

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

ANALÝZA ÚSPORY ENERGIE V PRŮMYSLOVÉ PRAČCE A SUŠIČI

ANALYSIS OF ENERGY SAVING IN INDUSTRIAL WASHER AND DRYER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZBYNĚK NĚMEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL KUBA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zbyněk Němeček

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

obor: **Energetika, procesy a životní prostředí (3904R032)**

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:

Analýza úspory energie v průmyslové pračce a sušiči

v anglickém jazyce:

Analysis of energy saving in industrial washer and dryer

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na přípravu, provedení a vyhodnocení experimentu z oblasti profesionální údržby prádla.

Předmětem měření je spotřeba tepla v pračce a sušiči v závislosti na změně provozních parametrů. Parametrem, který může ovlivňovat spotřebu energie je teplota máchací vody. Teplejší máchací voda má nižší viskozitu a při odstředění se snadněji odlučuje z prádla. Vyšší teplota prádla a nižší zbytková vlhkost snižují potřebný čas na sušení.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s problematikou prádelenství, zvláště odstředování a sušení

Navrhnout a realizovat praktické měření spotřeby energie

Vyhodnotit naměřená data a vytvořit matematický model

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.

GUTOVSKÝ, J. Experimentální měření v oblasti průmyslového sušení textilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vítězslav Máša, Ph.D..

TĚTHAL, J. Návrh měření na průmyslové pračce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Kuba.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Kuba

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

Bakalářská práce se v první části zaměřuje na problematiku profesionální údržby prádla. Rešeršním způsobem je zpracován náhled do běžných prádelenských procesů a provozů. Dále se práce věnuje experimentu, který je hlavním výstupem. V provedeném experimentu je sledována závislost spotřeby pračky a sušiče na teplotě máchací vody. Na základě teoretických znalostí o viskozitě se předpokládá, že se stoupající teplotou máchací vody vznikne úspora energií. Výstupem je návrh měření spotřeby energií a matematický model popisující zmíněné závislosti.

Summary

The first part of the bachelor thesis is focused on the professional laundry maintenance issue. View into the common laundry processes and operations is processed by the research way. Then the thesis deals with the experiment, which is the main output. Dependence of the consumption between a washing machine, dryer and temperature of rinsing water is monitored in the performed experiment. On the basis of theoretical knowledge about the viscosity it is assumed that with the rising temperature of rinsing water there is an energy saving. The thesis output is suggestion of energy consumption measurement and mathematical model describing dependencies mentioned.

Klíčová slova

Prádelenský proces, praní, sušení prádla, spotřeba energií, viskozita, experiment, máchací voda.

Keywords

Laundry process, washing, drying of textile, energy consumption, viscosity, experiment, rinsing water.

NĚMEČEK, Z. *Analýza úspory energie v průmyslové pračce a sušiči*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 32 s. Vedoucí Ing. Pavel Kuba.

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem. Tuto bakalářskou práci jsem zpracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Kuby a za využití zdrojů uvedených v seznamu.

Zbyněk Němeček

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Pavlu Kubovi za trpělivé, odborné a nápadité vedení mé bakalářské práce. Dále děkuji všem, kteří se jakkoli na této práci podíleli. Děkuji také svým rodičům a Magdaléně Rutarové za podporu a pevné zázemí při studiu. Dík patří také všem, kteří mně pomáhali a provázeli celým bakalářským studiem.

Zbyněk Němeček

Obsah

Úvod	3
1 Prádelenský proces	4
1.1 Profesní prádelna	4
1.1.1 Pracovní postup	4
1.2 Proces praní	5
1.2.1 Smáčení	5
1.2.2 Hlavní praní	5
1.2.3 Máchání	6
1.2.4 Odvodnění	7
1.3 Proces sušení	8
1.3.1 Sušení	8
1.3.2 Princip sušení	8
1.3.3 Druhy sušičů	8
2 Teoretický úvod do experimentu	10
2.1 Vlhkost prádla	10
2.1.1 Výpočet vlhkosti prádla	10
2.2 Viskozita	11
2.2.1 Dynamická viskozita	12
2.2.2 Kinematická viskozita	12
2.3 Předpoklady experimentu	12
2.4 Použitá zařízení	12
2.4.1 Pračka	13
2.4.2 Sušič	14
2.5 Metody vyhodnocení	15
2.5.1 Lineární regrese	15
2.5.2 Korelace	16
3 Experiment	17
3.1 Postup měření	17
3.2 Naměřená data	18
3.2.1 Teplota prádla	18
3.2.2 Hmotnost prádla	18
3.2.3 Doba praní a sušení	19
3.2.4 Energie spotřebovaná použitými zařízeními	20
3.3 Vyhodnocení získaných hodnot	22
3.3.1 Korelace naměřených hodnot	22
3.3.2 Spotřeba pračky a její závislost	22
3.3.3 Spotřeba sušiče a její závislost	23
3.4 Závěr experimentu	24
Závěr	25
Seznam použitých zdrojů	26

Seznam použitých zkratk a symbolů	27
Přílohy	28

Úvod

Již od dob, co lidstvo začalo používat první oděvy, řeší lidé otázku jejich údržby. Proto se tento proces dlouho vyvíjel a ruku v ruce s technologickým pokrokem stále vyvíjí. Stejně tak se vyvíjí i nároky kladené na kvalitu zpracovaného prádla. Tato práce se ve svém úvodu zaměřuje na prádelenský proces, jak je znám dnes. Popisuje základní principy údržby prádla, které se časem osvědčily a svým způsobem jsou opěrným bodem vývoje celého prádelenského průmyslu.

Poptávka po prádelenských službách přichází z velkého množství míst nejrůznějšího typu. Jsou to především jakákoli ubytovací zařízení, nemocnice, průmyslové podniky, stravovací provozy a spousta dalších. Výhodou jistě je, že poptávka je víceméně konstantní a není výrazně ovlivněna ročními obdobími, geografickou polohou, ekonomickou či politickou situací. Ve většině podniků je pravidelná údržba prádla nutnou součástí i z hlediska norem a zákonů. Nevyhnutelný je ovšem konkurenční boj, který patří ke každé zdravé demokratické kapitalistické společnosti, jakou ta naše bezpochyby je. Ten dává prostor ke kreativitě a investicím do vývoje, jenž má za cíl nabídnout zákazníkům vysokou kvalitu služeb za co nejnižší ceny a s co nejvyšší marží pro provozovatele.

Cílem této práce bylo analyzovat možnou úsporu energií na základě fyzikálních vlastností a dobré znalosti prádelenského procesu. Prvotní myšlenkou bylo snížit elektrickou spotřebu sušiče. Na základě analýzy celého procesu byly vyhodnoceny faktory, které spotřebu sušiče ovlivňují. Hledány byly ale takové faktory, které může ovlivnit provozovatel. Jako vstupní proměnná byla nakonec zvolena teplota máchací vody, jejíž teplota může na základě fyzikálních vlastností vody konečnou spotřebu sušiče ovlivnit. Fyzikální podstata této myšlenky je podrobně vysvětlena v práci (kapitola 2). Sledována byla také spotřeba pračky. Konečným výstupem experimentu je porovnání spotřeby sušiče se spotřebou pračky. Snahou bylo vytvořit matematický model, který by popisoval možnou úsporu energií související s teplotou máchací vody.

Tato práce čerpá převážně z poznatků popsaných v závěrečných pracích Bc. Josefa Těthala [2], Ing. Jana Gutovského [7] a Ing. Petra Bobáka, Ph.D. [1]. Tyto práce a experimenty v nich zpracované byly prováděny v Laboratoři energeticky náročných procesů na Ústavu procesního a ekologického inženýrství stejně jako tento experiment a svým zaměřením se staly jeho dílčími základy. Odvětví prádelenského průmyslu nepatří dlouhodobě mezi atraktivní v hledáčku výzkumných organizací, proto každá taková práce přináší svým zaměřením nová a stále ne příliš prozkoumaná témata.

1. Prádelenský proces

Cílem běžného prádelenského procesu je zajistit komplexní péči o prádlo. Tato tzv. profesní údržba prádla zahrnuje jak samotné praní, tak sušení, žehlení, třídění a skládání. Smyslem procesu je obnovení textilie pro opětovné použití. Toho se dosahuje za pomoci nejrůznějších mechanických, fyzikálních i chemických vlivů.

Na rozdíl od běžného praní v domácnosti, tak jak jej známe, klade velkokapacitní praní řadu důležitých požadavků. Vysoké nároky na kvalitu zpracování prádla a na bezchybnost celého procesu se potýkají s neméně velkým důrazem na celkové náklady a na vliv odpadní vody na životní prostředí. [1]

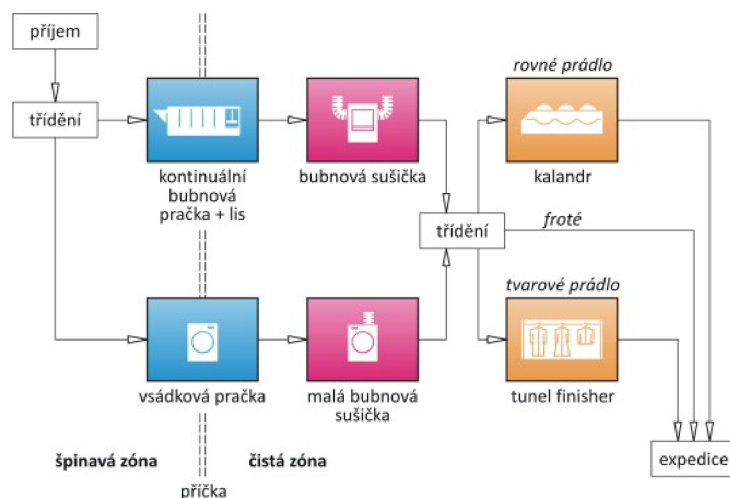
1.1. Profesní prádelna

Profesní prádelna zajišťuje službu zákazníkům s velkou spotřebou používaného prádla. Těmi jsou povětšinou hotely, restaurace, nemocnice nebo továrny. Zaměstnanci prádelny u zákazníka prádlo vyzvednou a v odpovídajícím časovém intervalu dopraví zpět ve stavu, který je zákazníkem požadován (čisté, roztříděné, seskládané apod.). [1]

1.1.1. Pracovní postup

Prádlo se od zákazníka dopraví do prádelny. V první fázi je roztříděno na dávky podle znečištění a celkového množství zakázky, podle čeho se zvolí typ pračky. Pro praní menšího množství silně znečištěného prádla se využívají menší vsádkové pračky, bubnové kontinuální pračky zajišťují vyprání většiny přijatého prádla, které obsahuje pouze běžnou míru znečištění.

Profesionální prádelny existují dvojího typu. Prádelny obyčejné, které jsou zpravidla menší a perou prádlo, jež nepodléhá hygienickým předpisům. Pak jsou prádelny zdravotnické a prádelny, jež perou potravinářské nebo hotelové prádlo. Tento typ prádelny podléhá normám a zákonným předpisům, které zaručují, že prádlo po vyprání je zdravotně nezávadné a odpovídá hygienickým požadavkům a standardům. Pro takové prádelny je charakteristický její prostor, jež je obyčejně rozdělen příčkou na dvě zóny. V první se zpracovává špinavé prádlo a následně vkládá do praček, jež jsou v příčce zabudovány. Druhá část prostoru je určena pro již vyprané prádlo. Vstup ze špinavé do čisté zóny je možný jen přes desinfekční komoru. Poté co projde prádlo v pračce poslední fází zvanou *odvodnění*, putuje do sušičky. Po vysušení se prádlo znovu vytřídí na jednotlivé druhy, podle kterých je dokončováno buď v zařízení jako např. *kalandr* pro rovné prádlo nebo jako *tunel finisher* pro tvarové prádlo. Froté prádlo putuje rovnou do poslední fáze, v níž je seskládáno a vyexportováno zpět zákazníkovi. [1]



Obrázek 1.1: Zjednodušené schéma toku prádla zdravotnickou prádelnou[1]

1.2. Proces praní

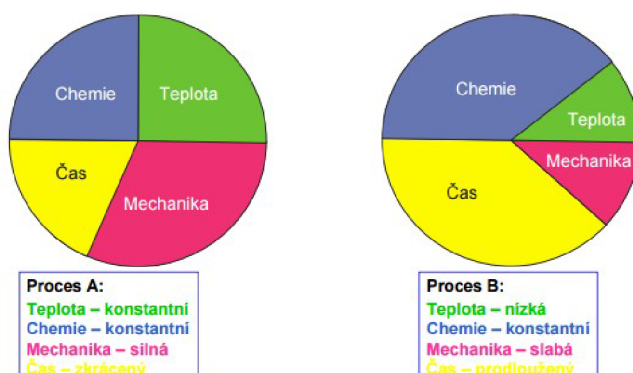
Prací proces se skládá z několika částí. V první řadě se prádlo smáčí a poté přichází hlavní praní. Tyto dvě části budou popsány pouze okrajově, jelikož jsme je v následném experimentu neuvažovali jako proměnné. Avšak další dvě součásti procesu, kterými jsou máchání a odvodnění, budou popsány v této kapitole důkladněji. Ty totiž sehrály v měření významnější roli.

1.2.1. Smáčení

Do pračky se napouští voda a vložené prádlo je do ní plynule vnořováno. Po nějaké době pokryje prací lázeň celý povrch prádla a částečně se dostává do vrstvy vláken. Mezi ovzduším, prací lázní a prádlem vzniká povrchové napětí, které tento proces ztěžuje. To se může řešit buď vyšší teplotou lázně nebo použitím smáčecích prostředků. [2]

1.2.2. Hlavní praní

Nejdůležitější částí celého pracího procesu je vlastní praní, v němž probíhá samotné odstranění nečistot z prádla. To se děje pomocí čtyř faktorů, které se přednastaví podle typu prádla a míry znečištění. Faktory jsou popsány Sinnerovým cyklem (viz obr. 1.2). Jsou to teplota, čas a působení mechanické a chemické. Sinnerův cyklus ovlivňuje celý prací proces a snahou každé prádelny je co nejlépe vyvážit poměr mezi jednotlivými faktory tak, aby praní bylo nejefektivnější. Jak lze ze Sinnerova kruhu vyčíst, tak změnou velikosti jednoho faktoru ovlivníme míru zbylých faktorů. [2] [3]



Obrázek 1.2: Sinnerův cyklus[3]

1.2.3. Máchání

Máchání je poslední část procesu, v němž se používá voda. Účelem je snížit koncentraci detergentů, které se při hlavním praní používaly. Voda se většinou pro máchání neohřívá, čímž se připravuje o možnost snížení viskozity vody a tedy lepšího odvodnění prádla. Jak teplota máchací vody ovlivňuje odstředění a následné sušení prádla, je částečně demonstrováno v experimentu, který se v rámci této práce prováděl.

Kvalitní máchání zajistí splnění základního principu praní. Tedy prací lázeň odstraní z prádla nečistoty a pomocí čisté máchací vody se odstraní zbytky chemikálií a nečistot.

Pokud by máchání neproběhlo nebo bylo nekvalitní, mělo by to velmi nežádoucí následky. Zbytky chemikálií by se při sušení na prádle koncentrovaly a nevratně by prádlo poškodily. Stejně tak by se prádlo poškodilo při jakémkoli namáhání z důvodu ostrých krystalů vytvořených z nedoprané soli. Zbytky pracích prostředků by také reagovaly s potem a dráždily pokožku. V neposlední řadě by takové prádlo poškozovalo zařízení používaná při další úpravě prádla (např. kalandr).

Kvalita máchání hraje důležitou roli. Detergenty rozpuštěné ve vodě zvyšují vodivost vody. Mácháním se naopak vodivost snižuje tak, aby se co nejvíce přiblížila hodnotě vodivosti čisté vody. Vodivost se měří konduktometrem na konci máchání.

Ke kvalitnímu máchacímu procesu často nedochází kvůli snahám o snížení spotřeby vody v celém pracím procesu. Zkušenosti ovšem dokazují, že následky způsobené nekvalitním mácháním převažují nad vzniklou úsporou. Lepší cestou se tedy zdá být využívání vody z máchání jako první vody do předepírky nebo dalšího hlavního praní. Tento způsob recirkulace je hojně využíván u tunelových praček, u kterých snižuje spotřebu čisté vody z 20-50 litrů na kilogram prádla (u běžných vsádkových praček) na 4-15 L/kg (u tunelových praček). [4]

1.2.4. Odvodnění

Na závěr každého praní probíhá odvodnění přebytečné vody v prádle. Je to důležitá operace, která se podle potřeby i několikrát opakuje. Odvodnění nabývá na své důležitosti zvláště s následným sušením. Čím více vody se podaří odstranit z prádla odvodněním, tím menší je spotřeba energie při sušení.

Způsobů jak se zbavit přebytečné vody je několik. Při normální teplotě se využívá mechanických způsobů jako ždímání, odstřeďování, odsávání nebo profukování. V současnosti v prádelnách převládá využití odvodňovacího lisu nebo odstředivky. Ani jeden z těchto způsobů ale nezajistí úplný odvod vody. Toho dosáhneme pouze následným sušením při zvýšené teplotě. Procesu sušení a zbytkové vlhkosti se věnuje následující část této kapitoly 1.3. [6]

Technologii odvodňování popisují tyto tři pilíře:

- **Rychlost** – u tunelové pračky je rychlost zvolena tak, aby proces odvodnění proběhl v čase omezeném dobou jednoho cyklu pračky, nutné vedlejší úkony se tedy časově minimalizují, aby proběhlo co nejdelší samotné odvodnění;
- **Výkon** – aby došlo k odvodnění, musíme vyvinout vnější sílu, která naruší soudržnost vody s textilními vlákny;
- **Odvod vody** – odváděná voda musí být rychle odstraňována, aby nedošlo ke snížení rychlosti a výkonu odvodňování.

V současné době se daří konstruovat zařízení, která dokáží pracovat velmi efektivně. Cílem každého moderního odvodňovače je při vyšším výkonu co nejméně zadržovat vlhkost, optimálně zpracovávat moderní textilie a uspořít energie v celém procesu. Jedny z nejmodernějších zařízení jsou na obrázcích obr. 1.3 a obr. 1.4. [3]



Obrázek 1.3: Odstředivka Kannegiesser typu "PowerSpin" [5]



Obrázek 1.4: Odvodňovací lis Kannegiesser typu "PowerPress" [5]

1.3. Proces sušení

V následující kapitole bude popsáno, jak tento proces zapadá do celého prádelenského procesu a jakou v něm hraje roli. Sušení bude popsáno jako takové a zmíněny budou i různé principy. Definována bude také vlhkost materiálu, od které se celý tento proces odvíjí.

1.3.1. Sušení

Sušení je nedílnou součástí celého prádelenského procesu. Je to další úprava prádla navazující na praní, resp. jeho poslední část – odvodnění. Pro zařízení, která tento proces sušení vykonávají, se užívá název "sušič". Úkolem každého sušiče je zbavit prádlo zbytečné vlhkosti, která se nepodařilo odstranit odvodněním. Jak ukazuje obrázek obr. 2.3, po průchodu sušičkou následuje fáze třídění, žehlení a konečného vyexpedování prádla.

1.3.2. Princip sušení

Sušením dochází k odpařování látek z materiálu. Nejčastějším cílem sušení je odstranění vlhkosti z pevných látek. Při tomto procesu se dodává teplo, které způsobí odpařování. Teplo se k sušenému materiálu dostává převážně pomocí konvekce, kondukce nebo radiace. Podle toho také sušení a sušicí přístroje rozdělujeme. [7]

Sušení je difúzní děj podřízený Fickovu zákonu a vlhké prádlo je binární směs pevné látky a vody. Sušením vlhkého materiálu dochází k vnější a vnitřní difúzi. Při vnější difúzi dochází k vypařování vody z povrchu materiálu. To je způsobeno přenosem energie konvekcí z okolí. Tím pádem tato difúze závisí na podmínkách okolí a velikosti povrchu sušeného materiálu. Postupem času dosáhne vlhkost uvnitř materiálu svého gradientu a dojde k přenosu vnitřní vlhkosti na povrch, kde je dále odstraňována vnější difúzí. [8]

Jak bylo zmíněno, tak sušení probíhá v sušičích. Těch je velké množství, přičemž se liší v různých způsobech přívodu tepla, odlišnými sušicími médii nebo charakterem proudění. Rozdíly jsou také v pohybu sušeného materiálu a v kontinuitě provozu. Při výběru vhodného sušiče do provozu se zohledňuje sušený materiál, typ provozu, režimy sušiče a tepelný výkon. Záleží také samozřejmě na kvalitě vysušení, která je zákazníkem požadována. [9]

1.3.3. Druhy sušičů

Výše zmíněným požadavkům na sušiče odpovídá i nabídka. Zařízení, která jsou určena k sušení prádla, rozdělujeme na tři základní druhy[9]:

- **Konvekční sušiče**

Konvekční sušič pracuje na principu proudění sušicího média, kterým může být horký vzduch nebo spaliny. To pak způsobuje přenos tepla i hmoty. Je zde často používána recirkulace sušicího média. Existuje velké množství poddruhů tohoto typu sušiče, jako např. fluidační, pneumatické nebo bubnové. Právě bubnové jsou nejznámější a pracují tak, že sušicí plyn proudí podél povrchu sušeného materiálu z jedné nebo obou stran. Ukázka bubnového sušiče je na obr. 1.5.

- **Kontaktní sušiče**

Tento typ sušiče pracuje na principu přenosu tepla vedením, resp. kondukcí. Dochází k přímému kontaktu sušeného materiálu s vyhřívanou plochou. Sušicím médiem je odváděna pouze vlhkost, díky čemuž je tento způsob vhodný pro materiály vyžadující šetrné sušení při nízkých teplotách a podtlaku. Kontaktní sušiče se také dělí na válcové (kalandry), lopatkové a sublimační. Příklad válcového sušiče, který je označován jako sušicí žehlič, je na obr. 1.6.

- **Radiační sušiče**

U radiačního sušiče probíhá sušení sáláním, které je emitováno elektro-magnetickým zářením. Dělí se na infračervený ohřev, dielektrický ohřev a pomocí mikrovln.



Obrázek 1.5: Bubnový sušič T9 HP Primus[10]



Obrázek 1.6: Válcový sušicí žehlič I33-160 Primus[10]

2. Teoretický úvod do experimentu

Tato kapitola se zaměřuje na teoretické znalosti potřebné pro pochopení a správné vyhodnocení následného experimentu. V první řadě jsou popsány fyzikální vlastnosti, které experiment ovlivnily. Následně je popsáno, z jakých předpokladů experiment vychází a na jakých zařízeních byl prováděn. Nakonec je rozebrána metoda lineární regrese, která je použita pro vyhodnocení celého experimentu.

2.1. Vlhkost prádla

Textilie mají schopnost adsorpce i desorpce vlhkosti. Ta závisí na relativní vlhkosti a teplotě okolí. Existuje několik různých způsobů, jak se vlhkost váže na textilní materiály. Dělíme je následovně:

- **Adhezní vlhkost**

Tuto vlhkost lze odstranit mechanicky (např. ždímáním, odstředováním). Voda je v tomto případě pouze na povrchu vláken a v jejich volných prostorách, tudíž není na vlákna vázána.

- **Kapilární vlhkost**

Vlhkost, která je pomocí kohezních a adhezních sil vázána na vlákna textilie. Když se prádlo dostane do kontaktu s vysoce vlhkým prostředím nebo je přímo namáčeno, tak se voda dostává do mikrokapilár a makrokapilár. Odstraňuje se termickým sušením, při kterém dochází k poškození materiálu, proto se běžně nepoužívá.

- **Rovnovážná (hygroskopická) vlhkost**

Hygroskopická vlhkost je způsobena vodou vázanou ve vláknech z okolí. Vlákna jí pojmu tolik, aby dosáhla rovnováhy s relativní vlhkostí okolního prostředí. Mechanické odstranění není možné, takže je převáděna na páru za vyšších teplot než jsou teploty nasycených par při daném okolním tlaku.

- **Bobtnací vlhkost**

Tvoří se v textilních materiálech pouze v případě, kdy jsou s vodou v přímém kontaktu.

- **Chemicky vázaná vlhkost**

V tomto případě se tvoří tzv. krystalická voda, což je chemická sloučenina složená vázáním vody na vlákna pomocí vodíkových můstků. Lze ji odstranit sušením za vysokých teplot, může ale dojít k porušení vláken textilie.[7]

2.1.1. Výpočet vlhkosti prádla

U prádla se vlhkost definuje jako množství vody v 1 kg suchého prádla. Hmotnost suchého prádla se označuje m_0 a hmotnost prádla po odvodnění m_v . Vztah pro výpočet vlhkého prádla je tedy:

$$\varphi = \frac{m_v - m_0}{m_v} \quad [kg_{H_2O}/kg_{s.p.}] \quad (2.1)$$

Absolutní vlhkost prádla pak udává procentuální množství vody v prádle z celkové hmotnosti suchého prádla s vodou. Vyjádřena je následovně:[1]

$$\phi = \frac{m_v - m_0}{m_v} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

2.2. Viskozita

Pojem viskozita je znám také jako vnitřní tření. Je to vlastnost, kterou disponuje každá reálná kapalina. Projevuje se třením k sobě přiléhajících vrstev kapaliny při jejich vzájemném pohybu. Pokud se sousední vrstvy kapaliny pohybují různými rychlostmi, pak na jejich rozhraní vzniká tečné (smykové) napětí. To jim brání v pohybu. Vrstva, která je pomalejší, se zrychluje a vrstva rychlejší se zbrzdí. Mezi molekulami kapaliny působí vnitřní tření, které se nazývá vlastní viskozitou kapaliny. Toto tření vyvolává napětí vrstev.

Podle Newtona je tečné napětí úměrné gradientu rychlosti. Rychlostní gradient je vyjádřen derivací $\frac{dv}{dy}$, což je rychlostní spád ve směru osy y . Newtonův předpoklad je vyjádřen vztahem:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \frac{v}{h}, \quad (2.3)$$

kde η je konstantou úměrnosti, která nezávisí na rychlosti v , a nazývá se dynamická viskozita. h je vzdálenost dvou vrstev kapaliny a τ je tečné resp. smykové napětí. Touto definicí bylo popsáno laminární proudění, z čehož vyplývá, že tečné napětí způsobuje úhlovou deformaci elementárního objemu tekutiny.

Viskozita kapalin závisí na tlaku a teplotě. S rostoucím tlakem vzrůstá viskozita, zatímco s rostoucí teplotou klesá. Závislost na tlaku je ovšem většinou zanedbatelná.

Viskozita je transportní jev, jelikož dochází k přenosu hybnosti mezi sousedními vrstvami kapaliny pomocí jejích molekul. Zvyšování teploty kapaliny má za následek zvýšení průměrné rychlosti molekul v kapalině. Díky tomu klesne doba, po kterou jsou molekuly ve vzájemném kontaktu. K poklesu průměrné rychlosti molekul dochází v případě, že klesají také průměrné mezimolekulární síly. Důsledkem poklesu viskozity s rostoucí teplotou je zvýšení tepelné energie molekul, čímž se zvýší intenzita přeskoků molekul. Tento proces můžeme nazvat tepelně aktivovaným a vyjádřit vztahem:

$$\eta = C \cdot e^{\frac{E_A}{kT}}, \quad (2.4)$$

kde E_A je aktivační energie viskózního toku, kterou je potřeba dodat molekule kapaliny k tomu, aby se přesunula z jedné rovnovážné polohy do jiné sousední rovnovážné polohy. Dále k je Boltzmanova konstanta, T je termodynamická teplota a C je konstanta.

2.2.1. Dynamická viskozita

Dynamická viskozita je definována jako síla nutná k pohybu vrstvy o jednotkové ploše uvnitř kapaliny. Ta se pohybuje jednotkovou rychlostí ve své rovině proti druhé rovnoběžné vrstvě, která je vzdálená 1 m . Z toho vyplývá, že jednotkou dynamické viskozity je $N.m^{-2}.s = Pa.s$.

Převrácená hodnota dynamické viskozity se označuje jako **tekutost**, resp. fluidita. Je to schopnost látky téct, což znamená, že částice tekutých látek se můžou relativně snadno pohybovat vůči sobě. Pro výpočet tekutosti můžeme použít vztah:

$$\varphi = \frac{1}{\eta}. \quad (2.5)$$

2.2.2. Kinematická viskozita

Kinematická viskozita je míra odporového toku kapaliny. Označuje se řeckým písmenem ν a vyjadřuje vztah mezi dynamickou viskozitou η a hustotou kapaliny ρ :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2.6)$$

Kinematická viskozita se označuje jednotkou $m^2.s^{-1}$ a vyjadřuje kinematickou viskozitu kapaliny o hustotě 1 $kg.m^{-3}$ s dynamickou viskozitou 1 $Pa.s$.

2.3. Předpoklady experimentu

Experiment, který byl v rámci této bakalářské práce prováděn, se opíral o několik předpokladů. Ty budou nyní spolu s dalším popisem experimentu vysvětleny.

Jak probíhá celý prací proces je popsáno výše v kapitole 1 na str. 4. Experiment se ovšem zaměřil pouze na část máchání (1.2.3) a odvodnění (1.2.4). Obecně je známo, že voda používaná k máchání se neohřívá. Teplota vody většinou odpovídá teplotě přijaté vody z vodovodní sítě, která se pohybuje v rozmezí 15-20°C. Voda má kromě teploty i nějakou viskozitu, která na teplotě závisí (viz 2.2). Tato viskozita ze své podstaty ovlivňuje to, jak se voda na prádlo váže. Ovlivňuje tedy efektivitu následného odvodnění. Čím vyšší je teplota vody, tím je nižší její viskozita a tím více se jí odstraní, takže zbytková vlhkost prádla na konci praní je nižší. Tím je ovlivněno i následné sušení – sníží se spotřeba sušiče.

Cílem tohoto experimentu bylo na základě těchto předpokladů zjistit, do jaké míry teplota vody v máchacím procesu ovlivňuje vlhkost prádla resp. efektivitu odvodnění a sušení. Stejnými veličinami jsou tedy teplota máchací vody, která se mění, spotřeba elektrické energie pro ohřev máchací vody v pračce a spotřeba elektrické energie pro vysušení prádla na nulovou vlhkost v sušiči.

2.4. Použitá zařízení

V této části budou detailně popsány parametry použité pračky a sušiče. Většina informací v této podkapitole 2.4 čerpá z webových stránek výrobce [11].

2.4.1. Pračka

Značka	Primus
Typ	FX180
BUBEN	
Max. kapacita	20 kg
Objem	180 l
Průměr	750 mm
OTÁČKY	
Otáčky praní	42 ot./min.
Otáčky odstředění	980 ot./min.
G-FAKTOR	400
OHŘEV	
Elektrický	18 kW
Parní	1-8 bar
Horká voda	90 °C
HLUČNOST	max 65 dB
ROZMĚRY	
Výška	1410 mm
Šířka	970 mm
Hloubka	970 mm
HMOTNOST	380 kg

Tabulka 2.1: Parametry pračky FX180 Primus



Obrázek 2.1: Pračka FX180 Primus [12]

2.4.2. Sušič

Značka	Primus
Typ	T16
KAPACITA	
Kapacita bubnu	16 kg
Objem bubnu	345 l
Průměr bubnu	760 mm
PRŮTOK VZDUCHU	600 m ³ /h
PRŮMĚR SUŠENÍ	300 g/min
MOTORY	
Ventilátor	0,55 kW
Pohon	0,25 kW
ELEKTRICKÝ OHŘEV	
Příkon	24 kW
ROZMĚRY	
Výška	1680 mm
Šířka	795 mm
Hloubka	1280 mm
HMOTNOST	250 kg

Tabulka 2.2: Parametry sušiče T16 Primus



Obrázek 2.2: Sušič T16 Primus [12]

2.5. Metody vyhodnocení

Získaná data z měření budou vyhodnocena na základě dvou statistických operací. Těmi jsou lineární regrese a korelace. Popis těchto dvou metod je uveden v této kapitole.

Vyhodnocení experimentu je také založeno na zjednodušeném schématu procesu na obrázku 2.3. Do procesu, který zahrnuje všechny dílčí kroky od vložení prádla do pračky až po vyložení ze sušiče, vstupují nějaké nezávislé proměnné a vystupují z něj závislé proměnné. Bude vyhodnoceno právě za pomoci korelační metody, které veličiny ze všech měření budou pro experiment podstatné.

K statistickému zpracování dat bylo v převážné většině použito softwaru STATISTICA.



Obrázek 2.3: Schéma procesu

2.5.1. Lineární regrese

Metoda lineární regrese, z níž bude vytvořen matematický model experimentu, je postavena na regresních modelech, pro jejichž vybudování se užívá metody nejmenších čtverců. Ta poskytuje postačující odhady parametrů, pakliže jsou splněny předpoklady o datech a o regresním modelu. Pokud nejsou splněny, ztratí výsledky získané metodou nejmenších čtverců své vlastnosti.

Jednoduchým lineárním modelem lineární regrese se model nazývá, pokud je grafem regresní funkce přímka. Předpokládá se, že Y_1, Y_2, \dots, Y_n je n -tice náhodných veličin s vlastnostmi $EY_i = \alpha + \beta \cdot x_i, DY_i = \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n$, kde α, β, σ^2 jsou neznámé parametry a x_1, x_2, \dots, x_n je n -tice známých hodnot. Platí:

$$Y_i = \alpha + \beta \cdot x_i + \varepsilon_i, \quad (2.7)$$

kde ε_i jsou nezávislé náhodné veličiny, pro které platí:

$$E(\varepsilon_i) = 0, D(\varepsilon_i) = \sigma^2, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Náhodná složka zahrnuje působení těch vlivů nebo veličin, které jsou náhodné a nejsou v modelu zahrnuty.

Přímka $y = \alpha + \beta \cdot x$ se nazývá přímkou regresní a β je její směrnice. Na základě naměřených dvojic hodnot $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ se odhadnou neznámé parametry α, β, σ^2 daného modelu. Tyto odhady se označí po řadě a, b, s^2 . Bodové odhady a, b parametrů α, β se získají metodou nejmenších čtverců. Princip spočívá v hledání takové funkce $\hat{y} = a + bx$, aby co nejvíce přiléhala k bodům $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. Přiléhání se měří součtem rozdílů hodnot \hat{y}_i a y_i .

Parametry a, b vypočteme následujícím způsobem:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.9)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^n \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=2}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (2.10)$$

kde x_i, y_i jsou tabulkové hodnoty nezávislé a závislé proměnné a n značí počet dvojic proměnných, kterých musí být víc než parametrů.[13]

2.5.2. Korelace

Pomocí korelačních koeficientů je posuzována těsnost lineární závislosti mezi závisle proměnnou a regresory. Vztah, který je posuzován, je tím silnější a odhad regresní funkce tím lepší, čím více jsou pozorované hodnoty vysvětlované proměnné soustředěné kolem odhadnuté regresní funkce. Vztah bude naopak tím slabší, čím více budou hodnoty y_i vzdáleny hodnotám vyrovnaným.

Pro konstrukci míry ukazující na sílu závislosti se vychází ze vztahu pozorovaných a vyrovnaných hodnot. Při aplikaci metody nejmenších čtverců platí vztah:

$$SS_y = SS_{\hat{y}} + SS_e, \quad (2.11)$$

kde SS_y je celkový součet čtverců, $SS_{\hat{y}}$ je součet čtverců modelu a a SS_e je reziduální součet čtverců.

Čím je model lepší, tím větších hodnot nabývá součet čtverců modelu a tím menší je reziduální součet čtverců. Vydělíme-li výše zmíněnou rovnici celkovým součtem čtverců, získáme tvar:

$$1 = \frac{SS_{\hat{y}}}{SS_y} + \frac{SS_e}{SS_y} \quad (2.12)$$

Z tohoto vztahu vyplývá, že každý ze zlomků nabývá hodnoty mezi nulou a jedničkou. Vystihuje-li model dobře závislost vysvětlované proměnné na regresorech, blíží se hodnota prvního zlomku k jedničce a druhého zlomku k nule. Bude-li požadovaná závislost popisována modelem špatně, bude tomu naopak. První zlomek se tedy používá jako kritérium modelu a je označován jako "index determinace".

Index determinace R^2 charakterizuje kvalitu regresního modelu. Udává, kolik procent rozptylu vysvětlované proměnné je vysvětleno modelem a kolik zůstalo nevysvětleno. Index nabývá hodnot od nuly do jedné, přičemž hodnoty blízké nule značí špatnou kvalitu regresního modelu. Hodnoty blízké jedné značí, že regresní model má dobrou kvalitu.

Je-li $R^2 = 1$, pak $SS_e = 0$. To znamená, že regresní model vysvětluje závislost vysvětlované proměnné na regresorech úplně – dokonalá lineární závislost. Pokud je $R^2 = 0$, model nevysvětluje nic, jelikož $SS_e = SS_T$.

3. Experiment

Tato kapitola se zcela věnuje experimentu, který byl v rámci této bakalářské práce prováděn. Bude zde popsán detailní průběh experimentu a postupů, které byly potřebné pro získání výsledných dat. Všechny naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách a opatřeny důkladným popisem. Následně jsou vybrána data stěžejní, ze kterých je experiment vyhodnocován. Závěrem je řečeno, co se z vyhodnocených dat může vyčíst a jaké závěry se z nich můžou vyvodit.

3.1. Postup měření

Experiment byl prováděn v Laboratoři energeticky náročných procesů na Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Tato laboratoř je koncipována jako průmyslová prádelna.

V rámci experimentu bylo zaznamenáváno velké množství různých hodnot. Některé byly zaznamenávány ručně a některé za pomoci počítačů. Hlavním předmětem sledování se staly bílé froté ručníky. Postup celého měření byl následovný:

Bílé laboratorní ručníky byly manuálně seskládány a následně zváženy na váze. Tím byla zaznamenána první hodnota a to hmotnost ručníků před praním. Následně byly ručníky naskládány do pračky (viz obr. 2.4.1), po čemž byla změřena teplota prádla před praním za pomoci teploměru. Po zavření dveří pračky byl navolen správný program a pračka se spustila. Programy pračky byly navoleny přes připojený počítač. Hodnoty byly zvoleny konstantně:

Doba praní	10	min
Hladina	60	l
Odvodnění	5	min
Otáčky	900	ot./min

V jednotlivých programech se měnila pouze teplota, která byla vstupní proměnnou celého experimentu. Hodnoty teploty vody byly vygenerovány náhodně v rozmezí 20 až 50°C. Hodnot bylo vygenerováno 20 pro stejný počet měření. Měřena byla také délka celého pracovního procesu. Ve chvíli, kdy byl práci proces ukončen, zaznamenala se doba trvání tohoto procesu. Následně byla opět změřena a zapsána teplota prádla. Prádlo bylo znovu převáženo, z čehož byla získána hmotnost prádla po praní. Následně byly vlhké ručníky vloženy do sušiče a znovu přeměřena teplota, aby byl zaznamenán úbytek tepla vlivem přenosu prádla z pračky do sušiče.

Spustil se sušič, který byl nastaven na takový program, aby prádlo dosáhlo nulové vlhkosti, což vyhodnotil sušič sám a v té chvíli ukončil sušicí proces. Z displeje sušiče byla zaznamenána počáteční teplota v sušiči. Doba sušení byla opět měřena a prádlo po něm znovu převáženo. Tato získaná hodnota hmotnosti prádla po sušení byla většinou rovna hmotnosti prádla před dalším praním. Není to ovšem pravidlem, jelikož experiment byl prováděn v několika různých dnech.

Počítač připojen na přístroje celou dobu zaznamenával spotřebu pračky, spotřebu sušiče a teplotu vody na vstupu do pračky. Takto popsany experiment byl prováděn dvacetkrát v sedmi různých dnech.

3.2. Naměřená data

3.2.1. Teplota prádla

V experimentu je vstupní proměnou teplota máchací vody. Ta byla vygenerována náhodně v rozmezí mezi 20 a 50°C. Pro představu, jak tato teplota prádlo ovlivňuje, byla měřena teplota prádla ve třech úsecích procesu. Bylo to v úseku před praním, po praní a před vstupem do sušiče, jelikož bylo s prádlem mezi praním a sušením manipulováno. Tabulka 3.1 ukazuje všechny tyto změřené hodnoty.

Tabulka 3.1: Měřené teploty prádla v závislosti na teplotě máchací vody.

TEPLOTA máchací vody [°C]	TEPLOTA prádla před praním [°C]	TEPLOTA prádla po praní [°C]	TEPLOTA prádla před sušením [°C]
20	22	18	14
46	27	33	28
45	30	30	29
36	30	28	23
20	25	21	19
34	30	30	24
32	30	26	25
44	30	33	28
26	24	25	21
28	30	26	23
28	32	25	23
49	33	40	33
32	23	27	25
39	32	33	31
42	24	35	32
35	31	31	27
31	23	27	26
25	30	24	23
21	24	22	20
25	29	24	23

3.2.2. Hmotnost prádla

Efektivita odvodnění v závislosti na teplotě máchací vody je nejlépe demonstrovatelná na hmotnosti prádla po praní. V rámci experimentu byla tedy měřena třikrát hmotnost prádla – před praním, po praní a po sušení. Pokud na sebe měření navazovala, hmotnost po sušení a následně před praním byla stejná. Naměřené hodnoty hmotností v závislosti na teplotě máchací vody jsou zaznamenány v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Měřené hmotnosti prádla v závislosti na teplotě máchací vody

TEPLOTA	HMOTNOST	HMOTNOST	HMOTNOST
máchací vody	prádla	prádla	prádla
[°C]	před praním	po praní	po sušení
	[kg]	[kg]	[kg]
20	16,6804	27,9906	16,7532
46	16,7532	26,9136	16,6964
45	16,6964	26,9502	16,6628
36	16,6628	27,2710	16,6164
20	16,5562	27,9856	16,6218
34	16,6218	27,3124	16,6746
32	16,6746	27,3868	16,5772
44	16,5772	26,9580	16,4146
26	16,4866	27,8064	16,5456
28	16,5456	27,4856	16,4886
28	16,4886	27,6514	16,4558
49	16,4558	26,9038	16,5880
32	16,5000	27,3000	16,4000
39	16,4000	27,0000	16,3000
42	16,4000	27,3000	16,5000
35	16,5000	27,3000	16,6000
31	16,6020	27,5080	16,4500
25	16,4500	27,6080	16,3720
21	16,3630	27,1100	16,3050
25	16,3050	26,6490	16,4970

3.2.3. Doba praní a sušení

Z výše uvedené části 3.1 je známo, že program, který byl v pračce spuštěn, měl nastavenou jako jednu z konstant také dobu praní, a to na deset minut. Tato doba ovšem nikdy neodpovídala skutečnosti. Doba praní byla ovlivněna především dvěma faktory. Jedním z nich je čas potřebný pro ohřev vody na požadovanou teplotu, jež se zpravidla prodlužoval s výškou teploty. Druhým faktorem je doba odvodnění. Pračky, které byly pro experiment použity, disponují technologií, která při odstředění rozpozná, kdy je prádlo v bubnu nevyvážené. V tu chvíli odstředění zpomalí, dokud se prádlo uvnitř nerozloží do vyvážené polohy. Tento děj pracuje nezávisle na obsluze pračky a není možné jej ani vypnout. To je také důvod, proč pro vyhodnocení experimentu nejsou naměřené časy použity a místo toho jsou vyhodnoceny hodnoty naměřených spotřeb elektrické energie v použitých zařízeních.

Doby trvání obou cyklů, ze kterých se experiment skládá, jsou zaznamenány v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3: Doba praní a sušení v závislosti na teplotě máchací vody

TEPLOTA	DOBA	DOBA
máchací vody [°C]	praní [s]	sušení [s]
20	1541	3242
46	2183	2990
45	2079	3003
36	1874	3167
20	1497	3475
34	1708	3295
32	1695	3287
44	2022	3322
26	1577	3553
28	1520	3554
28	1519	3685
49	2097	3355
32	1570	3694
39	1723	3710
42	1999	3399
35	1733	3441
31	1622	3412
25	1486	3471
21	1443	3296
25	1509	3316

3.2.4. Energie spotřebovaná použitými zařízeními

Stěžejními veličinami, které byly sledovány, jsou spotřeby elektrické energie použité pračky a sušiče. Spotřeba pračky se odvíjí převážně od ohřevu, který byl potřebný pro dosažení zvolené teploty vody. Spotřeba sušiče se odvíjela hlavně od zbytkové vlhkosti prádla po praní. Sušič byl totiž nastaven na program, který prádlo vysuší na nulovou vlhkost. Hodnoty obou měření, které se provádělo přes připojený počítač v závislosti na teplotě máchací vody, jsou zaznamenány v tabulce 3.4. Dále jsou tato data použita pro vyhodnocení experimentu v následující kapitole.

Tabulka 3.4: Měřené spotřeby použité pračky a sušiče v závislosti na teplotě máchací vody

TEPLOTA	SPOTŘEBA	SPOTŘEBA
máchací vody [°C]	pračky [kWh]	sušiče [kWh]
20	0,40	14,10
46	4,30	12,60
45	4,10	12,50
36	2,90	13,10
20	0,40	14,20
34	1,90	13,00
32	1,50	13,10
44	3,10	13,00
26	0,80	13,90
28	1,00	13,50
28	0,70	13,70
49	3,90	12,30
32	1,40	13,30
39	1,90	12,80
42	3,30	12,60
35	2,00	12,40
31	1,70	13,60
25	0,70	14,00
21	0,30	13,90
25	0,70	13,80

3.3. Vyhodnocení získaných hodnot

3.3.1. Korelace naměřených hodnot

Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány do softwaru STATISTICA. Ten vyhodnotil a zbarvil vzájemnou korelaci mezi jednotlivými hodnotami. Čím tmavější modrá barva, tím více se korelační koeficient blíží jedničce. Čím sytější červená, tím více se korelace blíží nule. Tabulka korelací 3.5 je umístěna v přílohách. Z tabulky byly vybrány ty hodnoty, které spolu nejvíce korelují a můžou se logicky ze znalosti procesu ovlivňovat. Veličiny byly rozděleny mezi ty, které ovlivňují spotřebu pračky, a ty, které ovlivňují spotřebu sušiče. Na základě tohoto rozdělení byla data dále zpracovávána.

3.3.2. Spotřeba pračky a její závislost

Z tabulky korelace naměřených hodnot byly vybrány takové veličiny, které korelují a logicky ovlivňují spotřebu pračky. Pomocí regresní analýzy byla v softwaru STATISTICA vyhodnocována důležitost těchto veličin, ve vztahu ke spotřebě pračky. Výstupy z této analýzy jsou uvedeny v příloze 3.6. Veličina, která je vyhodnocena jako důležitá, je označena červenou barvou. Nedůležité veličiny byly postupně odstraňovány a regrese znovu vyhodnocována. Odstraňováním veličin se sice mírně snižuje hodnota indexu determinace, ale nesníží se natolik, aby model ztratil svoji vypovídající hodnotu. Tím je tedy dokázána korelační zaměnitelnost veličin, což znamená, že veličiny, které korelují se spotřebou pračky, korelují i vzájemně mezi sebou, čímž je možno dosáhnout toho, že jedna veličina může nahradit všechny ostatní.

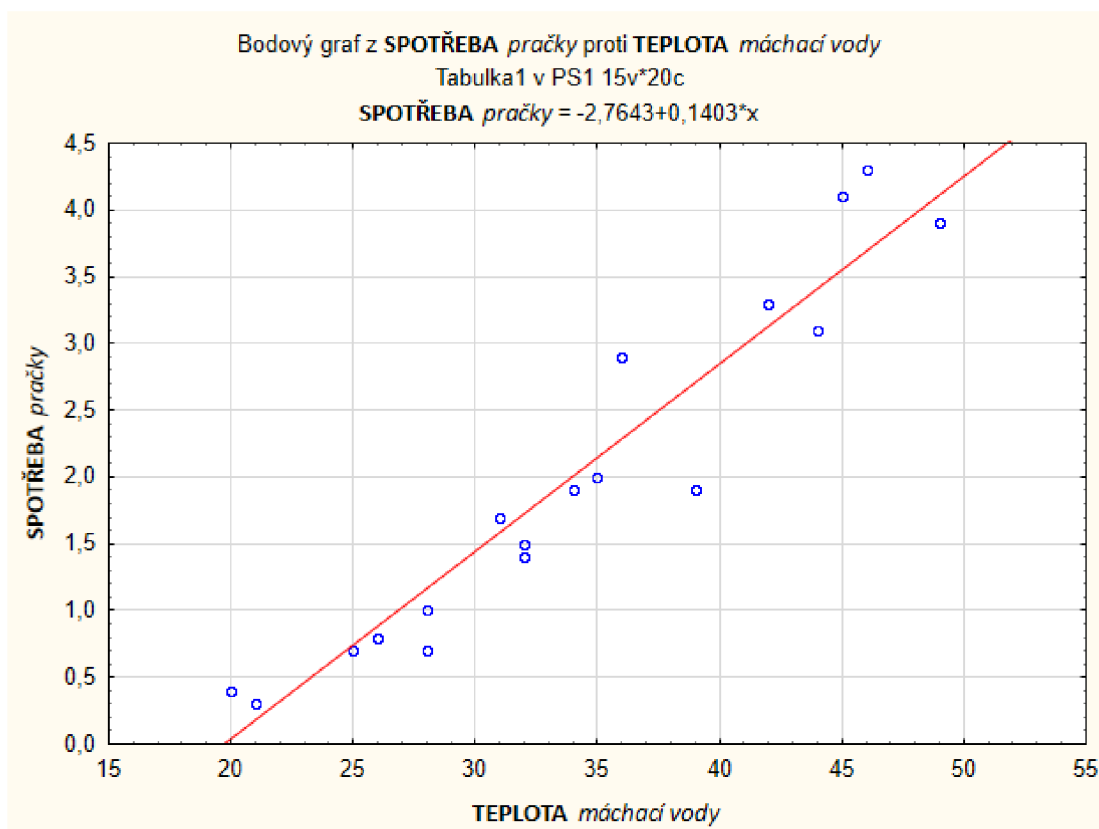
Postupným odstraňováním nedůležitých veličin se došlo k závěru, že spotřeba pračky je výrazně a podstatně závislá pouze na teplotě máchací vody. Schéma procesu může být tedy následující:



Obrázek 3.1: Schéma procesu – závislost spotřeby pračky.

Pomocí lineární regrese byl vyhodnocen i graf závislosti spotřeby pračky na teplotě máchací vody (viz 3.2). Regresí byla získána i rovnice popisující závislost, která je ve tvaru:

$$y = 0.1403x - 2.7643 \quad (3.1)$$



Obrázek 3.2: Závislost spotřeby pračky na teplotě máchací vody.

3.3.3. Spotřeba sušiče a její závislost

Závislost spotřeby sušiče byla vyhodnocována totožným způsobem, jaký je popsán a použit v částech věnovaných spotřebě pračky (3.3.1 a 3.3.2). Tabulkový výstup regresní analýzy je v příloze 3.7 a 3.8.

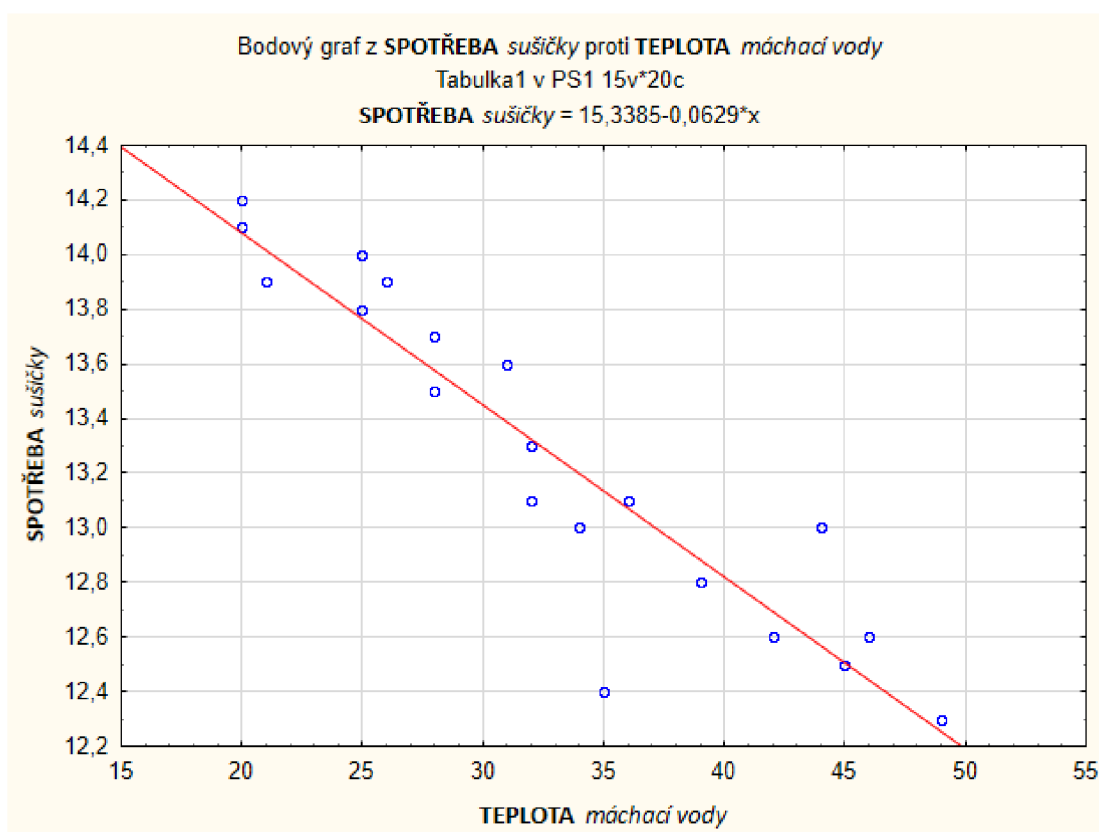
Regresní analýza opět vyhodnotila teplotu máchací vody jako stěžejní faktor, ovlivňující spotřebu sušiče. Schéma procesu je na obr. 3.3



Obrázek 3.3: Schéma procesu - závislost spotřeby sušiče.

Graf závislosti spotřeby sušiče na teplotě máchací vody je znázorněn na obr. 3.4. Z grafu je lineární regresí vyhodnocena rovnice, charakterizující zmíněnou závislost. Rovnice má podobu:

$$y = -0.0629x + 15.3385 \quad (3.2)$$



Obrázek 3.4: Závislost spotřeby sušiče na teplotě máchací vody.

3.4. Závěr experimentu

Cílem experimentu bylo zhodnotit možnost úspory energií v prádelenském procesu. Z měření vznikly dva grafy závislosti, a to závislost spotřeby pračky a spotřeby sušiče na teplotě máchací vody. Abychom zjistili závislost spotřeby energií celého procesu, postačí získané hodnoty sečíst. K tomu použijeme získané rovnice závislostí (rov. 3.1 a rov. 3.2). Rovnice sečteme a získáme rovnici celkové závislosti spotřeby procesu na teplotě máchací vody. Podoba výsledné rovnice je následující:

$$y = 0.0774x + 12.574 \quad (3.3)$$

Pro zhodnocení úspory je podstatné zvolit, vůči čemu bude úspora vztažena. Zvoleno bylo tedy 20°C jako standardní teplota máchací vody v běžném provozu. Dosazením této hodnoty do rovnice celkové spotřeby (rov. 3.3) získáme hodnotu celkové spotřeby procesu při standardní teplotě máchací vody. Dosazení vypadá následovně:

$$y = 0.0774 * 20 + 12.574 = 14.122kWh \quad (3.4)$$

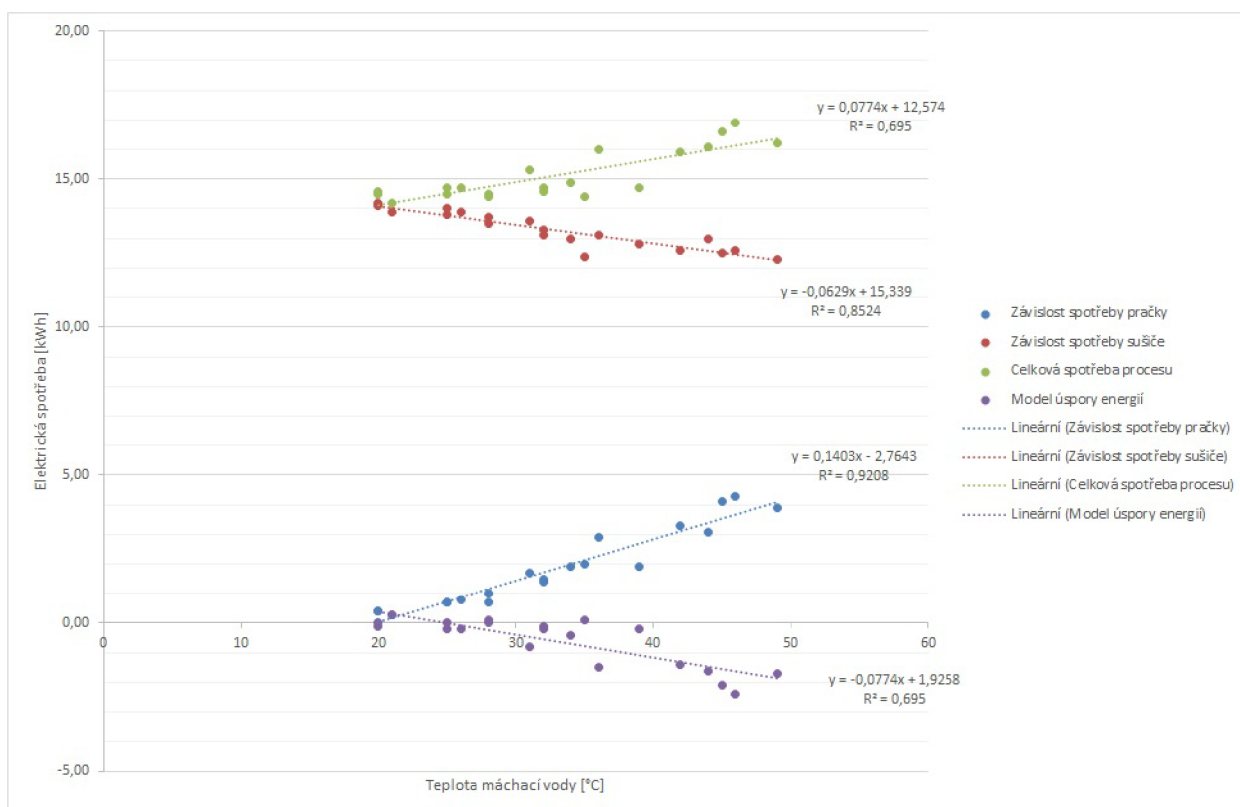
Tuto hodnotu považujeme za hladinu nulové úspory, pro kterou platí:

$$y = 0x + 14.122 \quad (3.5)$$

Pro získání konečného matematického modelu úspory energií v prádelenském procesu je už potřeba pouze odečíst od rovnice nulové hladiny (rov. 3.5) rovnici celkové spotřeby (rov. 3.3). Získaný model úspory vypadá takto:

$$y = -0.0774x + 1.9258 \quad (3.6)$$

Všechny výše zmíněné rovnice jsou graficky zpracovány v následujícím grafu:



Obrázek 3.5: Graf lineární regrese. Závislost spotřeby pračky a sušiče na teplotě máchací vody, rovnice celkové spotřeby, matematický model úspory energií.

Závěr

Tato práce ve své první části nabízí krátký exkurz do problematiky prádelenského průmyslu. Stejně jako v každém jiném odvětví i zde jsou snahy o optimalizaci celého procesu. Jednu takovou možnost tato práce nabízí a její snahou je zjistit, do jaké míry je využitelná v praxi a zda vůbec přinese nějakou úsporu. Podmínky experimentu byly nastaveny tak, aby co nejlépe kopírovali běžnou praxi a výpočetní hodnota získaného modelu odpovídala skutečnosti. I přesto nakonec muselo být velké množství ovlivňujících faktorů zanedbáno, jelikož by časová a technická náročnost tak důkladného měření nezapadala do rozsahu bakalářské práce a možností experimentálního zázemí. I tak ale výsledek měření došel k očekávaným závěrům a může být základním kamenem pro rozvoj podobných myšlenek v oblasti optimalizace procesů.

Experiment přinesl v první řadě modely popisující závislost spotřeby pračky na teplotě máchací vody a závislost spotřeby sušiče na stejné teplotě. Dle předpokladu spotřeba pračky s rostoucí teplotou stoupala a spotřeba sušiče s rostoucí teplotou klesala. Otázkou tedy bylo, jestli spotřeba pračky nestoupá více, než je pokles spotřeby sušiče. Tím by se totiž dosáhlo úspory. Závěrem experimentu byl tedy vytvořen model úspory energií v celém procesu, jenž byl v rámci této práce popsán a použit. Model je popsán rovnicí 3.6: $y = -0.0774x + 1.9258$. Z toho lze snadno vyčíst, že úspory nedosahujeme. Množství energie, kterou pračka spotřebuje pro ohřev máchací vody, je totiž výrazně vyšší než pokles spotřeby u sušiče.

Možnost přímé úspory energií na základě ohřevu máchací vody se nepotvrdila. Tato myšlenka ovšem otevírá další možnosti, které by úsporu přinést mohly. Ohřátá máchací voda může být zajímavým a velmi dobře využitelným médiem v dalších procesech. Může být využita např. pro předehřev další vody pro praní nebo může být sama o sobě použita jako první voda v dalším praní, i díky tomu, že je téměř čistá.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BOBÁK, Petr. *Systém pro hodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/14140/Bobak-Petr_DP_2009.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Diplomová práce.
- [2] TĚTHAL, Josef. *Návrh měření na průmyslové pračce*. Brno, 2013. Bakalářská práce.
- [3] *Vzdělávací moduly - Udržitelný rozvoj v průmyslových prádelnách* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.laundry-sustainability.eu/cz/>
- [4] KŠENZULIAK, Vladimír. PROCTER & GAMBLE PROFESSIONAL. *Úspory vody a energie na prádelnách podle fyzikálních, nikoliv marketingových zákonů* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.pgprof.info/dokumenty/publikace/setreni_vody.pdf
- [5] THE HERBERT KANNEGIESSER GMBH. *Oficiální webová prezentace firmy* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.kannegiesser-usa.com/>
- [6] Odvodňování textilií. *Škola textilu* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/508/zaklady-textilnich-technologiei/zuslechtovani-textilili/Odvodnovani-textilii.html>
- [7] GUTOVSKÝ, Jan. *Experimentální měření v oblasti průmyslového sušení textilu*. Brno, 2014. Diplomová práce.
- [8] HOLEČEK, Oldřich. *Návod k laboratornímu cvičení: Sušení* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné také z: <http://uchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/labchi/S.pdf>
- [9] ŠESTÁK, Jiří, Jaromír BUKOVSKÝ a Milan HOUŠKA. *Tepelné pochody: transportní a termodynamická data*. Vyd. 5. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 245 s. ISBN 80-010-2934-4.
- [10] Sušiče. *Oficiální webová prezentace firmy Primus* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/tumble-dryers/>
- [11] PRIMUS. *Oficiální webová prezentace firmy* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.primuslaundry.com/cz/>
- [12] *LaundryStuff* [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.laundrystuff.co.uk/>
- [13] RUBÁŠ, Josef. *Regresní úlohy pro Data Mining* [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/52313/2/RubasJ_RegresniUlohy_PP_2013.pdf. Bakalářská práce.

Seznam použitých zkratek a symbolů

φ	vlhkost prádla
m_v	hmotnost prádla po odvodnění
m_0	hmotnost suchého prádla
ϕ	absolutní vlhkost prádla
η	dynamická viskozita
v	rychlost
h	vzdálenost
τ	smykové tření
E_A	aktivační energie viskózního toku
k	Boltzmanova konstanta
T	termodynamická teplota
C	konstanta
φ	tekutost
ν	kinematická viskozita
ρ	hustota
R^2	index determinace
b	regresní parametr
b^*	normovaný regresní parametr

Barevná matice abolut. hodnoty r (Tabulka1 v PS1)
 N=20 (Celé případy vynechány u ChD)
 abs(r)>=

Proměnná	TEPLOTA vody na vstupu do pračky	TEPLOTA máchací vody	TEPLOTA prádla před praním	TEPLOTA prádla po praní	TEPLOTA prádla před sušením	TEPLOTA v sušiči	HMOTNOST před praním	HMOTNOST po praní	HMOTNOST po sušení	DOBA praní	DOBA sušení	SPOTŘEBA pračky	SPOTŘEBA pračky	SPOTŘEBA sušiče
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	1,000000	0,458169	0,929875	0,413461	0,394101	0,983124	0,143761	0,513263	0,088349	0,352329	0,206280	0,433357	0,380578	0,476061
TEPLOTA máchací vody	0,458169	1,000000	0,439541	0,936549	0,889295	0,353795	0,241414	0,645490	0,142643	0,941732	0,341701	0,304792	0,959567	0,923270
TEPLOTA prádla před praním	0,929875	0,439541	1,000000	0,473089	0,459184	0,931899	0,044633	0,431307	0,035971	0,283128	0,010239	0,421860	0,313673	0,477438
TEPLOTA prádla po praní	0,413461	0,936549	0,473089	1,000000	0,938803	0,345109	0,019023	0,621586	0,002988	0,820340	0,124284	0,369147	0,844182	0,901237
TEPLOTA prádla před sušením	0,394101	0,889295	0,459184	0,938803	1,000000	0,331099	0,118652	0,659221	0,179929	0,734177	0,043184	0,454808	0,780559	0,858401
TEPLOTA v sušiči	0,983124	0,353795	0,931899	0,345109	0,331099	1,000000	0,062188	0,446120	0,042603	0,226453	0,090647	0,415095	0,255586	0,405631
HMOTNOST před praním	0,143761	0,241414	0,044633	0,019023	0,118652	0,062188	1,000000	0,200263	0,688992	0,393401	0,571936	0,187854	0,379189	0,188637
HMOTNOST po praní	0,513263	0,645490	0,431307	0,621586	0,659221	0,446120	0,200263	1,000000	0,187340	0,561580	0,355892	0,450826	0,593790	0,624475
HMOTNOST po sušení	0,088349	0,142643	0,035971	0,002988	0,179929	0,042603	0,688992	0,187340	1,000000	0,352142	0,602972	0,337345	0,311588	0,199199
DOBA praní	0,352329	0,941732	0,283128	0,820340	0,734177	0,226453	0,393401	0,561580	0,352142	1,000000	0,576090	0,132271	0,984634	0,840908
DOBA sušení	0,206280	0,341701	0,010239	0,124284	0,043184	0,090647	0,571936	0,355892	0,602972	0,576090	1,000000	0,028202	0,547095	0,301792
SPOTŘEBA pračky	0,433357	0,304792	0,421860	0,369147	0,454808	0,415095	0,187854	0,450826	0,337345	0,132271	0,028202	1,000000	0,193598	0,202610
SPOTŘEBA pračky	0,380578	0,959567	0,313673	0,844182	0,780559	0,255586	0,379189	0,593790	0,311588	0,984634	0,547095	0,193598	1,000000	0,873328
SPOTŘEBA sušiče	0,476061	0,923270	0,477438	0,901237	0,858401	0,405631	0,188637	0,624475	0,199199	0,840908	0,301792	0,202610	0,873328	1,000000

Tabulka 3.5: Korelace mezi všemi naměřenými údaji.

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,98111156 R2= ,96257990 Upravené R2= ,94530909						
F(6,13)=55,734 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,30732						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(13)	p-hodn.
Abs. člen			-6,32804	15,38352	-0,41135	0,687516
TEPLOTA máchací vody	0,899182	0,077701	0,13143	0,01136	11,57226	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,208693	0,205897	-0,07752	0,07648	-1,01358	0,329279
HMOTNOST před praním	0,079862	0,069630	0,85786	0,74795	1,14695	0,272074
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-0,750373	0,458549	-0,40300	0,24627	-1,63641	0,125722
pořadí	0,015732	0,115162	0,01930	0,14128	0,13661	0,893432
TEPLOTA vzduchu v sušičce	-0,621852	0,448349	-0,09720	0,07008	-1,38698	0,188769

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,98108419 R2= ,96252618 Upravené R2= ,94914268						
F(5,14)=71,919 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,29635						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(14)	p-hodn.
Abs. člen			-6,63557	14,67487	-0,45217	0,658072
TEPLOTA máchací vody	0,899561	0,074881	0,13148	0,01094	12,01322	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,193401	0,166646	-0,07184	0,06190	-1,16055	0,265232
HMOTNOST před praním	0,082516	0,064480	0,88637	0,69263	1,27972	0,221446
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-0,773198	0,411786	-0,41526	0,22116	-1,87767	0,081418
TEPLOTA vzduchu v sušičce	-0,647725	0,391881	-0,10124	0,06125	-1,65286	0,120599

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,97924511 R2= ,95892098 Upravené R2= ,94796658						
F(4,15)=87,537 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,29976						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(15)	p-hodn.
Abs. člen			-14,3757	13,22205	-1,08725	0,294087
TEPLOTA máchací vody	0,878397	0,073461	0,1284	0,01074	11,95725	0,000000
HMOTNOST před praním	0,114405	0,059002	1,2289	0,63379	1,93899	0,071552
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-0,685061	0,409376	-0,3679	0,21986	-1,67343	0,114963
TEPLOTA vzduchu v sušičce	-0,735802	0,388882	-0,1150	0,06078	-1,89210	0,077943

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,97532144 R2= ,95125190 Upravené R2= ,94211163						
F(3,16)=104,07 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,31617						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(16)	p-hodn.
Abs. člen			-29,7145	10,05105	-2,95636	0,009287
TEPLOTA máchací vody	0,954774	0,060715	0,1396	0,00887	15,72546	0,000000
HMOTNOST před praním	0,154403	0,056898	1,6586	0,61119	2,71365	0,015337
TEPLOTA vzduchu v sušičce	-0,091811	0,059034	-0,0144	0,00923	-1,55523	0,139448

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,97153621 R2= ,94388261 Upravené R2= ,93728056						
F(2,17)=142,97 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,32910						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(17)	p-hodn.
Abs. člen			-30,4106	10,45167	-2,90964	0,009761
TEPLOTA máchací vody	0,921745	0,059206	0,1347	0,00865	15,56853	0,000000
HMOTNOST před praním	0,156667	0,059206	1,6829	0,63598	2,64614	0,016976

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA pračky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,95956689 R2= ,92076861 Upravené R2= ,91636686						
F(1,18)=209,18 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,38003						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(18)	p-hodn.
Abs. člen			-2,76431	0,330162	-8,37259	0,000000
TEPLOTA máchací vody	0,959567	0,066346	0,14025	0,009697	14,46315	0,000000

Tabulka 3.6: Důležitost veličin ovlivňujících spotřebu pračky.

Výsledky regrese se závislou proměnnou : **SPOTŘEBA sušičky** (Tabulka1 v PS1)
R= ,95533941 R2= ,91267338 Upravené R2= ,86173286
F(7,12)=17,916 p<,00002 Směrod. chyba odhadu : ,22766

	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(12)	p-hodn.
N=20						
Abs.člen			35,84823	12,57449	2,85087	0,014599
pořadí	0,30938	0,186161	0,17683	0,10640	1,66187	0,122419
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-1,44039	0,853651	-0,36042	0,21360	-1,68733	0,117338
TEPLOTA máchací vody	-0,88618	0,161247	-0,06035	0,01098	-5,49582	0,000137
TEPLOTA prádla před praním	-0,66402	0,411849	-0,11492	0,07128	-1,61229	0,132872
TEPLOTA vzduchu v sušičce	-0,97172	0,732918	-0,07076	0,05337	-1,32582	0,209584
HMOTNOST před praním	-0,27785	0,175139	-1,39053	0,87651	-1,58643	0,138627
HMOTNOST po prání	0,26674	0,191376	0,44181	0,31699	1,39378	0,188658

Výsledky regrese se závislou proměnnou : **SPOTŘEBA sušičky** (Tabulka1 v PS1)
R= ,94862083 R2= ,89988147 Upravené R2= ,85367292
F(5,13)=19,474 p<,00001 Směrod. chyba odhadu : ,23420

	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(13)	p-hodn.
N=20						
Abs.člen			28,32707	11,54461	2,45371	0,029010
pořadí	0,398790	0,178501	0,22794	0,10203	2,23410	0,043670
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-0,430030	0,395729	-0,10760	0,09902	-1,08668	0,296918
TEPLOTA máchací vody	-0,834670	0,160992	-0,05684	0,01096	-5,18453	0,000176
TEPLOTA prádla před praním	-0,746237	0,418852	-0,12915	0,07249	-1,78163	0,098172
HMOTNOST před praním	-0,218558	0,174200	-1,09381	0,87181	-1,25464	0,231697
HMOTNOST po prání	0,207814	0,191493	0,34422	0,31718	1,08523	0,297533

Výsledky regrese se závislou proměnnou : **SPOTŘEBA sušičky** (Tabulka1 v PS1)
R= ,94382797 R2= ,89081124 Upravené R2= ,85181526
F(5,14)=22,844 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,23568

	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(14)	p-hodn.
N=20						
Abs.člen			23,73882	10,81055	2,19589	0,045449
pořadí	0,342286	0,171820	0,19564	0,09821	1,99213	0,066231
TEPLOTA vody na vstupu do pračky	-0,123537	0,278954	-0,03091	0,06980	-0,44286	0,664634
TEPLOTA máchací vody	-0,963958	0,108970	-0,06564	0,00742	-8,84605	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,442894	0,313914	-0,07665	0,05433	-1,41088	0,180114
HMOTNOST před praním	-0,074713	0,113750	-0,37392	0,56928	-0,65682	0,521946

Výsledky regrese se závislou proměnnou : **SPOTŘEBA sušičky** (Tabulka1 v PS1)
R= ,94301730 R2= ,88928163 Upravené R2= ,85975673
F(4,15)=30,120 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,22928

	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(15)	p-hodn.
N=20						
Abs.člen			20,75703	8,228033	2,52272	0,023430
pořadí	0,335894	0,166561	0,19199	0,095202	2,01664	0,062002
TEPLOTA máchací vody	-0,962444	0,105958	-0,06554	0,007216	-9,08325	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,322541	0,152850	-0,05582	0,026454	-2,11018	0,052048
HMOTNOST před praním	-0,050430	0,096953	-0,25238	0,485220	-0,52014	0,610554

Výsledky regrese se závislou proměnnou : **SPOTŘEBA sušičky** (Tabulka1 v PS1)
R= ,94195788 R2= ,88728464 Upravené R2= ,86615051
F(3,16)=41,983 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,22399

	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(16)	p-hodn.
N=20						
Abs.člen			16,48817	0,573359	28,75713	0,000000
pořadí	0,303425	0,150861	0,17343	0,086228	2,01129	0,061453
TEPLOTA máchací vody	-0,969624	0,102632	-0,06603	0,006989	-9,44756	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,291433	0,137420	-0,05044	0,023783	-2,12074	0,049920

Tabulka 3.7: Důležitost veličin ovlivňujících spotřebu sušiče. 1/2

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA sušičky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,92327046 R2= ,85242834 Upravené R2= ,84422992						
F(1,18)=103,97 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,24164						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(18)	p-hodn.
Abs.člen			15,33851	0,209932	73,0643	0,000000
TEPLOTA máchací vody	-0,923270	0,090545	-0,06287	0,006166	-10,1968	0,000000

Výsledky regrese se závislou proměnnou : SPOTŘEBA sušičky (Tabulka1 v PS1)						
R= ,92670742 R2= ,85878665 Upravené R2= ,84217331						
F(2,17)=51,693 p<,00000 Směrod. chyba odhadu : ,24323						
N=20	b*	Sm.chyba (z b*)	b	Sm.chyba (z b)	t(17)	p-hodn.
Abs.člen			15,68060	0,444448	35,28105	0,000000
TEPLOTA máchací vody	-0,884251	0,101468	-0,06022	0,006910	-8,71457	0,000000
TEPLOTA prádla před praním	-0,088774	0,101468	-0,01536	0,017561	-0,87490	0,393823

Tabulka 3.8: Důležitost veličin ovlivňujících spotřebu sušiče. 2/2