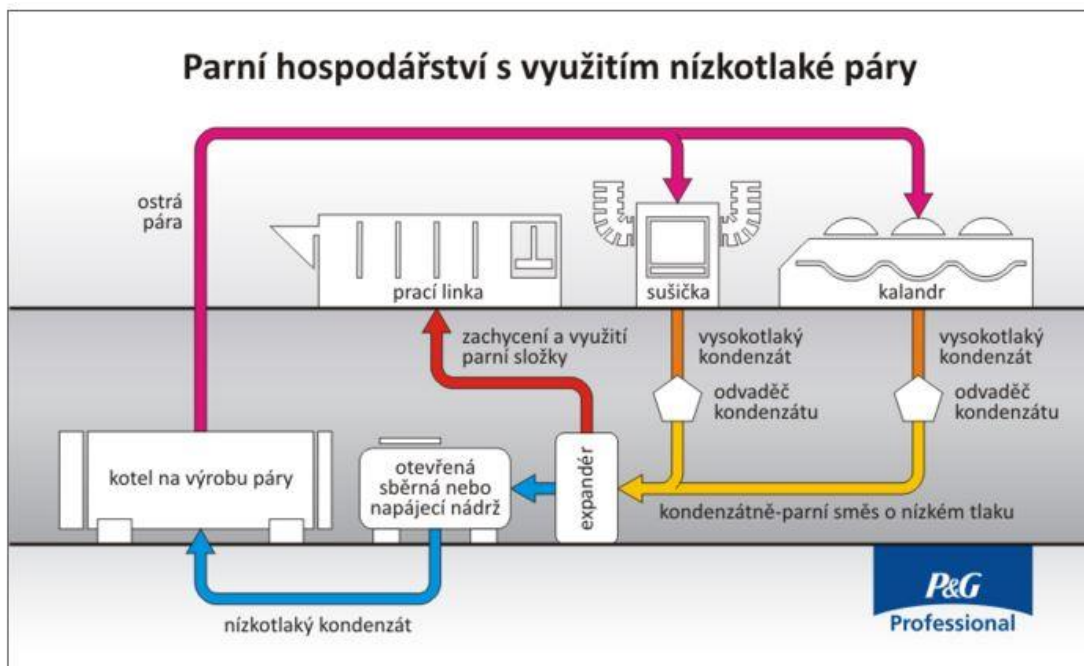
obr. 3–5: Heat – X Energo [10]



obr. 3–6: Energy Optimiser [11]

3.4 Optimalizácia parného hospodárstva

Efektívnym trendom v oblasti parného hospodárstva je zachytenie a využitie nízkotlakovej pary pomocou expandéru. Takéto využitie nízkotlakovej pary pomocou expandéru je na obr. 3–7.



obr. 3–7: Schéma využitia nízkotlakovej pary pomocou expandéru [9]

Parný kondenzát zo spotrebičov sa dostáva k odvádzačom kondenzátu, kde dochádza k poklesu tlaku a vzniku zmesi pary a kondenzátu. Tá postupuje k expandéru, kde sa nízkotlaková para oddelí a namiesto úniku do atmosféry je využitá na ohrev pracej linky alebo ohrev a odplynenie studenej vody dopúšťanej do parného kotla. V praxi je celkom bežné, že nízkotlaková para dokáže pokryť dokonca aj celú spotrebu pracej linky. [9]

Spoločnosť Ecolab predstavuje svoje riešenia v podobe dvoch zariadení, *Vent Optimiser* (obr. 3–8) a *Ecosteam* (obr. 3–9). *Vent Optimiser* zhromažďuje paru z napájacej nádrže kotla, ktorú využíva na ohrev studenej čistej vody. Znižuje energetické straty napájacej nádrže kotla a ušetrí 5 – 8 % nákladov pracovne na energie. *Ecosteam* využíva kondenzát vznikajúci v parnom obehu k výrobe nízkotlakovej pary, ktorú následne používa k ohrevu v pracích strojoch. Ušetrí 10 % nákladov na energie. [11]

Výrobcom deklarované úspory energií sú samozrejme závislé na pôvodnom stave technického vybavenia pracovne.



obr. 3–8: *Vent Optimiser* [11]



obr. 3–9: *Ecosteam* [11]

3.5 Úspory energií na sušičoch a žehličoch

Z pohľadu spotreby energií sú sušiče a žehliče vo väčšine pracovniach jednoznačne dominantné. V práčkach dochádza k ohrevu vody, avšak v sušičkách a kalandroch k jej odparovaniu. K ohrevu jedného kilogramu vody o 1 °C je potrebných približne 4,2 kJ energie, zatiaľ čo k odpareniu 1 kg vody je potreba zhruba 2257 kJ pri atmosférickom tlaku. Nepomer spotreby energie vyrovnáva množstvo vody ohrievanej v práčkach. Na druhú stranu, efektívnosť ohrevu vody v pracích linkách je blízka 100 %, pričom efektívnosť sušenia a žehlenia sa nikdy nebude blížiť k 100 %. Dôvodom ešte nižšej účinnosti sušičiek a kalandrov často býva nesprávne nastavenie, údržba a prevádzka strojov. [9]

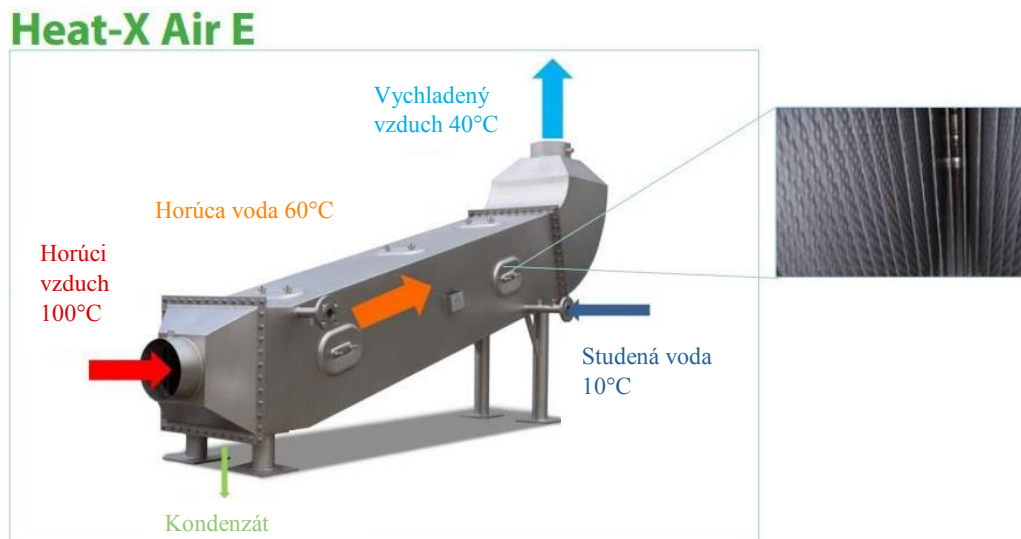
Pri hodnotení energetickej náročnosti sušičiek (a taktiež kalandrov) sú zásadné dva základné parametre. Prvým parametrom je energetická účinnosť, teda aké množstvo energie spotrebuje daný stroj na odparenie jedného litra vlhkosti z bielizne. Druhým parametrom je sušiaci výkon, teda koľko litrov vlhkosti sa odparí za minútu.

Spoločnosť Ecolab má v sortimente výrobkov zariadenie *Aquavent* (obr. 3–10) – ide o tepelný výmenník typu vzduch – voda, ktorý využíva odpadové teplo žehličov na predohrev čistej vody privedenej do pracieho procesu.



obr. 3–10: Aquavent [11]

Firma Christeysn ponúka radu zariadení *Heat-X Air* na využitie odpadového tepla z dokončovacieho vybavenia pracovne na predohrev čerstvej praciej vody. Príklad konkrétneho zariadenia je na obr. 3–11.



obr. 3–11: Heat-X Air E [10]

3.6 Opatrenia k úsporám vody v pracom procese

Aquacycler (obr. 3–12) je filtračný systém slúžiaci k odstraňovaniu častíc z odpadových vôd z práčovní. Primárna funkcia je úspora množstva použitej vody. Voda z plákania sa filtruje, uchováva v zásobníku a neskôr znovu používa. Filtrát je možné opakovane použiť pri predpierce, v hlavnom praní a v prvom cykle plákania. Opakovane použitá voda je ešte teplá, čím tiež prídje k úsporám energií na ohrev. Systém je určený pre viacero jednotlivých práčok naraz, má nízke prevádzkové náklady a malé požiadavky na priestor a údržbu. [12]

Firma Ecolab inštaluje zariadenie *Aquamiser* (obr. 3–13), ktoré pracuje na rovnakom princípe ako *Aquacycler*. Zariadenie filtruje vodu, ktorú je možno opätovne použiť pri predpierce.



obr. 3–12: Aquacycler [12]

Spoločnosť Christeys ponúka obdubu v podobe zariadenie *Lint-X Rotor* (obr. 3–14). Ide o rotujúci valcovitý filter z ocele. Pri rotácii bubna sa nečistoty zachytávajú na obvode, filtrovaná voda sa opätovne využíva pri predpierke.



obr. 3–13: Aquamiser [11]



obr. 3–14: Lint-X Rotor [13]

4 Odpadové prúdy v prevádzke modelu experimentálnej práčovne LENP NETME Centre

Laboratórium energeticky náročných procesov (LENP) je primárne vybavené súborom bubnových sušičov, valcových žehličov a vsádkových práčok značky Primus a žehliacim lisom. Táto kapitola bude pojednávať o odpadových prúdoch z tohto strojného vybavenia.

4.1 Zostava bubnových sušičov a odpadový prúd

Pre sušenie bielizne do sucha, prípadne na predsušovanie bielizne pred žehlením sa využívajú tri priemyselné sušiče značky Primus modelovej rady T (obr. 4–1) s viacerými typmi ohrevu. Konkrétne ide o [3]:

- T24 G s nominálnou kapacitou bubna 24 kg a plynovým ohrevom,
- T24 S s nominálnou kapacitou bubna 24 kg a parným ohrevom,
- T16 E s nominálnou kapacitou bubna 16 kg a elektrickým ohrevom.



obr. 4–1: Plynová mikroturbína (zľava) a zostava bubnových sušičov [3]

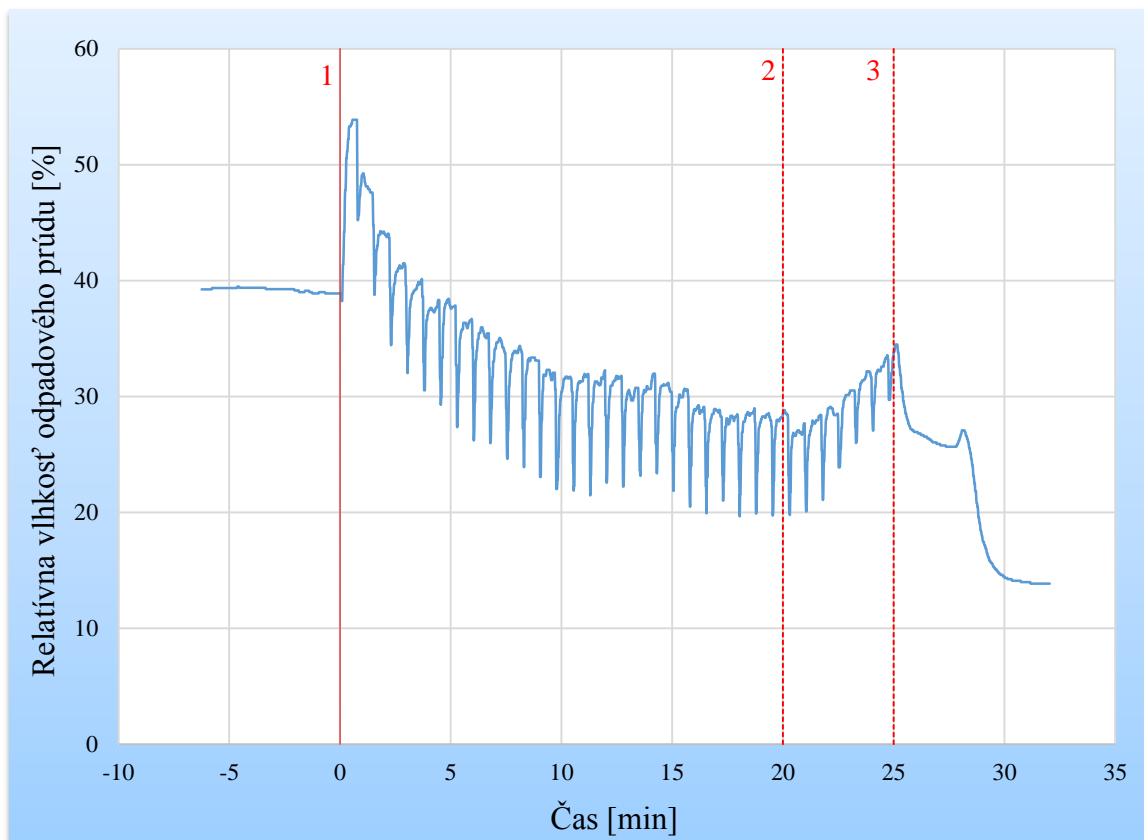
Sušiacie programy sú ľubovoľne kombinovateľné, pričom každý sa skladá z piatich krokov striedavého sušenia a ochladzovania. Sušenie sa ukončuje na základe predvolenej doby sušenia alebo požadovanej zostatkovej vlhkosti bielizne, ktorá je zisťovaná pomocou čidla absolútnej vlhkosti. Výpis základných parametrov bubnových sušičov v LENP je zobrazený v Tab. 4-1.

Tab. 4-1: Základné parametre bubnových sušičov [14]

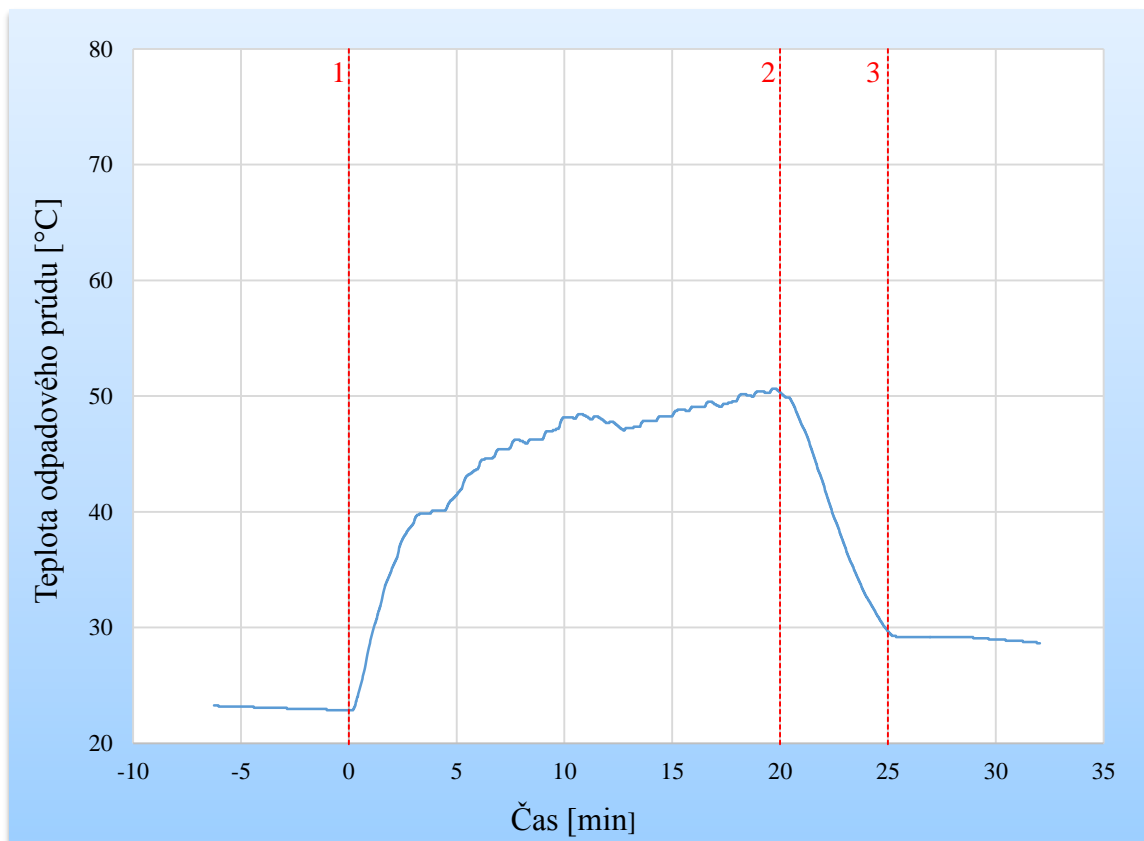
Model	Kapacita bubna [kg _{SP}]	Objem bubna [ℓ]	Druh ohrevu	Príkion el. ohrevu [kW]	Príkion pohonu / ventilátora [kW]	Limit teploty sušenia [°C]	Prietok vzduchu [m ³ /h]
Primus T16 E	16	345	elektrický	24	0,25 / 0,55	70	600
Primus T24 S	24	530	parný	27–36,2 (para 7-10 bar)	0,25 / 0,55	70	950
Primus T24G	24	530	plynový	33 (zemný plyn 2kPa)	0,25 / 0,55	82	900

Odpadový prúd zo sušičov je vo forme teplého vlhkého vzduchu so zvyškami textilných vlákien a textilným prachom. Vlastnosti odpadového prúdu z parného sušiča T24 S sú zobrazené v grafe relatívnej vlhkosti, resp. teploty v závislosti na čase na obr. 4–2, resp. obr. 4–3. Krivky sú vykreslené z archívnych dát zo sušenia vzorky 24 kilogramov pracovných košiel z 100% bavlny uskutočneného v októbri 2015.

Po uvedení stroja do prevádzky nastane úvodné prefukovanie vzduchom viditeľné v grafoch z približne konštantného priebehu relatívnej vlhkosti a teploty odpadového prúdu. Sušiaci program je nastavený na 20 min sušenia a 5 min ochladzovania. Začiatok sušenia je v grafoch vyznačený červenou čiarou č. 1. Pílovitý priebeh krivky relatívnej vlhkosti je spôsobený pravidelnou zmenou zmyslu rotácie bubna, zatiaľ čo tvar krivky teploty je spôsobený reguláciou teploty sušenia na teplotu 70 °C v priestore za bubnom. Teplota je regulovaná iba vypínaním a zapínaním ohrevu pri dosiahnutí hraničných hodnôt. Červená čiara č. 2 vyznačuje koniec sušenia a začiatok ochladzovania. Z grafu je vidieť značný pokles teploty v priebehu 5 minút, čo spôsobí nárast relatívnej vlhkosti. Po ukončení ochladzovania (červená čiara č. 3) má teplota i relatívna vlhkosť klesajúci trend až do vypnutia sušiča.



obr. 4-2: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu z parného sušiča T24 S



obr. 4-3: Časová závislosť teploty odpadového prúdu z parného sušiča T24 S

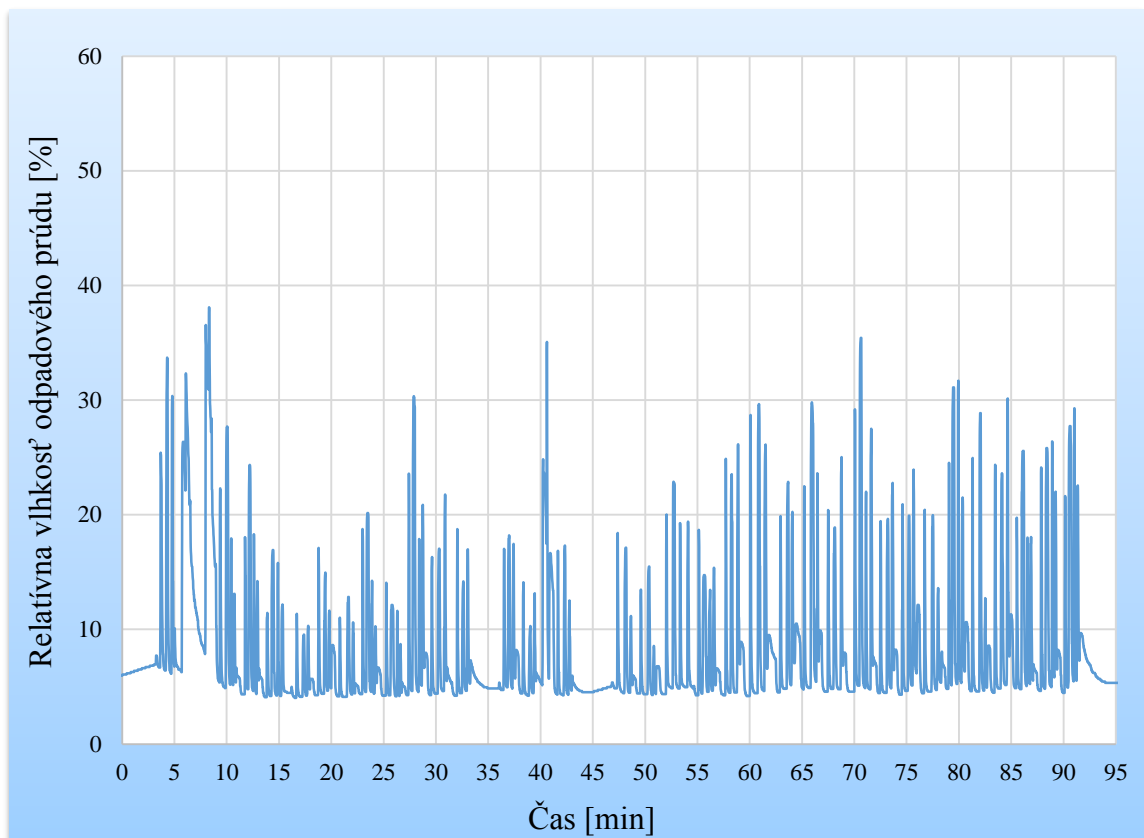
4.2 Žehliaci lis, zostava valcových žehličov a odpadový prúd

Tvarová bielizeň sa finalizuje na žehliacom lise s parným ohrevom CT-750/ULL, ktorý je na obr. 4-4. Kompletnú výbavu dopĺňa profesionálna elektrická naparovacia žehlička a žehliaci stôl s odsávaním, profesionálny stroj na šitie, stoly s nerezovým povrchom pre skladanie bielizne a ďalšia skladovacia technika [3].

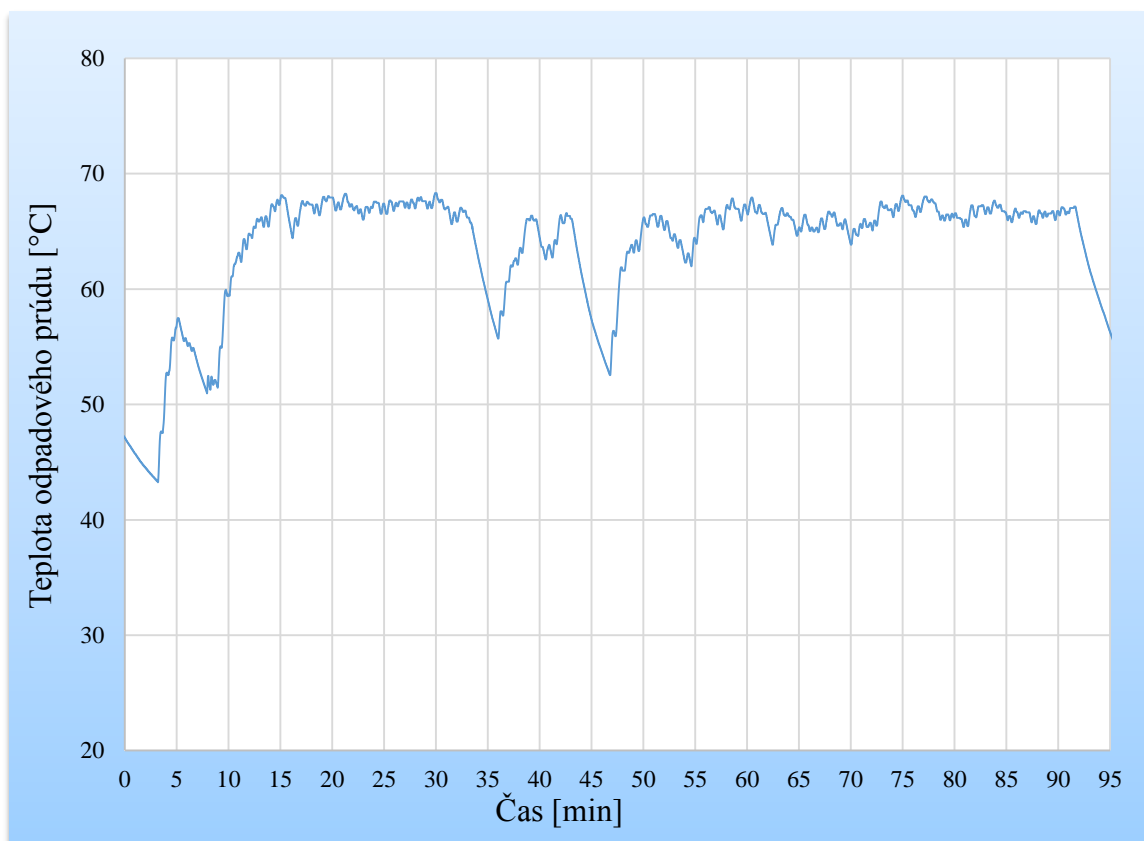


obr. 4-4: Žehliaci lis a výber prevádzkového príslušenstva [3]

Vlastnosti odpadového prúdu žehliaceho lisu sú vyobrazené v grafoch relatívnej vlhkosti, resp. teploty v závislosti na čase na obr. 4-5, resp. na obr. 4-6. Archívne dáta boli poskytnuté z finišovania pracovných košiel z priemyselnej kuchyne zo 100% bavlny v septembri 2015. Pracovná teplota na doske lisu odpovedá teplote nasýtenej vodnej pary pri tlaku 0,5 MPa, čo je približne 152 °C. Na lise sa pracovalo celý deň, avšak graf zachytáva dobu jedného „pracovného cyklu“. Počiatočná teplota preto neodpovedá okolitej teplote prostredia ako to bolo pri odpadových prúdoch z ostatného strojného vybavenia. Priebeh krivky relatívnej vlhkosti odpovedá charakteru práce na lise. Pri vložení „čerstvej“ vlhkej bielizne krivka prudko narastie, pričom pri opätovnom lisovaní, prípadne nepokrytí celej účinnej plochy lisu, narastá do menších hodnôt. Krivka teploty po otvorení lisu mierne klesne, avšak počas finišovania sa držala na približne konštantnej úrovni. Výraznejšie klesla iba dvakrát, čo bolo zrejme spôsobené ponechaním lisu otvoreného po dlhšiu dobu.



obr. 4-5: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu zo žehl. lisu CT-750/ULL



obr. 4-6: Časová závislosť teploty odpadového prúdu zo žehl. lisu CT-750/ULL

Na proces žehlenia rovnej bielizne sú v LENP umiestnené dva valcové žehliče (obr. 4–7) značky Primus [1]:

- I33–200 G s plynovým ohrevom a pracovnou šírkou 2 m,
- I33–200 E s elektrickým ohrevom a pracovnou šírkou 2 m.

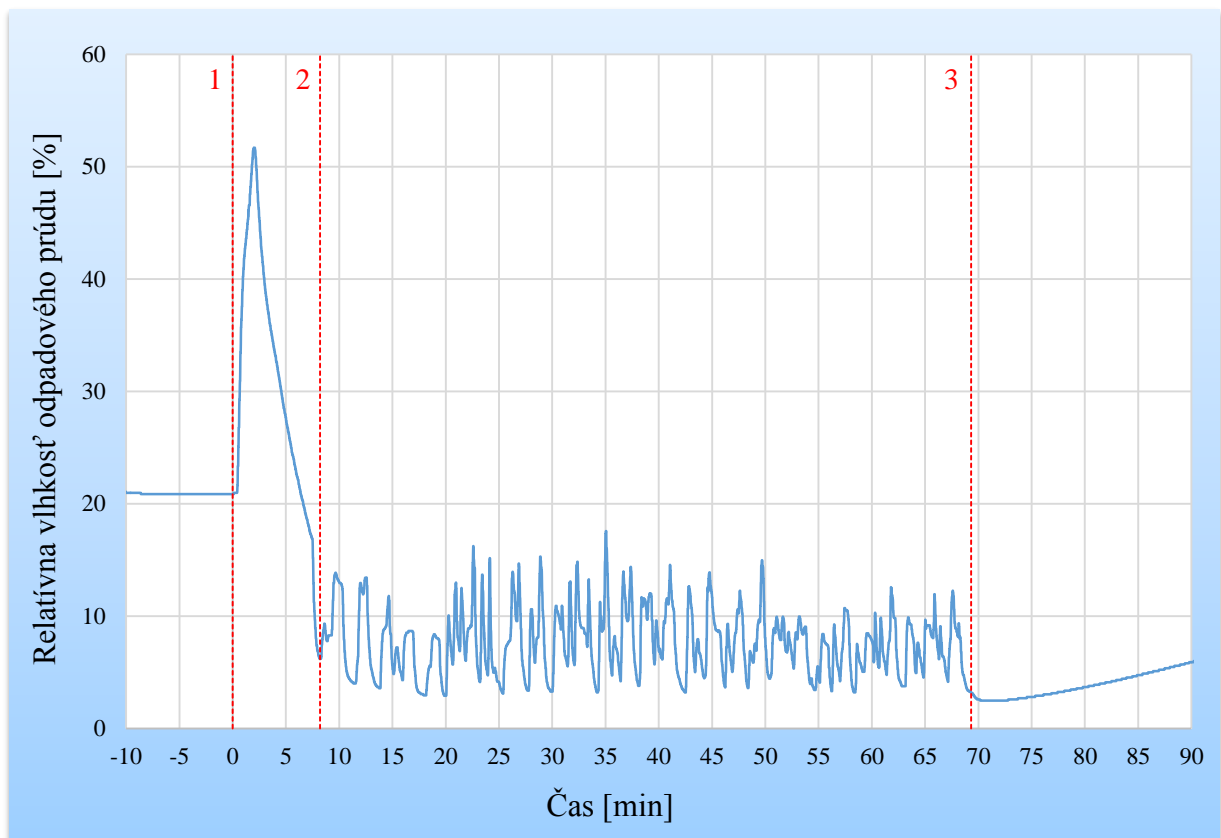


obr. 4–7: Zostava valcových žehličov [3]

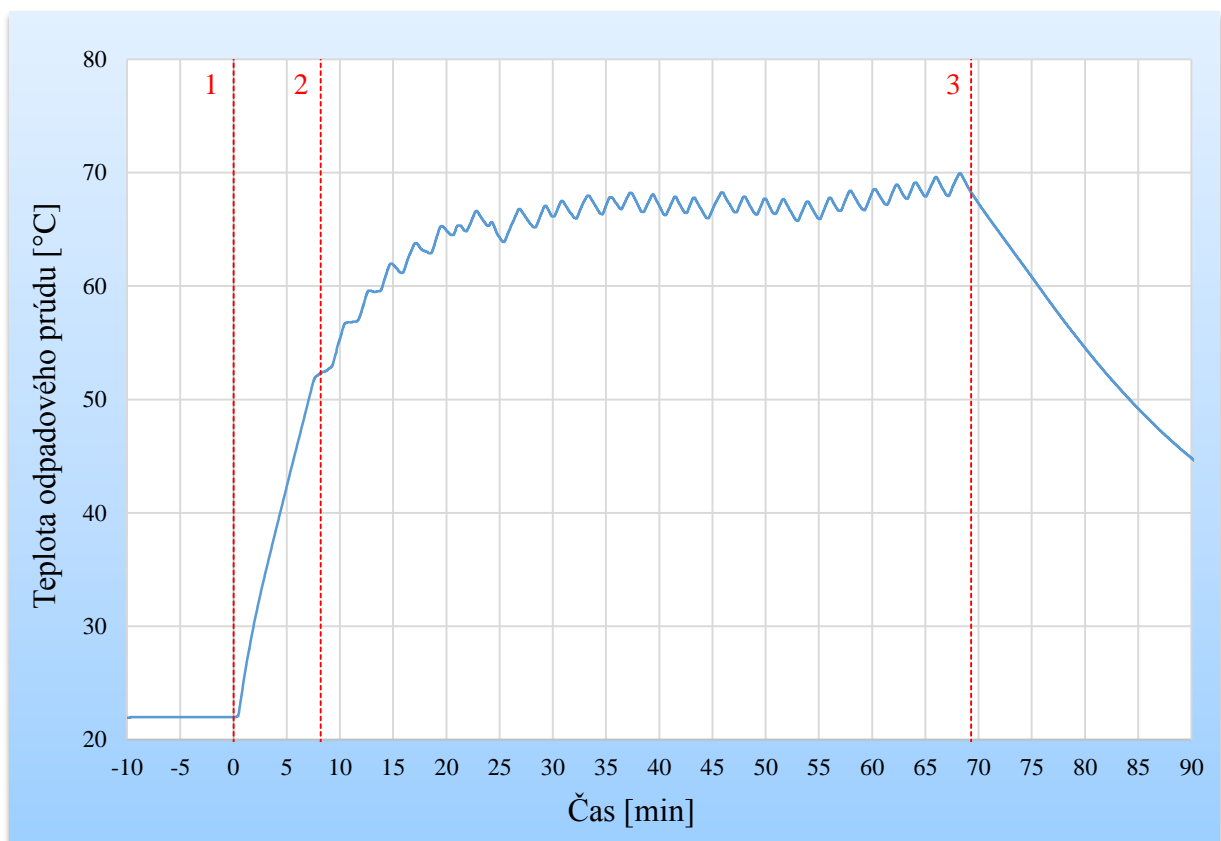
Žehliče slúžia na žehlenie rovnej bielizne, prípadne na odstránenie zostatkovej vlhkosti. Pracovná teplota valca je nastaviteľná do 180 °C a rýchlosť žehlenia (posuvu bielizne) v rozmedzí 1-6 m/min. Výpis ich základných parametrov je zobrazený v Tab. 4-2.

Produkujú odpadový prúd vo forme teplého vlhkého vzduchu obsahujúceho nečistoty v podobe textilného prachu z bielizne. Vlastnosti odpadového prúdu sú zobrazené v grafe relatívnej vlhkosti (obr. 4–8) a v grafe teploty (obr. 4–9) v závislosti na čase z archívnych dát z novembra 2015. Žehlená vzorka bola tvorená rovnou jednovrstvovou bielizňou zo 100% bavlny pri nastavenej rýchlosti žehlenia 3 m/min.

Po zapnutí žehliča sa začne otáčať valec a stroj sa prefukuje. Červená čiara č. 1 označuje začiatok ohrevu za približne lineárneho nárastu teploty. Dá sa predpokladať, že prudká výchylka relatívnej vlhkosti bola spôsobená odparením zostatkovej skondenzovanej vlhkosti vo vnútri stroja. Červená čiara č. 2 vyznačuje začiatok žehlenia – vloženie prvých kusov bielizne. Priebežný nárast teploty na približne 67 °C vyvoláva dojem, že stroj ešte nebol nahriaty na požadovanú teplotu (ohrev trvá zhruba 10 – 15 min). Pílovitý priebeh krivky relatívnej vlhkosti a teploty je zapríčinený štýlom ukladania bielizne na valec a medzerami medzi jednotlivými kusmi žehlenej bielizne. Teplota odpadového prúdu je však ovplyvňovaná tiež reguláciou pracovnej teploty na valci na požadovaných 180 °C (regulácia vypínaním a zapínaním ohrevu). Červená čiara č. 3 značí koniec žehlenia, stroj sa začne ochladzovať a teplota postupne klesá za mierneho nárastu relatívnej vlhkosti až do vypnutia.



obr. 4–8: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu z plyn. žehliču I33–200 G



obr. 4–9: Časová závislosť teploty odpadového prúdu z plyn. žehliču I33–200 G

Tab. 4-2: Základné parametre valcových žehličov [15]

Model	Kapacita [kg/h]	Priemer / dĺžka valca [mm/mm]	Druh ohrevu	Príkion ohrevu [kW]	Príkion pohonu / ventilátora [kW]	Rýchlosť žehlenia [m/min]
Primus I33-200E	70	320 / 2080	elektrický	27,9	0,18 / 0,095	1 – 6
Primus I33-200G	72	320 / 2080	plynový	30	0,18 / 0,095	1 – 6

4.3 Zostava vsádkových práčok a odpadový prúd

Jadro celého procesu tvorí 5 odpružených vysokootáčkových priemyselných práčok značky Primus modelovej rady FX s kombinovaným parným a elektrickým ohrevom (obr. 4–10). Ide konkrétne o [3]:

- 2 ks modelu FX240 s nominálnou kapacitou bubna 24 kg,
- 2 ks modelu FX180 s nominálnou kapacitou bubna 18 kg,
- 1 ks modelu FX80 s nominálnou kapacitou bubna 8 kg.



obr. 4–10: Zostava vsádkových práčok [3]

Pracie programy sú voľne kombinovateľné pomocou jednotkových operácií (predpierka, pranie, plákanie a i.) s voliteľnými parametrami – teplotou, výškami hladiny, rýchlosťou otáčania bubna a pod. Pomocou prídavných trojcestných ventilov je možné zvoliť vypustenie odpadovej vody do kanalizácie, resp. jej opätovné využitie v rámci recirkulačného systému [3].

Výpis základných parametrov vsádkových práčok v LENP je zobrazený v Tab. 4-3.

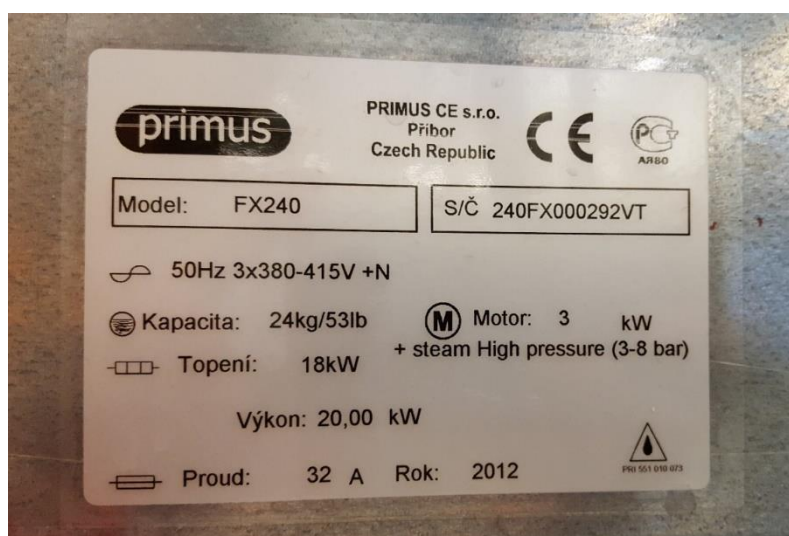
Tab. 4-3: Základné parametre vsádkových práčiek [16]

Model	Kapacita bubna* [kg _{SP}]	Objem bubna [ℓ]	Druh ohrevu	Príkon el. ohrevu [kw]	G faktor pri odstreďení
Primus FX 80	8	75	elektrický/parný	6	400
Primus FX 180	18	180	elektrický/parný	18	400
Primus FX 240	24	240	elektrický/parný	18	400

Odpadový prúd z práčok je vo forme tzv. šedej vody s pevnými organickými nečistotami a zbytkami práce chémie. Podrobnejšie vlastnosti odpadového prúdu sú obsahom merania práce a budú popísané v nasledujúcej kapitole.

5 Meranie vlastností odpadového prúdu vsádkovej práčky Primus FX 240 a ideový návrh využitia odpadového tepla

Nasledujúca kapitola sa bude venovať príprave merania a vyobrazeniu celkovej situácie pri meraní. Budú predstavené namerané vlastnosti odpadového prúdu z priemyselnej vsádkovej práčky Primus FX 240 s nominálnou kapacitou bubna 24 kg a s parným ohrevom. Jej parametre sú zobrazené na jej štítku na obr. 5–1. Z nameraných veličín bude vypočítané množstvo potenciálne využitého odpadového tepla spolu s ideovým návrhom jeho využitia v závere kapitoly.



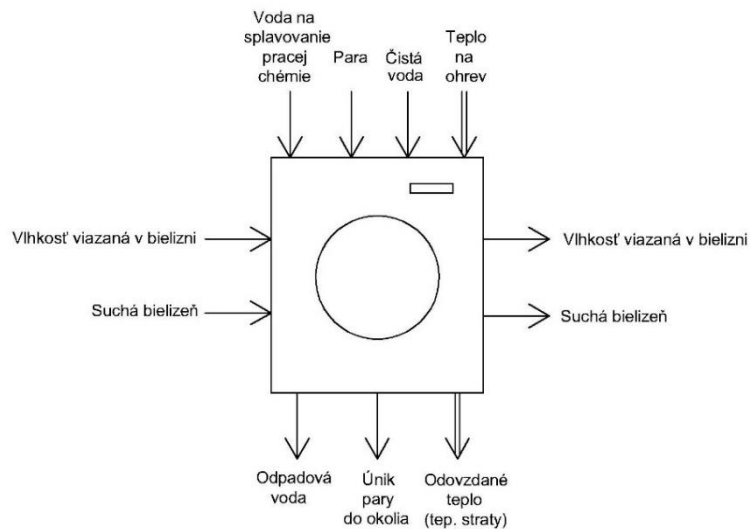
obr. 5–1: Štítok práčky Primus FX 240 použitej pri meraní

5.1 Príprava a spôsob merania

Príprava merania spočívala v úvahe o možnostiach určenia množstva potenciálne využiteľného tepla z odpadovej vody. Ponúkali sa 2 rôzne metódy a to:

- nepriama – pomocou bilančnej úvahy. Na základe údajov o množstve vstupujúcej čistej vody, pary potrebnej na ohrev a zostatkovej vody v bielizni vieme relatívne presne určiť vlastnosti odpadového prúdu,
- priama – odmeraním teploty a hmotnosti odpadového prúdu. Ponúkali sa 2 spôsoby:
 - zapojením teplomeru a prietokomeru na odpadové potrubie,
 - vypustením odpadovej vody do nádrže.

Pomocou nepriamej metódy sa však nedajú zistiť vlastnosti odpadového prúdu po jednotlivých krokoch. Teploty sa dajú len odhadnúť na základe nastavenej teploty pracovného programu s uvažovaním tepelných strát a hmotnosť vody viazanej v bielizni sa dá určiť až po dokončení prania a zvážením mokrej bielizne. Bilančný model práčky je zobrazený na obr. 5–2.



obr. 5–2: Bilančný model práčky

Po vylúčení nepriamej metódy ostávajú 2 spôsoby určenia vlastností odpadového prúdu pomocou metódy priamej. Pri zapojení prietokomeru na odtok práčky by bolo meranie problematické z dôvodu nárazovosti vypúšťania vody a nestálosti prietoku. Najvhodnejšie sa javí použitie indukčného alebo ultrazvukového prietokomeru, oba však potrebujú plne zaplavené potrubie pre správne fungovanie (spenená voda by taktiež robila problém). Boli by potrebné zásahy do odtokového potrubia, čo by však negatívne ovplyvnilo potrebu rýchleho vypustenia vody z práčky.

Z vyššie uvedených dôvodov bola zvolená posledná možnosť – voda sa vypustila do vopred pripravenej nádrže a okamžite sa odmerala jej teplota a hmotnosť. Bol uprednostnený parný ohrev práčky, pretože trvá kratšie a obecné je ekonomicky výhodnejší než elektrický ohrev. Podmienkou bola výroba vhodnej nádrže s požadovaným objemom aspoň 150 litrov, s dostatočne nízkou výškou pre zachovanie plynulého odtoku vody z práčky a s možnosťou rýchleho vypustenia medzi jednotlivými pracovnými krokmi. Autor práce zvolil plastovú IBC nádrž na dažďovú vodu, ktorá sa následne nechala upraviť. Nádrž a jej vypúšťací ventil je zobrazená na obr. 5–3, resp. na obr. 5–4.



obr. 5–3: Nádrž na vypustenie odpadovej vody z práčky



obr. 5–4: Vypúšťací ventil

Na meranie hmotnosti bola použitá nájazdová váha od firmy LESAK. Jej parametre a označenie sú uvedené v *Tab. 5-1* a vyobrazená je na obr. 5-5 a obr. 5-6.

Tab. 5-1: Parametre nájazdovej váhy od firmy LESAK

Typ	Váha nájazdová 4TU0909–N/200
Indikátor	SC MIN
Sériové číslo	1083
Výrobca	LESAK s.r.o, BRNO
ES Certifikát	TCM 128/10–4735
Váživosť	2 – 200 kg
Dielik = Chyba	100 g



obr. 5-5: Plošina nájazdovej váhy od firmy LESAK



obr. 5-6: Indikátor váhy od firmy LESAK

Na meranie teploty bol použitý digitálny teplomer od firmy GHM–GREISINGER. Jeho parametre a označenie sú v *Tab. 5-2* a vyobrazený je na obr. 5-7.

Tab. 5-2: Parametre digitálneho teplomeru od firmy GHM-GREISINGER

Typ	Digital Thermometer GTH175PT-T-00-CO
Sériové číslo	600224
SAP VUT	001000239176-0000
Výrobca	GHM-GREISINGER
Rozsah	-199,9 °C ... +199,9 °C
Presnosť	0,1% v rozsahu teplôt -70,0...+199,9 °C
Typ čidla	Pt 1000



obr. 5-7: Digitálny teplomer od firmy GHM-GREISINGER

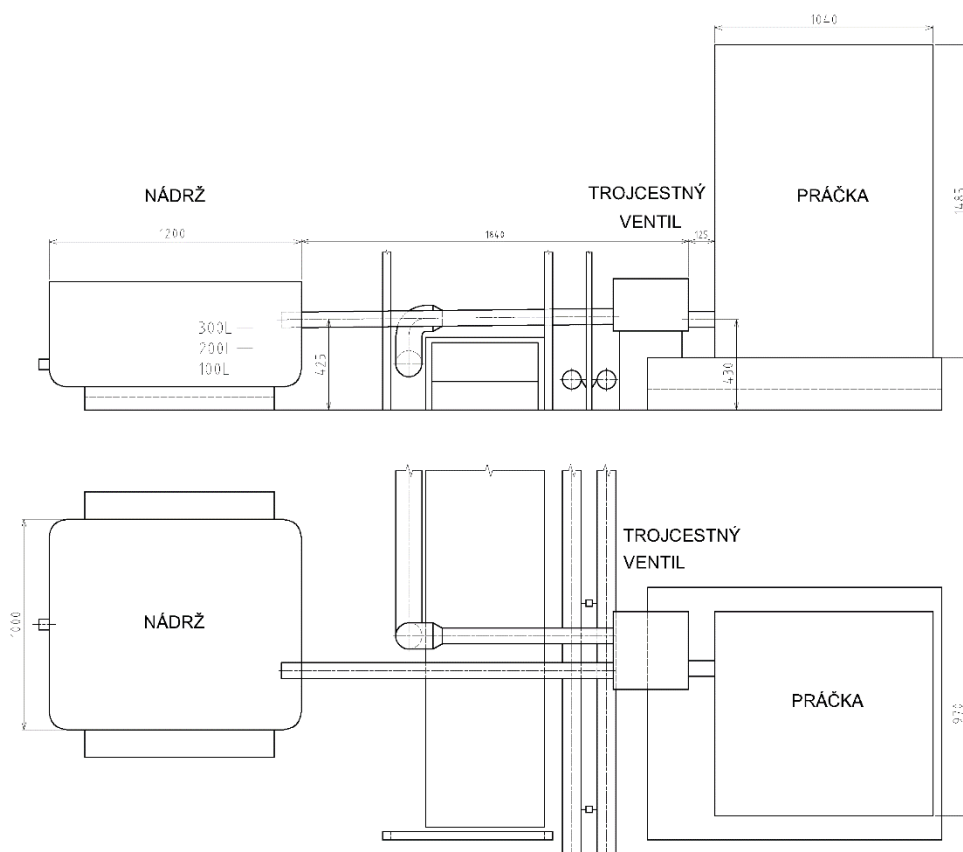
Situácia pri meraní je zachytená na obr. 5-8, resp. obr. 5-9 a na schematickom nákrese na obr. 5-10.



obr. 5-8: Pohľad z boku na výtok z práčky, nádrž a jej odtok



obr. 5-9: Výtok z práčky



obr. 5-10: Schematický náčrt situácie pri meraní

Pralo sa pri pracovom programe č. 7 – KUCHYNE 60° + 90° CL, ktorý pozostáva zo 6 krokov. Po každom kroku je použitá voda z práčky vypustená a napustí sa čistá. Ohrev začne až po napustení bubna na danú výšku hladiny. Časový interval kroku sa v prvej trojici krokov začne počítat' až po ukončení ohrevu. V druhej trojici krokov sa začne počítat' po dosiahnutí požadovanej výšky hladiny (ide o plákanie, voda sa neohrieva).

Krok č. 1, predpierka, je nastavený na teplotu 60 °C. Tento krok trvá 10 min a po jeho skončení nasleduje 0,5 min vypúšťanie pri konštantných otáčkach bubna. Krok č. 2, resp. č. 3, hlavné pranie, sú nastavené na praciú teplotu 90 °C, resp. 60 °C. Po oboch krokoch nasleduje odstredenie pri otáčkach 370 ot/min po dobu 1 min. Kroky č. 4, č. 5 a č. 6 sú plákania, napúšťaná čistá voda sa už neohrieva (jej oteplenie spôsobuje zostatková voda v bielizni po kroku č. 3). Kroky č. 4 a č. 5 trvajú 4 min a nasleduje po nich odstredenie pri 370 ot/min po dobu 1 min. Posledný krok č. 6 je nastavený na 6 min so záverečným odstredením pri 940 ot/min po dobu 5 min.

Nastavenie pracieho programu č. 7 je spolu s nastavením pracieho programu č. 9 (bol použitý na zaplavenie potrubia a vyplavenia zvyškov chémie pri meraní bez použitia pracích detergentov) je uvedené v prílohe [P1]. Teplota okolia sa pri meraní pohybovala v rozmedzí 22 – 23 °C.

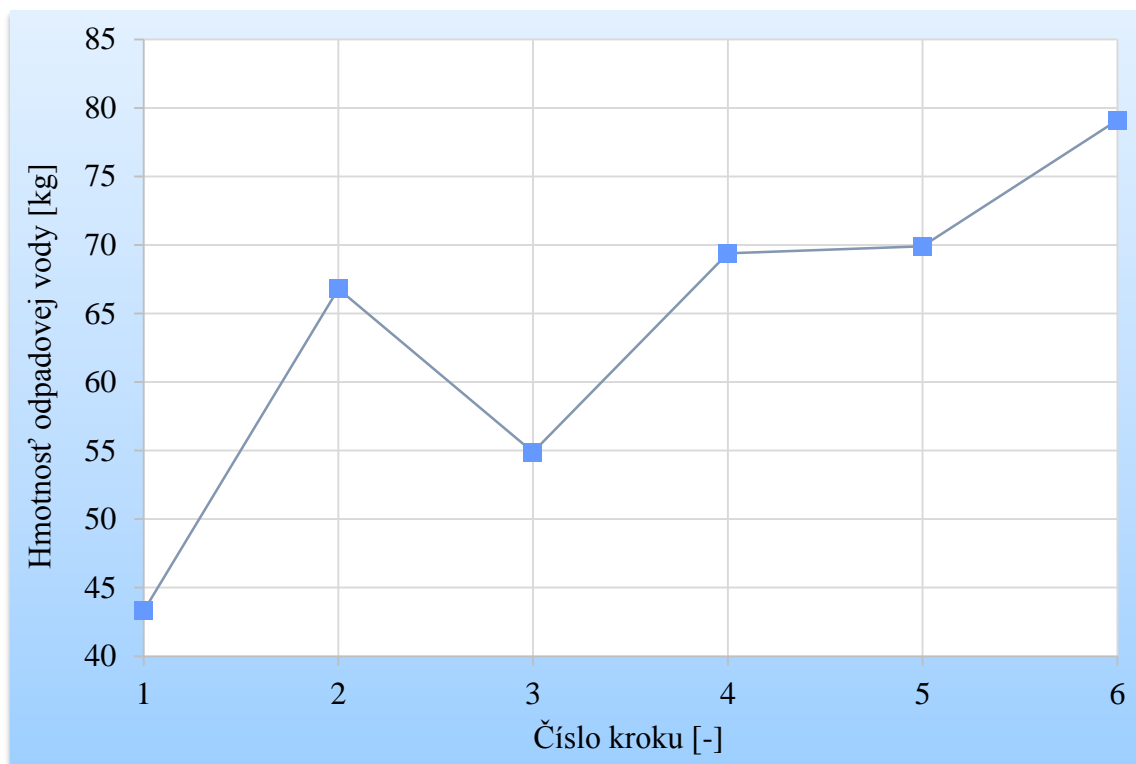
5.2 Meranie s použitím pracích detergentov

Meranie prebiehalo na priemyselnej vsádkovej práčke Primus FX 240 s parným ohrevom s nominálnou kapacitou bubna 24 kg. Použil sa prací program č. 7 KUCHYNĚ a bola opraná vzorka 24,0 kg pracovného kuchynského oblečenia z menzy zo 100% bavlny. Meranie s použitím pracej chémie prebehlo len raz, pretože dráždila dýchacie cesty osoby vykonávajúcej meranie. Voda tiež výrazne penila, čo komplikovalo situáciu s jej meraním a rýchlym vypúšťaním. Peniaca voda na výtok z práčky je vidieť na obr. 5–11. Pre bezpečnosť osoby prevádzajúcej meranie boli použité pracovné pomôcky – gumené rukavice a ochranný tvárový štít.

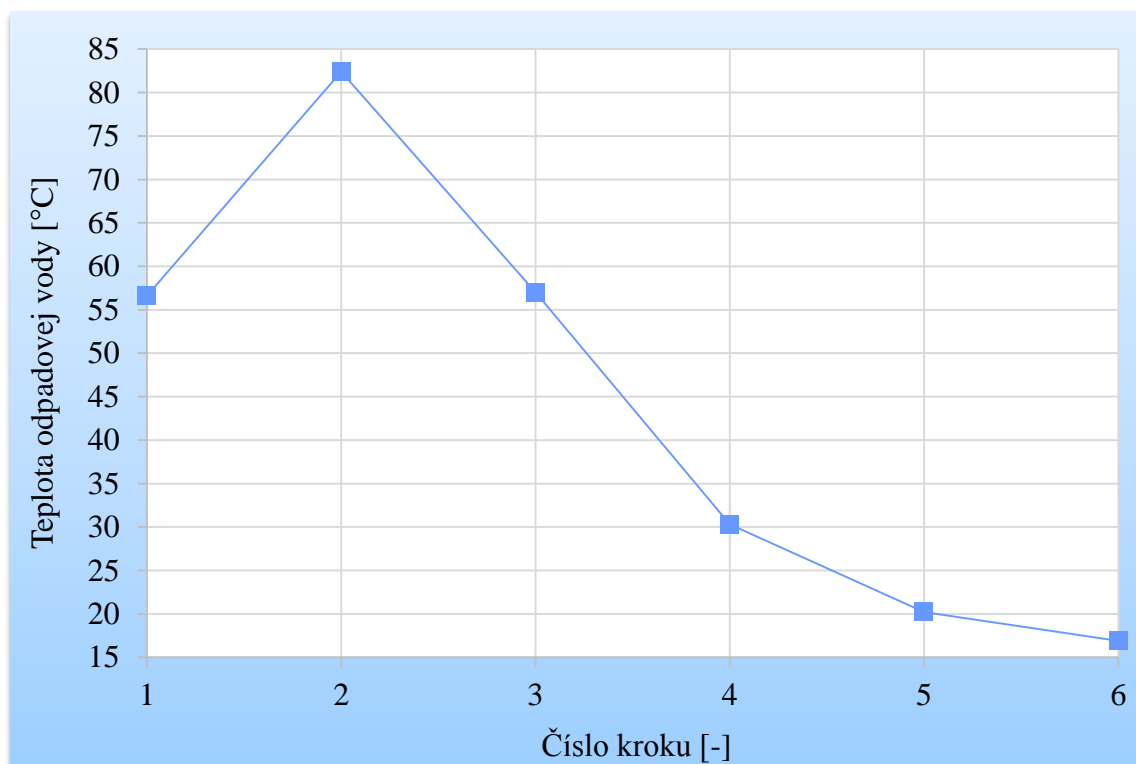


obr. 5–11: Meranie s použitím pracej chémie

Vlastnosti odpadového prúdu s obsahom práce chémie sú zobrazené v grafe hmotnosti, resp. teploty odpadovej vody v závislosti na pracovných krokoch na obr. 5–12, resp. na obr. 5–13. Konkrétne hodnoty spolu s hmotnosťou mokrej bielizne po dopraní sú usporiadané v Tab. 5-3.



obr. 5–12: Hmotnosť odpadovej vody s pracou chémiou v závislosti na jednotlivých krokoch



obr. 5–13: Teplota odpadovej vody s pracou chémiou v závislosti na jednotlivých krokoch

Tab. 5-3: Hmotnosť a teplota odpadovej vody a hmotnosť mokrej bielizne po dopraní

krok	m [kg]	t [°C] ¹
1	43,3	56,6 (57,5)
2	66,8	82,4 (86,0)
3	54,9	57,0 (58,1)
4	69,4	30,3 (30,5)
5	69,9	20,2 (20,3)
6	79,1	16,9 (16,8)
Hmotnosť mokrej bielizne [kg]		36,1

Konkrétne typy a množstvá použitých detergentov sú usporiadané v Tab. 5-4.

Tab. 5-4: Používaná chémia pri pracom programe č. 7 KUCHYNĚ

Č. Detergentu - Názov	Krok č.	Dávka		Hmotnosť čistej vody	Koncentrácia
		[g/kg _{SP}]	[g/24 kg _{SP}]	[kg]	[g/l]
1 - Alfa Professional	1	15	360	80	4,5
2 - Zeva P	1	8	192		2,4
4 - Zeva EM	1	8	192		2,4
1 - Alfa Professional	2	12	288	39	7,4
3 - Zeva SB	2	1	24		0,6
6 - Zeva CL	3	10	240	55	4,4
3 - Zeva SB	4	3,5	84	74	1,1
7 - Zeva D	6	5	120	61	2,0

Z dôvodu uskutočnenia len jedného merania a s použitím inej vzorky bielizne nie sú vlastnosti odpadového prúdu s chémiou uvažované pri následných výpočtoch množstva využiteľného tepla v tejto kapitole.

5.3 Meranie bez použitia detergentov

Meranie bez chémie prebehlo štyrikrát s použitím pracieho programu č.7 KUCHYNĚ mimo hlavnej prevádzky LENP ako pracovne. Vzorka bielizne sa líšila od vzorky pri praní s chémiou, bolo použitých 24 kg pracovných nohavíc (džínsov) zo 100% bavlny. Pri meraní vlastností odpadového prúdu z práčky sa dodržiaval nasledovný postup. Na začiatok sa spustil prací program č. 9 NEUTRALIZÁCIA pre vypláchnutie práčky od pozostatkov chémie a zaplavenie potrubia. Nato bol otvorený prívod pary (bola použitá stredotlaková para s tlakom približne 0,8 MPa) a spustený prací program č. 7. Po každom

¹ V zátvorke je uvedená informatívna hodnota teploty odpadového prúdu na výtok z práčky. Najmä pri kroku č. 2 je zrejme rýchle chladnutie vody v nádrži

kroku práčka vypustila použitú vodu a začala s napúšťaním a následným ohrevom čistej vody. Medzičasom sa zmerala teplota odpadovej vody v nádrži, zvážila jej hmotnosť a následne sa vypustila. Po dopraní sa zistila hmotnosť mokrej bielizne pre určenie množstva zostatkovej vody viazanej v bielizni. Namerané hodnoty hmotnosti a teploty odpadovej vody v každom kroku pri jednotlivých praniach spolu s hmotnosťou mokrej bielizne po dopratí sú zobrazené v Tab. 5-5.

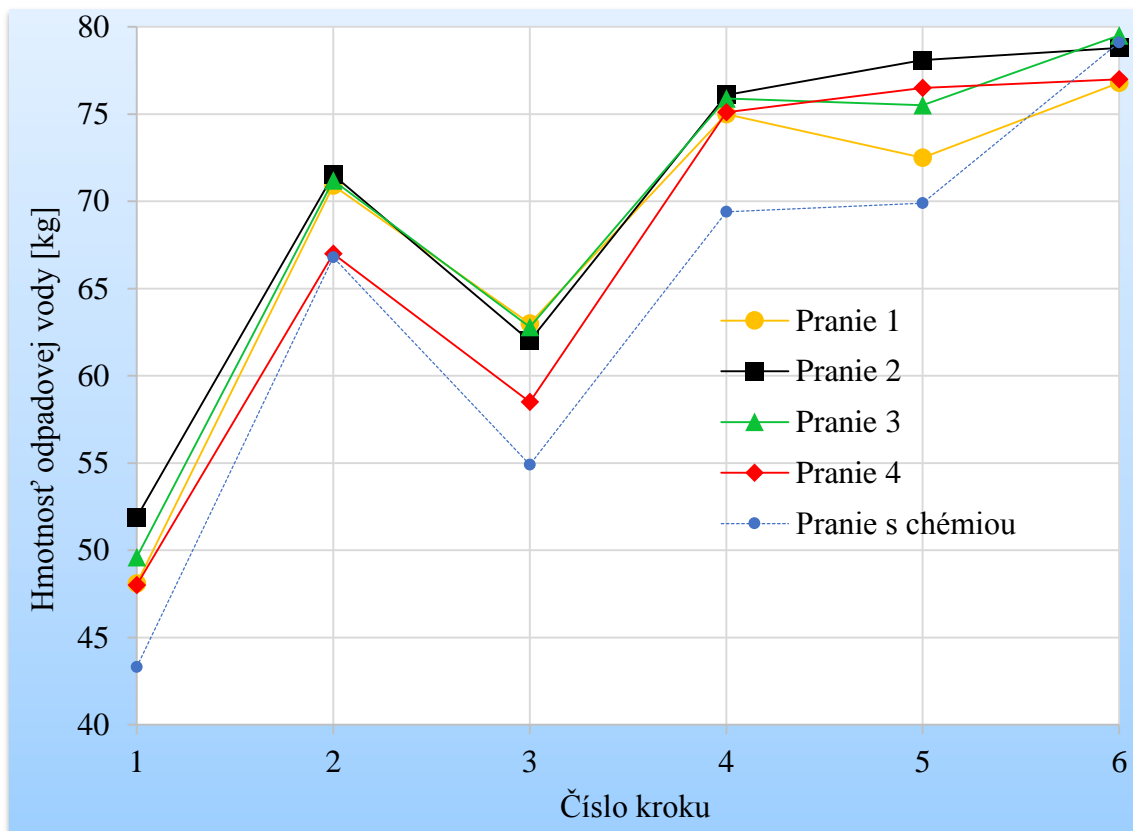
Tab. 5-5: Hmotnosť a teplota odpadovej vody s hmotnosťou mokrej bielizne po dopraní

Pranie		1	2	3	4
Číslo kroku					
1	m [kg]	48,1	51,9	49,6	48,0
	t [°C]	55,2	54,5	54,3	54,8 (56,6)
2	m [kg]	70,9	71,5	71,2	67,0
	t [°C]	82,5	83,7	85,6 (87,8) ²	85,0 (87,8)
3	m [kg]	63,0	62,0	62,8	58,5
	t [°C]	58,5	58,6	58,3 (59,9)	56,8 (58,0)
4	m [kg]	75,0	76,1	75,9	75,1
	t [°C]	34,3	30,7	32,3 (32,5)	30,2 (30,2)
5	m [kg]	72,5	78,1	75,5	76,5
	t [°C]	24,1	20,1	21,7 (21,7)	20,0 (20,0)
6	m [kg]	76,8 (63+13,8) ³	78,8 (62,3+16,5)	79,5 (63,8+15,7)	77,0 (61,5+15,5)
	t [°C]	19,8	16,8	18,3 (18,2)	16,9 (16,9)
Hmotnosť mokrej bielizne [kg]		37,5	38,0	36,3	37,3

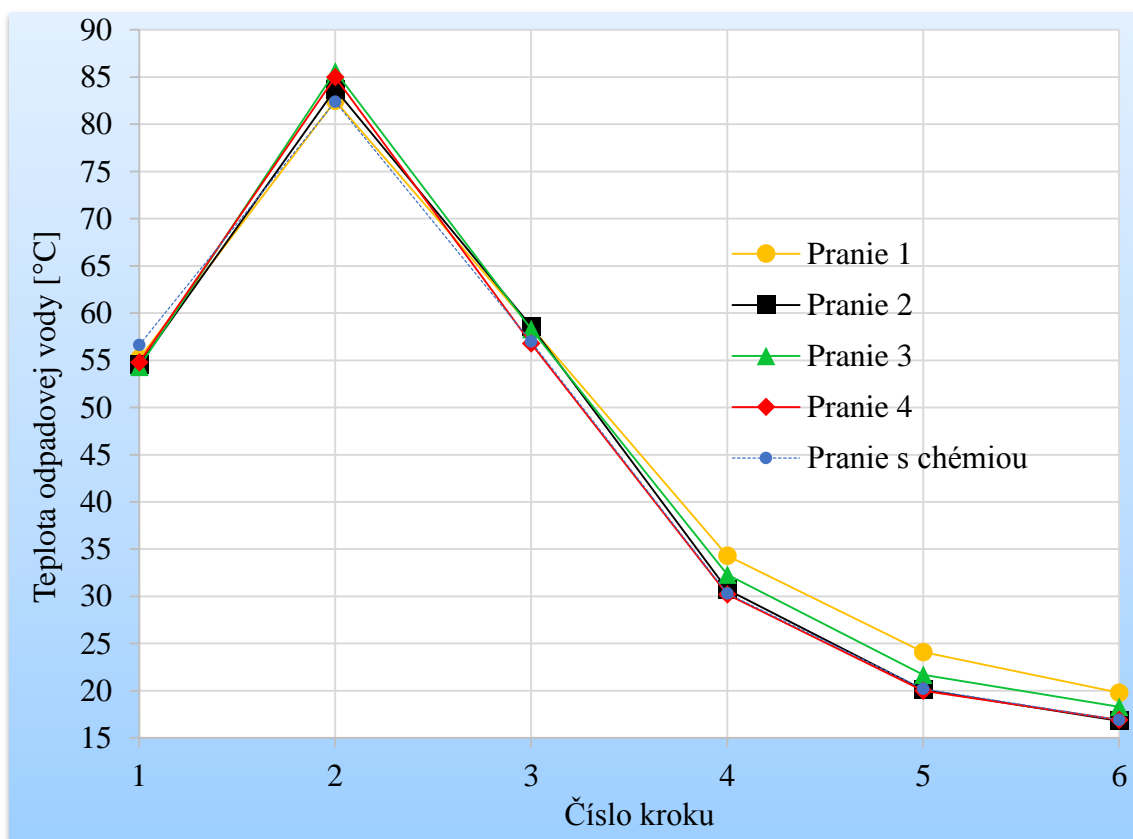
Vlastnosti odpadového prúdu sú zobrazené v grafoch hmotnosti a teploty odpadovej vody na obr. 5–14, resp. na obr. 5–15. Hodnoty hmotnosti a teploty sa pre jednotlivé kroky v rámci viacerých praní výrazne neodlišujú. Priebeh merania s chémiou je zakreslený len na informatívne porovnanie. Z grafu hmotnosti odpadovej vody je vidieť nepriamo úmerná závislosť viskozity vody na teplote. Pri poklese teploty vody za zachovania konštantných otáčok bubna narastie viskozita vody a z práčky jej vytečie menej. Vyššia hmotnosť odpadovej vody v kroku č. 2 sa okrem nižšej hodnoty viskozity dá pripísať požadovanej pracovnej teplote. Ohrev začne až po napustení práčky na danú výšku hladiny v bubne a pre dosiahnutie vyššej teploty je potreba viac pary, čo sa odzrkadlí v hmotnosti odpadovej vody.

² V zátvorke je uvedená informatívna teplota odpadovej vody na výtoky z práčky. Začala sa merať až pri 2. kroku prania č.3.

³ Hmotnosť odpadovej vody sme merali pred a po záverečnom odstredovaní.



obr. 5–14: Graf hmotnosti odpadovej vody v závislosti na jednotlivých krokoch



obr. 5–15: Graf teploty odpadovej vody v závislosti na jednotlivých krokoch

5.4 Bilančný výpočet prania

Na základe bilančného modelu práčky (obr. 5–2) pri praní sa ponúka overiť správnosť nameraných hodnôt pomocou bilančného výpočtu. Pre zjednodušenie výpočtov je energetický bilančný tok zanedbaný a uvažuje sa iba tok hmotnostný. Platí pre neho vzťah:

$$\sum_i m_i = 0 \quad (5.1)$$

Kde m_i znamená celkovú hmotnosť prúdu a i jeho číslo. Vstupné zložky celkovej hmotnosti prúdu sa uvažujú ako kladné a sú to: suchá bielizeň, vlhkosť viazaná v bielizni, čistá voda, voda na splavovanie chémie a para. Výstupné zložky celkovej hmotnosti prúdu sú uvažované ako záporné a konkrétne sú to: suchá bielizeň, vlhkosť viazaná v bielizni, odpadová voda a únik pary do okolia.

Keďže ide o pranie bez použitia detergentov, voda na splavovanie chémie vo výpočte nefiguruje. Hmotnosť suchej bielizne a hygroskopickéj vlhkosti v nej viazanej je rovnaká pre vstup aj výstup. Množstvo uniknutej pary do okolia zanedbáme. Ostane nám teda hmotnosť pary, čistej vody, odpadovej vody a výstupnej vlhkosti viazanej v bielizni. Z toho si vyjadríme hmotnosť pary na základe dostupnosti ostatných údajov. Pre zjednodušenie výpočtov bola uvažovaná hustota vody 1000 kg/m^3 .

Tab. 5-6: Hmotnosti odpadovej vody, zostatkovej vlhkosti v bielizni po dopraní, čistej vstupnej vody a pary pri každom praní

Číslo prania	1	2	3	4
Odpadová voda [kg]	406,3	418,4	414,5	402,1
Vlhkosť v bielizni [kg]	13,5	14	12,3	13,3
Čistá voda [kg]	414,0	416,0	412,0	406,0
Para [kg]	5,8	16,4	14,8	9,4

Množstvo pary spotrebovanej na ohrev vodného kúpeľa práčky pri danom pracovnom programe je podľa matematického modelu približne $13,7 \text{ kg}$ v priebehu prvých 3 krokov (kroky 4 – 6 sú plákanie a voda sa neohrieva). [3] Pri uvažovaní tepelných strát sa môže zjednodušene zaokrúhliť na 15 kg .

Hmotnosť použitej pary pri praní č. 2 a č. 3 približne odpovedá tejto hodnote. Avšak pri praní č. 1 a č. 4 je vidieť odchýlku. Môžeme povedať, že táto odchýlka určuje chybu použitej metódy popisovania vlastností odpadového prúdu a pri vzťahnutí na celkové množstvo odpadovej vody z daného čísla prania je chyba $2,3 \%$, resp. $1,4 \%$.

Použitá metóda je teda relatívne presná a s nameranými hodnotami možno ďalej počítať pri množstve využiteľného odpadového tepla.

5.5 Výpočet množstva potenciálne využiteľného tepla a ideový návrh jeho využitia

Vzhľadom na malý počet praní, absenciu výrazných extrémov a fakt, že súčet odchýlok meraní od priemeru sa rovná nule, je aritmetický priemer hmotností (5.2) a teplôt (5.3) jednotlivých krokov optimálnou charakteristikou týchto množín. [17]

Aritmetické priemery hmotností a teplôt sú spolu so smerodajnou odchýlkou hmotností (5.4) a teplôt (5.5) ako mierou rozptýlenosti uvedené v Tab. 5-7.

$$\bar{m} = \frac{\sum_{a=1}^n m_a}{n} \quad (5.2)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{a=1}^n t_a}{n} \quad (5.3)$$

$$s_m = \sqrt{\frac{\sum (m_a - \bar{m})^2}{n - 1}} \quad (5.4)$$

$$s_t = \sqrt{\frac{\sum (t_a - \bar{t})^2}{n - 1}} \quad (5.5)$$

Tab. 5-7: Aritmetický priemer a smerodajná odchýlka jednotlivých krokov

Krok	\bar{m} [kg]	s_m	\bar{t} [°C]	s_t
1	49,4	1,820	54,7	0,392
2	70,2	2,114	84,2	1,383
3	61,6	2,095	58,1	0,843
4	75,5	0,556	31,9	1,848
5	75,7	2,357	21,5	1,916
6	78,0	1,333	18,0	1,411

Celkový súčet hmotností odpadového prúdu je 410,3 kg. Hmotnosť odpadovej vody z hlavného prania je spolu 181,1 kg a hmotnosť odpadovej vody z plákania je dokopy 229,2 kg. Celková produkcia odpadovej vody z plákania odpovedá matematickému modelu pre daný prací program. [3]

Keďže nasledujúce výpočty sú len orientačné, pre zjednodušenie zanedbáme účinnosť prenosu tepla. Výpočet využiteľného tepla obsiahnutého v odpadovom prúde sa teda zjednoduší na kalorimetrickú rovnicu (5.6). V Tab. 5-8 sú zobrazené hodnoty využiteľného odpadového tepla pre jednotlivé kroky pri vychladení odpadovej vody na teplotu t_0 (15, 20, resp. 25 °C). Vo výpočtoch sa uvažuje s hodnotou tepelnej kapacity vody 4,1818 kJ/(kg·K). [18]

$$Q = \bar{m} \cdot c \cdot (\bar{t} - t_0) \quad (5.6)$$

$$Q = 49,4 \cdot 4,1818 \cdot (54,7 - 15) \doteq 8201,3 \text{ kJ} \doteq 2,28 \text{ kWh}$$

Tab. 5-8: Množstvo potenciálne využiteľného tepla v odpadovom prúde v závislosti na t_0

Krok	Q ($t_0 = 15$ °C)			Q ($t_0 = 20$ °C)			Q ($t_0 = 25$ °C)		
	[kJ]	[kWh]	[kWh/kg _{SP}]	[kJ]	[kWh]	[kWh/kg _{SP}]	[kJ]	[kWh]	[kWh/kg _{SP}]
1	8201,3	2,28	0,09492	7168,4	1,99	0,08297	6135,5	1,7	0,07101
2	20300	5,64	0,23495	18833	5,23	0,21798	17366	4,82	0,201
3	11085	3,08	0,1283	9797,7	2,72	0,1134	8510,2	2,36	0,0985
4	5329,6	1,48	0,06169	3750,5	1,04	0,04341	2171,3	0,6	0,02513
5	2048,4	0,57	0,02371	466,6	0,13	0,0054	—	—	—
6	962,5	0,27	0,01114	—	—	—	—	—	—

Voda z plákania (krok 4 – 6) sa však môže znova použiť na predpierku a hlavné pranie (krok 1 – 3) a teda pri výpočte využiteľného tepla sa môže uvažovať s t_0 ako s teplotou čistej vody (čo je približne 10 °C). Využiteľné teplo pri použití všetkej vody z plákania je v Tab. 5-9. Pri výpočtoch dosiahnuteľných úspor sa uvažovalo práve s týmto množstvom tepla.

Tab. 5-9: Využiteľné teplo vody z plákania pri použití všetkej vody

Krok	[kJ]	[kWh]	[kWh/kg _{SP}]
4	6908,8	1,92	0,07996
5	3630,2	1,01	0,04202
6	2594	0,72	0,03002

Keďže autorovi práce neboli poskytnuté ceny reálnych nákladov na vodu a výrobu pary v LENP, nasledujúce výpočty potenciálnych úspor sú len orientačné. Vychádzalo sa z ceny distribúcie vody Brněnských vod a kanalizácií, a.s. na rok 2016 [19] a ceny tepla Teplárne Brno, a.s. pre vykurovaciu sezónu 2015/2016 [20] na internetových stránkach daných spoločností.

Vyššie spomínané ceny sú nasledovné:

- voda – celkom 75,14 Kč/m³,
- teplo – 488,30 Kč/GJ (na stránke nie je uvedené, či sa jedná o cenu za pripojenie na parovodný alebo horúcovodný okruh).

V Tab. 5-10 sú uvedené teoreticky dosiahnuteľné úspory v prepočte na kilogram suchej bielizne. Uvažuje sa vychladenie odpadovej vody v kroku 1 – 3 na teplotu t_0 s opätovným využitím všetkej odpadovej vody (a jej tepla) z plákania z kroku 4 – 6.

Tab. 5-10: Teoreticky dosiahnuteľné úspory pri využití odpadového tepla a vody

Q ($t_0 = 15\text{ °C}$)		Q ($t_0 = 20\text{ °C}$)		Q ($t_0 = 25\text{ °C}$)		Voda	
[kWh/kg _{SP}]	[Kč/kg _{SP}]	[kWh/kg _{SP}]	[Kč/kg _{SP}]	[kWh/kg _{SP}]	[Kč/kg _{SP}]	[m ³ /kg _{SP}]	[Kč/kg _{SP}]
0,610178	1,073	0,566345	0,996	0,522512	0,919	0,009574	0,719

Rozdelenie úspor na ekonomické, tepelné a úspory vody na jeden kilogram suchej bielizne, jeden prací cyklus či jeden rok je uvedené v Tab. 5-11. Napriek orientačným hodnotám je zrejmé, že využívanie odpadového tepla a vody prinesie značné úspory na financiách, či množstve spotrebovaného tepla a vody.

Tab. 5-11: Zhodnotenie ekonomických a tepelných úspor a úspor vody pre $t_0 = 15\text{ °C}$ s využitím všetkej odpadovej vody z plákania

Ekonomické úspory	1,792 Kč/kg _{SP}	43,01 Kč/prací cyklus	43 010 Kč/rok ⁴
Tepelné úspory	2197 kJ/kg _{SP}	52 719 kJ/prací cyklus	52,719 GJ/rok
Úspory vody	0,00957 m ³ /kg _{SP}	0,2298 m ³ /prací cyklus	229,8 m ³ /rok

Pri využívaní odpadového tepla sa objavujú určité obmedzenia. Teplota odpadového prúdu sa pohybuje v rozmedzí približne 17 – 88 °C. Súčet koncentrácií detergentov v jednotlivých krokoch pracieho cyklu je uvedený v Tab. 5-12. Obzvlášť agresívny je Detergent 6 – Zeva CL na báze aktívneho chlóru [9] používaný v kroku č. 3. Ďalej ide o nečistoty z textílií, ktoré môžu zanášať tepelný výmenník a o penu vznikajúcu kvôli použitiu chémie. Pena zamedzuje efektívnemu prechodu tepla medzi vodou a teplovýmennou plochou.

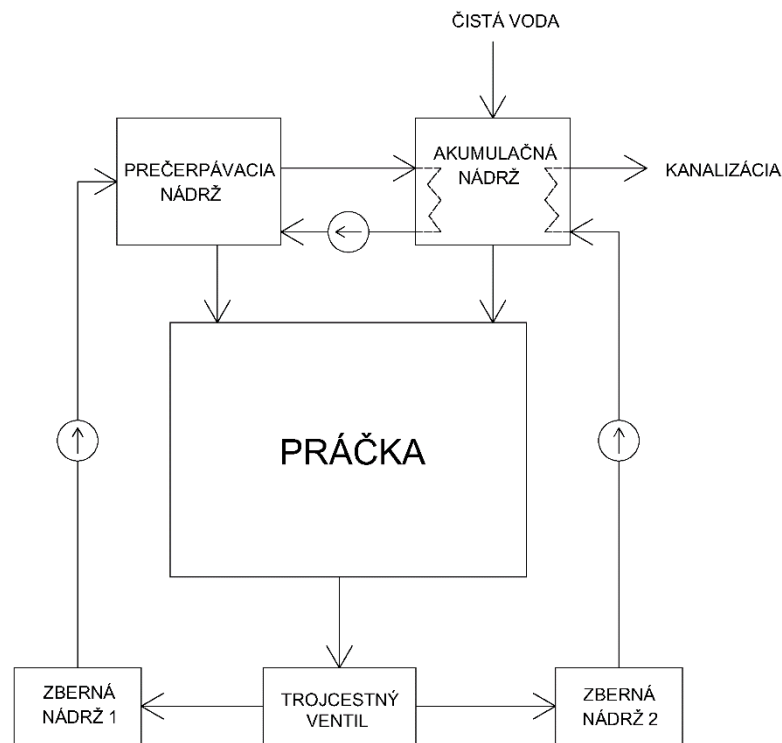
Vzhľadom na uvedené faktory sa ponúka využitie vhodného tepelného výmenníka (prispôbeného proti usadzovaniu nečistôt) z korozivzdornej ocele odolnej voči uvedeným teplotám a koncentrácii pracích detergentov. Bol by zapojený v systéme so zbernou nádržou, v ktorej by prichádzalo k odstráneniu peny z povrchu vody.

Tab. 5-12: Celková koncentrácia detergentov v závislosti na kroku pracieho cyklu

Číslo kroku [-]	1	2	3	4	6
Koncentrácia detergentov [g/l]	9,3	8	4,4	1,1	2,0

Ideový návrh zostavy pre využitie odpadového tepla je na obr. 5–16.

⁴ Pri uvažovaní 4 pracích cyklov za jeden deň pri počte 250 pracovných dní v roku



obr. 5–16: Ideový návrh zostavy pre využitie odpadového tepla

Voda z práčky odteká do trojcestného ventilu, kde je rozdelená podľa toho, či sa jedná o vodu z hlavného prania (využije sa iba teplo) alebo o vodu z plákania (využije sa aj samotná voda). Voda z plákania vyteká do zbernej nádrže 1, odkiaľ je prečerpaná do prečerpávacej nádrže. Pokiaľ by LENP mal suterén, tak by bolo vhodné umiestniť prečerpávaciu nádrž doňho, aby voda mohla odtekať len prostredníctvom gravitácie. Voda z hlavného prania vyteká do zbernej nádrže 2, odkiaľ je prečerpaná cez akumuláciu do kanalizácie. Teplo odovzdá čistej vode, ktorá vyplňa objem akumulácie. Voda z plákania taktiež preteká akumuláciou, kde sa ohrieva. V závislosti na poradí kroku prania, pre ktorý sa napúšťa voda, si práčka odoberie čistú vodu z akumulácie alebo vodu z plákania z prečerpávacej nádrže.

6 Záver

Práca sa zaoberala priemyselným praním bielizne ako modelom energeticky náročného procesu. Bohužiaľ malé množstvo zdrojov akademických informácií o tejto problematike naznačuje nie príliš veľký záujem, napriek potenciálu úspor značného množstva energií a vody ako strategickej suroviny pre život.

Cieľom teoretickej časti bolo úvodné predstavenie LENP NETME Centre ako modelu priemyselnej práčovne. Nasledovalo pojednávanie o procese profesijnej údržby bielizne a spracovanie rešerše o komerčne dodávaných riešeniach využitia odpadového tepla v práčovniach. V súčasnosti sú na trhu viaceré možnosti a v práci boli uvádzané zariadenia od firiem *Procter & Gamble*, *Christeyns* a *Ecolab*. Nato bol spracovaný prehľad odpadových prúdov zo sušičiek, parného lisu a žehličov v prevádzke LENP a uvedené približné vlastnosti týchto prúdov na základe poskytnutých archívnych dát. Tieto odpadové prúdy sú taktiež zaujímavé z hľadiska otázky využitia odpadového tepla.

Praktická časť bakalárskej práce bola zameraná na zistenie vlastností odpadového prúdu z priemyselnej vsádkovej práčky Primus FX 240 s kapacitou bubna 24 kg s parným ohrevom. Na začiatku bolo treba vybrať vhodný spôsob určenia odpadového tepla za pomoci priamej alebo nepriamej metódy a postupne ho realizovať. Celková situácia pripraveného experimentu bola zachytená na schematickom náčrte a viacerých fotografiách spolu s vybavením potrebným na uskutočnenie meraní. Práca sa neskôr venovala popisu meraní s použitím práce chémie, resp. bez jej použitia, vyhodnoteniu nameraných hodnôt a výpočtu potenciálne využiteľného odpadového tepla. Nakoniec boli načrtnuté potenciálne úspory za jeden rok a bol predstavený ideový návrh zostavy na využitie odpadového tepla.

Teoreticky dosiahnuteľné ročné úspory na práčke Primus FX240 s kapacitou bubna 24 kg s parným ohrevom využitím odpadového prúdu sú (pri vychladení odpadovej vody z hlavného prania na 15 °C a využitím všetkej odpadovej vody z plákania):

- 43 010 Kč,
- 52,719 GJ tepla,
- 229,8 m³ vody.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] Oborová informační příručka pro praní. *APaČ - Asociace prádelen a čistíren ČR* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.apac.cz/zaklady-podnikani/prani-pradla/>
- [2] NETME Centre. *Centrum nových technologií pro strojírenství* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.netme.cz/>
- [3] 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.
- [4] BOBÁK, P. *Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 47 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [5] Voda v prádelnách. *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.laundry-sustainability.eu/cz/html/modul_1_voda.html
- [6] Princip a fáze pracího procesu. *E-LTex* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/485/zaklady-textilnich-technologie/zuslechtovani-textilili/Princip-a-faze-praciho-procesu.html>
- [7] Modul 4 - Používání energie a detergentů. *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.laundry-sustainability.eu/cz/html/modul_4_detergenty.html
- [8] Modul 5 – energie. *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.laundry-sustainability.eu/cz/html/modul_5_energie.html
- [9] Úspory vody a energie. *Professional support* [online]. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://pgprof.info/Uspory-vody-a-energie.html>
- [10] Energy saving. *CHRISTEYNS LAUNDRY TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.christeyns.com/professional-textile-care/professional-laundries/energy-management-systems>
- [11] Integrovaná řešení pro prádelny. *Perforamnce_D* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: http://www.ecolabcz.cz/performance/doc/Performance_Brozura_CZ.pdf

- [12] Strojní technologie. *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.laundry-sustainability.eu/cz/html/modul_2_technologie.html
- [13] Saving our natural resources. *CHRISTEYNS LAUNDRY TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.christeyns.com/professional-textile-care/professional-laundries/water-management-systems>
- [14] Průmyslové bubnové sušiče T 11, TAMS 13, T 13, T 13/13, T 16. *Technická specifikace produktů. Primus CE* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/tumble-dryers/t-line/>
- [15] Průmyslový sušicí válcový žehlič I 33. *Technická specifikace produktu. Primus CE* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/flatwork-ironers/i-line-commercial/>
- [16] Vysoce úsporné odpružené pračky FX 80, FX 105, FX 135. *Technická specifikace produktů. Primus CE* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/washer-extractors/fx-line/>
- [17] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté, rozšířené vydání. Praha: Portál, 2015, 736s. ISBN 978-80-262-0981-2
- [18] FYZIKÁLNÍ TABULKY. *Ústav fyziky FAST VUT* [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/tabulky2.pdf
- [19] Ceník. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/zakaznikum/cenik/>
- [20] CENA TEPLA. *TEPLÁRNY BRNO* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/stranka/63/cena-tepla/>

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Dolné indexy

0	vychladená odpadová voda
a	číslo kroku
i	číslo prúdu
SP	suchá bielizeň

Symboly

c	merná tepelná kapacita vody	[kJ/(kg·K)]
m	hmotnosť	[kg]
n	počet hodnôt	[-]
Q	teplo	[kJ, kWh]
s	smerodajná odchýlka	[-]
t	teplota	[°C]
x	hodnota prvku	[-]
\bar{x}	aritmetický priemer	[-]

Skratky

FSI	Fakulta strojného inžinýrství
LENP	Laboratoř energeticky náročných procesů
NETME	Centrum nových technologií pro strojírenství

Zoznam použitých obrázkov

obr. 1–1: LENP – pohľad na oceľovú konštrukciu s rozvodmi médií a pripojené spotrebiče [3].....	17
obr. 2–1: Základné schéma procesu profesijnej údržby bielizne [3].....	19
obr. 2–2: Zjednodušené schéma toku bielizne práčovňou [4].....	20
obr. 2–3: Sinnerov kruh.....	22
obr. 3–1: Úplná recirkulácia lisovej vody s klasickým zapojením tepelného výmenníka [9].....	24
obr. 3–2: Úplná recirkulácia lisovej vody so špeciálnym zapojením tepelného výmenníka [9].....	25
obr. 3–3: Systém recirkulácie vody u vsádkových práčok [9].....	26
obr. 3–4: Heat – X Rotor [10].....	26
obr. 3–5: Heat – X Energo [10].....	26
obr. 3–6: Energy Optimiser [11].....	27
obr. 3–7: Schéma využitia nízkotlakovej pary pomocou expandéru [9].....	27
obr. 3–8: Vent Optimiser [11].....	28
obr. 3–9: Ecosteam [11].....	28
obr. 3–10: Aquavent [11].....	29
obr. 3–11: Heat-X Air E [10].....	29
obr. 3–12: Aquacycler [12].....	30
obr. 3–13: Aquamiser [11].....	30
obr. 3–14: Lint-X Rotor [13].....	30
obr. 4–1: Plynová mikroturbína (zľava) a zostava bubnových sušičov [3].....	31
obr. 4–2: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu z parného sušiča T24 S.....	33
obr. 4–3: Časová závislosť teploty odpadového prúdu z parného sušiča T24 S.....	33
obr. 4–4: Žehliaci lis a výber prevádzkového príslušenstva [3].....	34
obr. 4–5: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu zo žehl. lisu CT–750/ULL.....	35
obr. 4–6: Časová závislosť teploty odpadového prúdu zo žehl. lisu CT–750/ULL.....	35
obr. 4–7: Zostava valcových žehličov [3].....	36
obr. 4–8: Časová závislosť relatívnej vlhkosti odpadového prúdu z plyn. žehliču I33–200 G.....	37
obr. 4–9: Časová závislosť teploty odpadového prúdu z plyn. žehliču I33–200 G.....	37
obr. 4–10: Zostava vsádkových práčok [3].....	38
obr. 5–1: Štítok práčky Primus FX 240 použitej pri meraní.....	41
obr. 5–2: Bilančný model práčky.....	42
obr. 5–3: Nádrž na vypustenie odpadovej vody z práčky.....	42
obr. 5–4: Vypúšťací ventil.....	42
obr. 5–5: Plošina nájazdovej váhy od firmy LESAK.....	43
obr. 5–6: Indikátor váhy od firmy LESAK.....	43
obr. 5–7: Digitálny teplomer od firmy GHM–GREISINGER.....	44
obr. 5–8: Pohľad z boku na výtok z práčky, nádrž a jej odtok.....	44
obr. 5–9: Výtok z práčky.....	45
obr. 5–10: Schematický nákras situácie pri meraní.....	45
obr. 5–11: Meranie s použitím práce chémie.....	46
obr. 5–12: Hmotnosť odpadovej vody s pracou chémiou v závislosti na jednotlivých krokoch.....	47
obr. 5–13: Teplota odpadovej vody s pracou chémiou v závislosti na jednotlivých krokoch.....	47
obr. 5–14: Graf hmotnosti odpadovej vody v závislosti na jednotlivých krokoch.....	50
obr. 5–15: Graf teploty odpadovej vody v závislosti na jednotlivých krokoch.....	50
obr. 5–16: Ideový návrh zostavy pre využitie odpadového tepla.....	55

Zoznam príloh

[P1] Nastavenie pracích programov č. 7 a č. 9

(2 strany A4)