



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

## NÁVRH MODELU PRÁDELNY BUDOUCNOSTI

DESIGN OF UP-TO-DATE LAUNDRY PREMISE MODEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ MAREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN PAVLAS, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2009/10

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Marek Tomáš, Bc.

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

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

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 diplomové práce:

### **Návrh modelu prádelny budoucnosti**

v anglickém jazyce:

#### **Design of up-to-date laundry premise model**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámit se s procesem profesní údržby prádla. Práce řeší dílčí projekční úkoly související s budoucí realizací modelu procesu profesní údržby prádla charakteristického výrazně nižší spotřebou energie a vody než odpovídá dnešnímu standardu. Cílem práce je v souladu s dispozicí objektu navrhnout základní technologické a dispoziční řešení. Výsledky práce budou sloužit jako podklad pro další stupně realizace projektu (prováděcí projekt).

Cíle diplomové práce:

Na základě stanovené koncepce modelu vytvořit technologické schéma procesu. Schéma bude obsahovat: hlavní aparáty, hlavní procesní proudy, pomocné procesní proudy, související zařízení, hlavní komponenty polní instrumentace a popis dle běžných zvyklostí oboru. Schéma bude vytvořeno v softwaru AutoCad.

Dále bude v prostředí Solid Works vytvořen 3D model procesu, ze kterého bude patrné umístění všech aparátů v rámci dispozice budovy, jejich hlavní rozměry a vedení potrubních tras a hlavní ocelové konstrukce. Výstupem bude rovněž výkresová dokumentace.

Seznam odborné literatury:

[WALKER V.: Designing a Process Flowsheet, Chemical Engineering Progress, květen 2009

STEHLIK, P.: Laundry lessons [online], [cit. 15. 5. 2009],  
dostupné z <<http://www.pgprofsupport.cz/>>

PAVLAS, M.; KŠENZULIAK, V.: Optimalizace využití tepla a vody na profesní prádelně,  
II. etapa. Technická zpráva. Brno: Ústav procesního a ekologického inženýrství FSI VUT  
v Brně, 2006

KŠENZULIAK, V.: Systém pro výpočet stěžejních parametrů u energeticky náročného  
spotřebitele. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007.  
63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas.

TŮMA, Z. Model moderní komerční prádelny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta  
strojního inženýrství, 2009. 63s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 12.10.2009



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Anotace**

Práce se zaměřuje na problematiku procesní údržby prádla. Úkolem bylo vypracovat část technologického schématu moderního procesu velkokapacitní prádelny včetně hlavních aparátů, hlavních procesních proudů, pomocných procesních proudů, souvisejících zařízení, hlavních komponent polní instrumentace a jejich popisu dle běžných zvyklostí oboru.

Na základě technologického schématu byl vytvořen 3D model technologie v softwaru SolidWorks. Z modelu je patrné rozmístění všech aparátů v rámci dispozice budovy, jejich hlavní rozměry a vedení hlavních potrubních tras.

Závěrečná část práce se zabývá problematikou měření procesních parametrů důležitých pro vyhodnocení energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla. Byla vytipována vhodná měřicí zařízení, u kterých byly diskutovány jejich výhody a nevýhody. V návaznosti na zvolenou měřicí techniku byly vytvořeny 3D modely potrubních tras, ze kterých je patrné rozmístění jednotlivých měřidel a jejich hlavní rozměry.

## **Klíčová slova**

prádelna, prádlo, technologické schéma, dispozice profesní prádelny, SolidWorks, energeticky náročný proces.

---

## **Annotation**

Scope of this thesis is the design and evaluation of a laundry processing facility. Main goal was to prepare, design and evaluate part of the technological layout for a modern, high-volume laundry processing facility. The focus was on the main apparatuses, main process flow, as well as the supporting process flow, related equipment and key components of field instrumentation with standard description.

3D facility model was prepared on the basis of proposed technological layout, using the SolidWorks software package. This model shows placement of all key equipment and components as well as physical disposition of connection tubing within the building.

Final part of work reviews proposed options of process parameters measurement. Such measurements which are important for the evaluation of energy consumption of considered laundry processing. We discuss both pros and cons of evaluated and selected suitable measurement devices, tools and procedures. Constructed 3D model of piping lines shows placing and dimensions of selected measurement devices.

## **Keywords**

laundry, linen, flow sheet, disposition of professional laundry, SolidWorks, energy-intensive process.

## **Bibliografická citace této práce**

MAREK, T. *Návrh modelu prádelny budoucnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

## **Prohlášení o původnosti práce**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s využitím uvedených zdrojů,  
na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 11. května 2010

.....

Bc. Tomáš Marek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat garantovi Ing. Martinu Pavlasovi, Ph.D. za cenné připomínky a trpělivost při vedení této práce.

# Obsah

1. Seznam použitých symbolů .....	7
2. Úvod.....	8
3. Zásady zpracování technologických schémat.....	9
3.1 Popis jednotlivých technologických schémat.....	9
3.1.1 Blokové schéma procesů.....	9
3.1.2 Procesní schéma toků .....	10
3.1.3 Schéma potrubního propojení a instrumentace .....	11
3.2 Počítačový návrh P&ID.....	12
3.3 Značení jednotlivých zařízení, aparátů, potrubí, armatur a polní instrumentace .....	13
3.3.1 Značení zařízení a aparátů.....	13
3.3.2 Značení potrubí a armatur .....	14
3.3.3 Značení polní instrumentace (měřidla) .....	15
3.3.4 Nástrojové smyčky .....	18
4. Technologie procesu profesní údržby prádla.....	19
4.1 Popis technologie a zařízení .....	19
4.1.1 Praní prádla .....	19
4.1.2 Sušení prádla .....	21
4.1.3 Žehlení prádla.....	21
4.2 Technologická schémata procesu .....	22
4.2.1 Technologické schéma bubnové sušičky s parním ohřevem .....	23
5. Model profesní prádelny v softwaru SolidWorks .....	25
5.1 Dispozice budovy profesní prádelny .....	26
5.1.1 Přízemí budovy profesní prádelny .....	26
5.1.2 První patro budovy profesní prádelny .....	27
5.2 Rozmístění aparátů v rámci dispozici budovy.....	28
5.3 Potrubní trasy hlavních procesních médií .....	29
5.3.1 Parní potrubí.....	30
5.3.2 Výpočet průměru parního potrubí.....	31
5.3.3 Potrubí odvodu kondenzátu.....	33
5.3.4 Výpočet průměru kondenzátního potrubí.....	34
5.3.5 Výpočet průměrů potrubí expandérové jednotky.....	37
5.3.6 Potrubí odvodu vzdušiny.....	38

5.3.7	Výpočet průměru potrubí odvodu vzdušiny.....	39
6.	Výběr vhodné polní instrumentace pro sběr dat v procesu profesní údržby prádla.....	41
6.1	Přehled dostupných měřidel průtoku.....	41
6.1.1	Clonový průtokoměr .....	41
6.1.2	Turbínový průtokoměr .....	43
6.1.3	Plovákové průtokoměry .....	44
6.1.4	Pružinový průtokoměr.....	45
6.1.5	Pitotova trubice a její různé varianty.....	45
6.2	Výběr měřidel průtoku pro použití v profesní prádelně .....	47
6.2.1	Volba měřidla průtoku odpadního vzduchu .....	48
6.2.2	Annubar pro měření průtoku odpadního vzduchu.....	48
6.2.3	Volba měřidla průtoku páry .....	49
6.2.4	Clonový průtokoměr pro měření přívodu páry .....	50
6.3	Ostatní měřicí zařízení.....	50
7.	3D model potrubních tras.....	52
7.1	Potrubní trasa měření odpadního vzduchu .....	52
7.2	Potrubní trasa měření přívodu páry a zemního plynu .....	53
8.	Závěr .....	55
9.	Seznam použité literatury .....	56
10.	Seznam příloh.....	58

# 1. Seznam použitých symbolů

symbol	popis	jednotka
B	poměr mezi průměrem clony a průměrem potrubí	-
BFD	blokové schéma procesu	-
d	průměr clony	mm
DN	jmenovitý průměr potrubí	-
D <sub>P</sub>	průměr potrubí	mm
FS	procento odpaření	%
H <sub>k</sub>	entalpie kondenzátu	kJ/kg
H <sub>k1</sub>	entalpie kondenzátu po odpaření	kJ/kg
H <sub>o</sub>	energie odpařování	kJ/kg
m	hmotnostní průtok	kg/h
m <sub>k</sub>	průtok kondenzátu po odpaření	kg/h
m <sub>p</sub>	průtok páry po odpaření	kg/h
P	tlak	bar
P&ID	schéma potrubního propojení a instrumentace	-
PFD	procesní schéma toků	-
PN	jmenovitý tlak	-
R <sub>OP2</sub>	hustota nasycené směsi	kg/m <sup>3</sup>
t <sub>v</sub>	tloušťka stěny potrubí	mm
v	rychlost	m/s
V	objemový průtok	m <sup>3</sup> /s
V <sub>c</sub>	celkový objem	m <sup>3</sup>
V <sub>g</sub>	specifický objem	m <sup>3</sup> /kg
V <sub>k</sub>	objem kondenzátu	m <sup>3</sup>
V <sub>N</sub>	objemový průtok v m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /h
V <sub>p</sub>	objem páry	m <sup>3</sup>

## 2. Úvod

Spotřební společnost, ve které nyní žijeme, se neustále rozvíjí a potřebuje pro své přežití stále větší množství energie. Nezáleží na tom, jestli se jedná o elektrickou energii, vodu, plyn nebo jiné typy energií, ale jejich spotřeba konzumním člověkem neustále roste. Ačkoliv si to neuvědomujeme, a rostoucí náklady domácností přisuzujeme rostoucím cenám energií, spotřebováváme stále více energie pro svůj život.

Tímto chováním člověka neúměrně rostou nároky na zvýšený počet energetických zdrojů. Zastavení nebo alespoň zpomalení tohoto procesu je možné najít ve snižování energetické náročnosti využívaných zařízení nejen v domácnostech, ale především ve velkých průmyslových provozech.

Mezi energeticky velmi náročné provozy patří také profesní údržba prádla. Moderní velkokapacitní prádelny dokážou zpracovat až desítky tun prádla za den a na to spotřebuje množství energie jako menší sídliště. U takto velkých provozů jako jsou profesní prádelny je výměna staršího, ale funkčního vybavení za nové (které bude méně náročné na spotřebu energií) investičně velmi náročná. Proto provozovatelé hledají úsporu energií jinde než v prosté náhradě zařízení.

Jako jedna z možností, jak ušetřit nemalé finanční prostředky na spotřebě energií, je její dokonalé využití v jednotlivých zařízeních a v provozu jako celku. Problémem optimalizace využití energií v profesní prádelně se již čtvrtým rokem zabývají odborníci Ústavu procesního a ekologického inženýrství (dále ÚPEI) na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně (dále VUT). Na projektu se společně s VUT podílí společnost Procter & Gamble [1], která si je velice dobře vědoma energetické náročnosti provozu profesní údržby prádla a chce se podílet na jejím snižování. Následně vznikla na ÚPEI myšlenka realizace vlastní výzkumné prádelny v rámci výzkumného a vývojového projektu NETME Centr [2].

První částí práce bylo vypracování části technologického schématu procesu profesní údržby prádla. Aby bylo možné vypracovat technologické schéma, bylo nutné absolvovat seznámení se se základními pravidly jeho tvorby a seznámení se s technologií procesu profesní údržby prádla. V návaznosti na technologické schéma byl vytvořen 3D model dispozice prádelny doplněný o hlavní zařízení a přívody hlavních procesních potrubí. Závěrečná část práce se zabývá výběrem vhodné polní instrumentace pro měření energetické náročnosti procesu profesní údržby prádla. Postupně jsou rozebírány jednotlivé typy měřidel a následně diskutovány jejich výhody a nevýhody. Po výběru vhodné polní instrumentace jsou měřidla zapracována do 3D modelu měřících tras, ze kterých jsou patrné hlavní rozměry měřidel.

### 3. Zásady zpracování technologických schémat

Schéma potrubního propojení a instrumentace (angl. process and instrumentation diagram, dále jen P&ID) patří do rodiny technologických schémat [3], [4]. Mezi technologická schémata patří také blokové schéma procesu (angl. block flow diagram, dále jen BFD) a procesní schéma toků (angl. process flow diagram, dále jen PFD). V těchto schématech je možné snadno a přehledně uchovat velké množství technických dat.

Vzhled a provedení procesních schémat se od svého vzniku ve 40. letech mnoho nezměnil i přes desetiletí velkého technického rozvoje. Návrh diagramů se pouze přesunul od rýsovacích prken, pravítek a papírů k moderním počítačovým softwarům jako jsou AutoCAD, ChemCAD a mnoho jím podobných.

#### 3.1 Popis jednotlivých technologických schémat

Jak již bylo zmíněno, existují 3 druhy technologických schémat, která budou nyní blíže popsána a vysvětlena jejich funkcí.

##### 3.1.1 Blokové schéma procesů

BFD obvykle připomínají organizační schémata. Lze je jednoduše popsat (obr. 3.1) jako text v různě tvarovaných blocích (každý blok představuje jednotkovou operaci – destilace, separace atd.) pospojovaných liniemi, které znázorňují procesní tok hlavní látky. Tyto procesní toky mohou být například směsi kapalin, plynů nebo tuhých látek dopravované potrubím, pásovým dopravníkem nebo jiným způsobem transportu.

Při tvoření těchto i dalších technologických schémat je nutné dodržovat jisté stanovy a postupy. Nejzákladnější a nejdůležitější zákonitosti jsou:

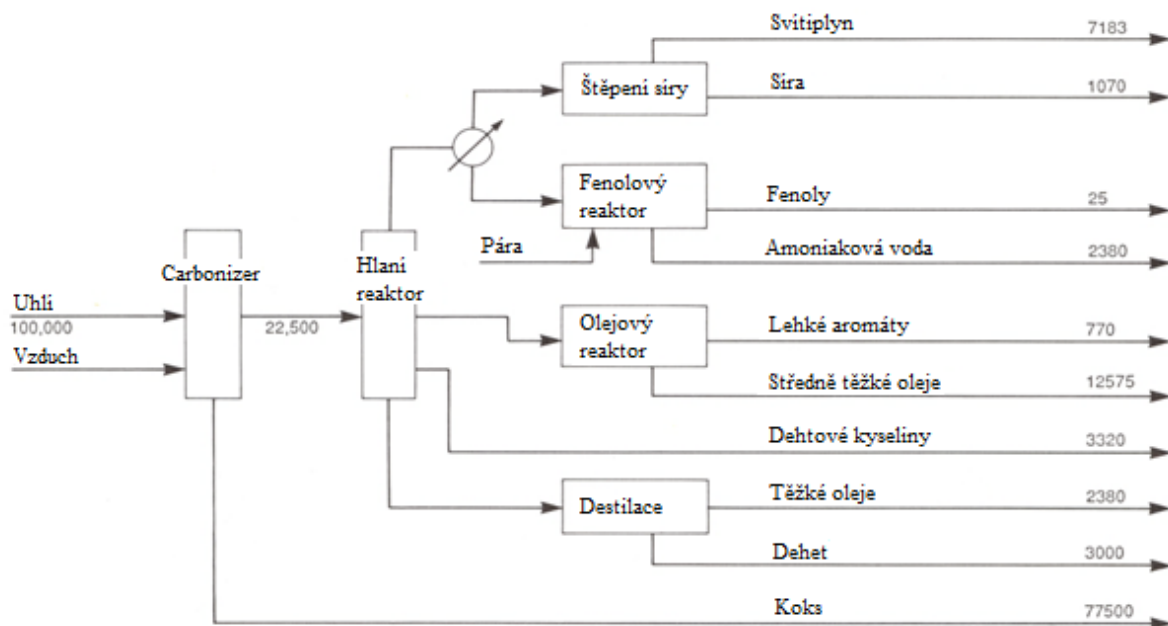
- směr toku procesů zleva doprava (shora dolů)
- uvažování gravitace (plyn je lehčí než voda, tudíž např. z destilační kolony odchází plyn horní a kondenzát spodní částí)
- šipky ve směru procesu
- logické číslování jednotlivých toků a zařízení.

Hlavními výhodami BFD je:

- přehlednost, rychlá orientace, první idea o zapojení aparátů
- srozumitelnost i pro lidi z jiných oborů.

BFD obsahují především:

- základní uzly jednotkových operací
- proudy látek, které vstupují do reakce při výrobě produktu
- průtoky látek v jednotlivých proudcích (kg/h, lb/h, m<sup>3</sup>/h).



Obr. 3.1 – BFD schéma karbonizace uhlí [5]

### 3.1.2 Procesní schéma toků

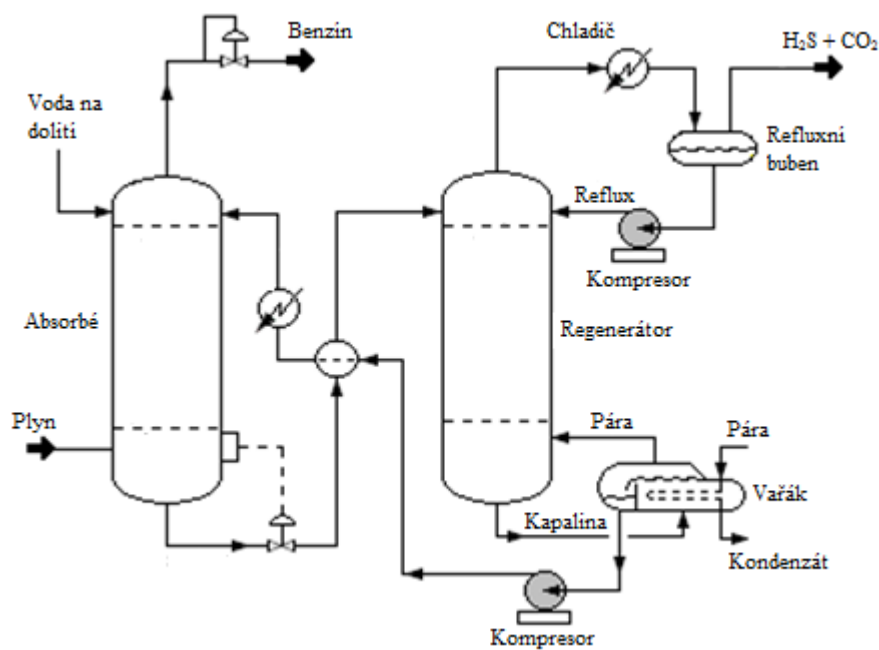
PFD (obr. 3.2) bývají také nazývány jako výrobní diagramy nebo schémata výrobního postupu. Již z obrázku 3.2 je patrné, že tento typ schémat poskytuje mnohem více informací o dané technologii než diagramy BFD. Podrobněji ukazují hlavní zařízení, všechny subsystémy a toky látek mezi nimi. Obsahují přesné informace o jednotlivých tocích a zařízeních jako jsou teploty, průtoky, tlaky, stavy hladin atd.

PFD diagram by měl obsahovat:

- detailní materiálové a energetické bilance technologie
- veškeré aparáty technologie, ty jsou zobrazeny za pomoci zjednodušených symbolů
- pouze nejdůležitější regulační a bezpečnostní armatury
- jen nejdůležitější čerpadla, kompresory, dmychadla apod.
- jedinečné číslování proudů a aparátů
- směry proudění látek
- hlavní bypassy, recykly a recirkulace
- přehledné zobrazení proudů a jejich napojení k aparátům
- tabulku proudů
- legendu aparátů a zařízení
- legendu armatur
- legendu ostatních zobrazení.

Každý procesní proud uvedený v diagramu by měl obsahovat informaci o:

- celkovém průtoku proudu (kg/h, lb/h, kmol/h, m<sup>3</sup>/h)
- chemickém složení proudu (buď v procentech, nebo průtok každé z látek)
- pracovní teplotě, entalpii, hmotnosti, vlhkosti
- provozním tlaku.



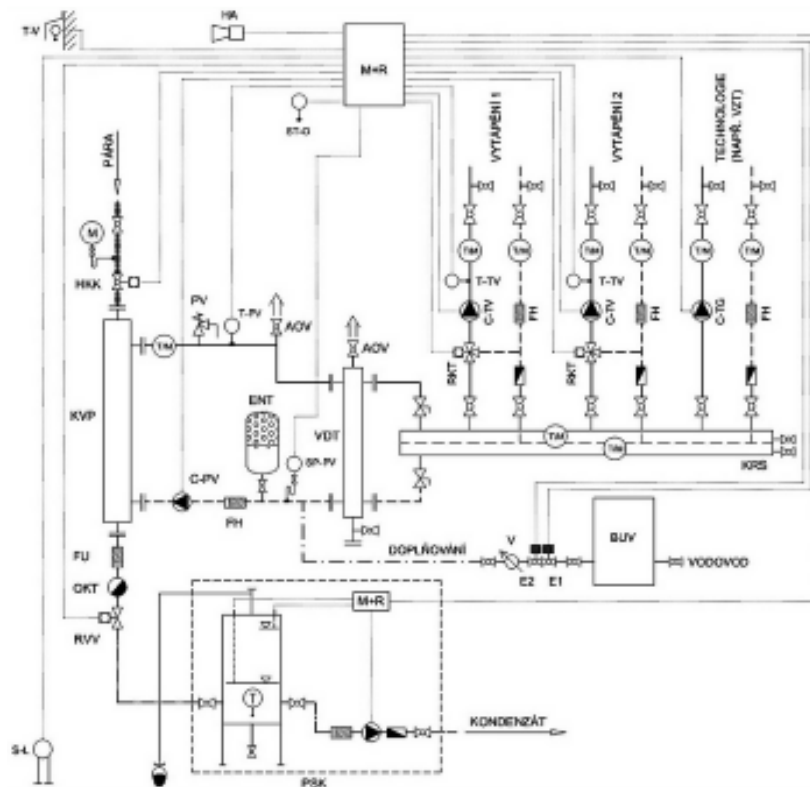
Obr. 3.2 – PFD schéma výroby amoniaku [6]

### 3.1.3 Schéma potrubního propojení a instrumentace

P&ID (obr. 3.3) je diagram používaný v procesním průmyslu pro plné znázornění všech potrubí, zařízení, armatur atd. Jednodušeji řečeno, plně definuje proces. Dle mezinárodních stanov a předpisů je nutné udržovat aktuální P&ID schéma během celé životnosti technologie.

Obsahuje vše co výše zmíněné diagramy BFD a PFD, navíc jsou rozšířené o:

- konstrukční požadavky na nebezpečné operace
- veškerá zařízení až do poslední armatury
- kompletní specifikace potrubí, armatura, polní instrumentace, všech proudů (včetně jejich složení a průtoků).



Obr. 3.3 – P&ID schéma výměňkové sítě [6]

### 3.2 Počítačový návrh P&ID

V dnešní době, kdy jsou možnosti informačních technologií téměř neomezené, se počítačové systémy implementují i do tak specifických odvětví jako je procesní návrh. Například společnost Autodesk vyvinula speciální CAD systém pro tvorbu P&ID.

Vzhledem k tomu, že téměř veškeré značky a prvky používané pro tvorbu P&ID jsou tvořené z čar, oblouků a jejich kombinacemi, je CAD systém ideálním nástrojem pro jejich tvorbu. Předností počítačového návrhu je snadná udržitelnost a aktualizace dokumentace. Velkou výhodou je možnost automatizovaného překreslování dokumentace po úpravách.

Za pomoci automatizovaných oprav je možné:

- odstranit nebo dokreslit část procesu, po odstranění nebo po přidání ventilu
- zkontrolovat, zda je ventil kompatibilní s potrubím, popřípadě systém sám navrhne možnosti řešení.

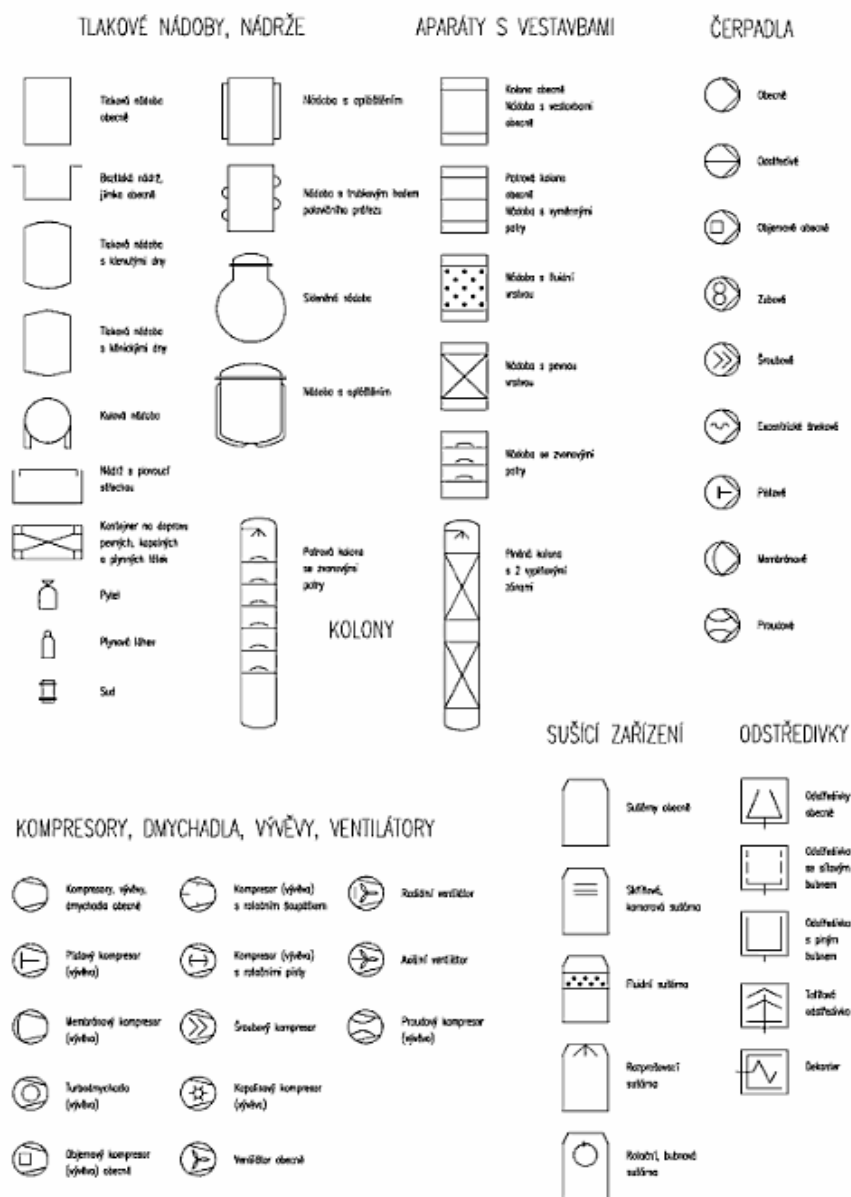
Výhodou počítačového návrhu je také možnost tzv. inteligentního P&ID, které umožňují zvýšit efektivnost tvorby dokumentace. Zahrnují veškeré informace o dodavatelích, materiálech, výrobě, montáži, specifických vlastnostech součástí, velikostech zařízení a mnoho jiných důležitých informací, které při ručním zpracování byli na zvláštních doprovodných listech.

### 3.3 Značení jednotlivých zařízení, aparátů, potrubí, armatur a polní instrumentace

Pro to, aby bylo možné využívat technologická schémata, je nutné znát nejen teorii týkající se jednotlivých typů schémat, ale naprostou nezbytností je práce se značkami představujícími jednotlivé zařízení, aparáty potrubí, armatury a polní instrumentaci.

#### 3.3.1 Značení zařízení a aparátů

Zařízení a aparáty jsou nejdražší a nejnáročnější částí každé technologie. Je tedy důležité dbát při vytváření technologických schémat na logické a co nejméně náročné zapojení mezi nimi.



Obr. 3.4 – Značení aparátů v P&ID dle normy ANSI [6]

Většina států má ve svých národních normách zapracované doporučení, jak by jednotlivé značky zařízení a aparátů měly vypadat. Inženýrské firmy mívají často své značení a vnitropodnikové normy, kterých se drží. Zřídka dochází i ke značení dle objednavatele. Základním pravidlem pro značky zařízení a aparátů je jejich jednoduchost a schematická srozumitelnost funkce.

Americká národní norma (ANSI) doporučuje značení dle obrázku 3.4. Tato norma se zabývá i takovými věcmi jako je číselné značení jednotlivých zařízení a aparátů<sup>1</sup>.

### 3.3.2 Značení potrubí a armatur

Tato kapitola se zabývá nejrozsáhlejší a také nejsložitější oblastí navrhování procesních schémat, proto bude rozdělena na dvě části. Obecně zde platí tytéž pravidla jako při navrhování zařízení a aparátů.

#### Značení potrubí

Bez procesního potrubí by nebylo možné realizovat žádnou výrobní, skladovací nebo jinou procesní technologii. Při navrhování potrubních větví je nutné brát zřetel, že daná technologie pravděpodobně bude obsahovat velké množství různého typu potrubí, proto je nutné je na první pohled oddělit různým (např. barevným) značením. Značením potrubí se zabývají státní předpisy a normy, které opět jen doporučují, jak by značení mohlo vypadat a co by mělo obsahovat.

Značení potrubí by mělo obsahovat:

- barevné odlišení podle typu média v potrubí
- různé tloušťky čar podle důležitosti potrubí (hlavní rozvod páry, hlavní kondenzátní potrubí, atd.)
- řádné označení začátku a konce potrubí doplněné o název, průtok, složení a jiné důležité informace
- označení směru toku malou šipkou na delších rovných úsecích
- specifické označení u složitých a rozsáhlých technologií<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Jednoznačný identifikátor zařízení se může skládat z písmene a 5 číslic (např. X-00000). Písmeno označuje typ zařízení jako: V = zásobník (vessel), E = výměník tepla (heat exchanger), HE = elektrické topení (electrical heater), P = čerpadlo (pump), T = nádrž (tank) atd. První dvojčíslí může být systémový kód, například 30 = procesní toky, 60 = vstupní toky atd. Poslední trojčíslí bude označovat specifický kód zařízení v rozmezí 001-999.

<sup>2</sup> Americká národní norma ANSI doporučuje označení potrubí tímto specifickým kódem:

00“-XX-00000-X0X-X0“

První dvojčíslí označuje velikost potrubí (např. 24“). Následují dvě písmena označující typ procesu VA = ventil (vent), CU = kondenzát (condensate), PG = proces plyných uhlovodíků (process hydrocarbons gas) atd. Dalších pět číslic označuje stejně jako u zařízení systémový kód (30 = procesní toky, 60 = vstupní toky atd.) a specifický kód potrubí v rozmezí 001-999. Předposlední segment (X0X) označuje specifický typ potrubí (např. A1, B1B, D1A, atd.). Poslední část specifického kódu obsahuje informace o izolaci. Začíná písmenem označujícím typ izolace (např. P = ochrana zaměstnanců, H = tepelná ochrana, T = obaleno), následované číslicí nesoucí data o tloušťce izolace (např. 1“).

## Značení armatur

Mezi základní typy armatur patří veškeré uzavírací, regulační a bezpečnostní ventily. Za armaturu je ovšem možné považovat i zařízení jako odvaděče kondenzátu, různé filtry, vodoznaky a jiné specializované zařízení.

Pro jejich značení (obr. 3.5) platí obdobná pravidla jako pro značení aparátů nebo potrubí. Ve většině technologií bývá velké množství armatur a pro přehlednost schématu je doporučeno jejich specifické označení co nejjednodušší a nejkratší. Následně se na výkres umístí tabulka s vysvětlivkami jednotlivých zkratk. V ní je možné zobrazit přesnější parametry daného zařízení. Toto je samozřejmě možné provést také u potrubí, zařízení nebo polní instrumentace.

 U kompensátor  Lyra kompensátor  Vlnovcový kompensátor  Pryžový kompensátor  Ucpávkový kompensátor	 Ruční ovládání  Ovládání pohonem - obecně  Ovládání elektromotorem  Ovládání elektromagnetem
 Přířbový spoj  Svarový spoj  Spoj šroubením  Hrdlový spoj	 Klapka obecně  Uzavírací klapka  Škrťící klapka  Zpětná klapka
 Ventil obecně - šikmý  Ventil obecně - přímý  Ventil obecně - rohový  Zpětný ventil (ve směru černé šipky průtočný)	 Odvaděč kondenzátu obecně  Mechanický odvaděč kondenzátu  Termodynamický odvaděč kondenzátu  Termostatický (termický) odvaděč kondenzátu

Obr. 3.5 – Značení armatur dle DIN [5]

### 3.3.3 Značení polní instrumentace (měřidla)

Naprosto nezbytnou součástí každé technologie je tzv. polní instrumentace neboli měřící zařízení. Základní pravidla navrhování jsou totožná s výše zmíněnými součástmi technologických schémat.

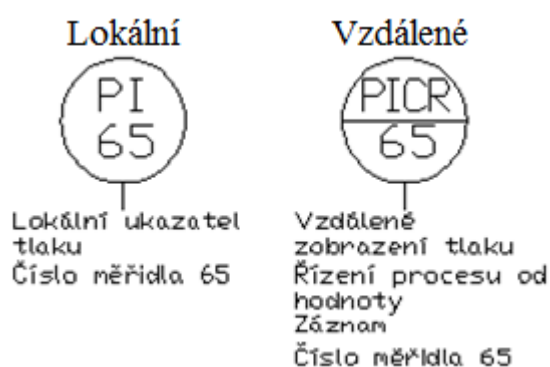
Značka měřícího zařízení (obr. 3.6, obr. 3.7) bývá kruhovitěho tvaru horizontálně rozdělena na dvě poloviny a doplněna o další náležitosti popsané níže v této kapitole.

V horní části značky je znázorněna informace o typu přístroje a o jeho vlastnostech. Ve spodní části je umístěno jednoznačné identifikační číslo. Důležitým identifikátorem ve značení je horizontální čára uprostřed značky (obr. 3.6). Takto označené měřidlo je jednoznačně identifikováno a na první pohled je patrná jeho funkce.

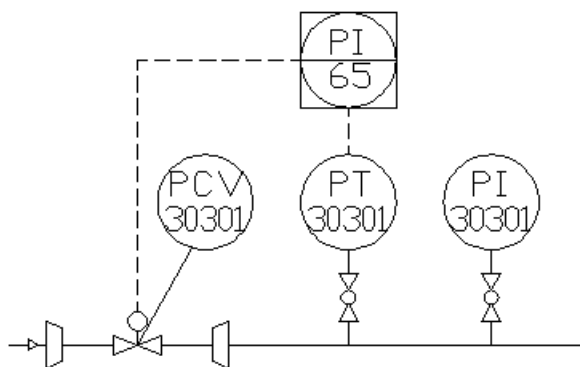
Horní část značky obsahuje dvou až čtyřmístný kód, který označuje jakou veličinu měřidlo zpracovává. První písmeno uvádí měřenou veličinu (např. P = tlak, T = teplota, L = hladina, F = průtok, atd.). Následující písmeno označuje pasivní (např. I = ukazatel) nebo

výstupní (např. S = vypínač) funkci. Význam jednotlivých značek dle ČSN 18 006 (ISO 3511-1) je zobrazen v tab. 3.1.

Nyní se problematika zkomplikuje, protože druhé písmeno není vždy poslední (může být modifikátorem prvního). Vysvětlení lze ukázat na jednoduchém ukazateli teploty TI. Měřidlo může měřit například teplotní rozdíl místo aktuální teploty. Toto se označí symbolem D (difference) a výsledná značka měřidla pak vypadá TDI. Modifikátory jsou vždy umístěny před pasivním znakem. Je možné mít pasivní a výstupní funkci v jednom zařízení. Toto je možné ukázat na příkladu PDCI, což značí diferenční tlakoměr se zobrazením hodnoty (lokálně nebo vzdáleně, viz dále) s využitím signálu pro řízení procesu. Do označení je také možné zahrnout rozsah, ve kterém zařízení pracuje (LSH = vypínač hladiny vysokoúrovňový, nebo LSHH vypínač pracující na vyšší úrovni než LSH).



Obr. 3.6 – Základní značka měřícího zařízení [5]



Obr. 3.7 – Nástrojová smyčka [6]

<b>Značka</b>	<b>Význam</b>
D	hustota (2. místo = rozdíl)
E	el. veličiny
F	průtok (2. místo = poměr)
G	rozměr, poloha
H	ruční ovládání
J	(2. místo = snímání)
K	čas nebo časový program
L	hladina
M	vlhkost
N	(volitelné)
O	(volitelné)
P	tlak
PD	tlaková diference
Q	kvalita: analýza, konec., vod.
R	radioaktivní zařízení
S	rychlost
T	teplota
TD	teplotní diference
U	(několik veličin)
V	viskozita
W	váha
X	(ostatní veličiny)
Y	(volitelné)
<b>Značení funkce</b>	-
I	ukazování
R	zápis
C	regulace
T	vysílání
Q	integrace, sumace
S	spínání
Z	nouze. nebo zabezpeč. funkce
A	signalizace
H	maximum
L	minimum

Tab. 3.1 - Význam jednotlivých značek dle ČSN 18 006 [5]

### **3.3.4 Nástrojové smyčky**

V praxi pracují jen velmi zřídka osamocené měřicí zařízení. V převážné většině případů se setkáváme s tzv. nástrojovými smyčkami (tj. měřicí a jiné zařízení pracují ve shodě). Jednoduchá nástrojová smyčka je ukázána na obrázku 3.7. Nástrojové smyčky jsou velice důležité pro ovládání a monitorování zařízení. Při prvním pohledu na značku měřicího přístroje musí být patrné, do které části smyčky patří.

## 4. Technologie procesu profesní údržby prádla

Prvním cílem práce bylo seznámení se s technologií procesu profesní údržby prádla [7], [8], [9]. Práce řeší typické uspořádání moderní technologie údržby prádla se zpracovatelskou kapacitou 1 tuna prádla za hodinu. S realizací tohoto modelu profesní prádelny se uvažuje v rámci projektu NETME [2].

NETME Centrum je výzkumné a vývojové centrum Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Projekt výstavby prádelny budoucnosti je zařazen z důvodů vysoké energetické náročnosti procesu údržby prádla. Smyslem projektu výstavby prádelny je analyzovat energetickou náročnost procesu a následně hledat opatření pro snížení spotřeby energií. Proto je nutné do procesu zahrnout různé typy aparátů (např. bubnová sušička s parním a plynovým ohřevem, viz kap. 4.1.2), aby bylo možné posoudit vhodnost a energetickou náročnost jednotlivých řešení.

Plánované výzkumné práce se zaměřují na specifickou oblast sběru dat pro vyhodnocení energetické náročnosti celého procesu a její využití pro následné simulační výpočty. V praxi se lze setkat pouze s minimální instrumentací zajišťující chod jednotlivých zařízení a procesu jako celku. V reálných provozech se tedy neobjevuje žádné měření za účelem analýzy toku energií do jednotlivých zařízení. Proto jsou v takových to provozech velké možnosti pro snížení spotřeby energií. [10], [11]

### 4.1 Popis technologie a zařízení

Celá technologie profesní údržby prádla se skládá ze tří základních operací:

- praní prádla
- sušení prádla
- žehlení prádla.

#### 4.1.1 Praní prádla

Sekce praní prádla se skládá z kontinuální prací linky (P01 v příloze 1), extrakčního zařízení lisu (L01 v příloze 1) a vsádkových praček o kapacitách 7, 20 a 40 kg prádla (P02, P03, P04 v příloze 1). Transport prádla do prací linky zajišťuje pásový dopravník (D01 v příloze 1)

Kontinuální prací linka (obr. 4.1) je jednobubnové průběžné prací zařízení. Pro realizaci projektu výstavby experimentální prádelny bylo zvoleno 10-ti komorové zařízení (10 na sobě nezávislých bubnů řazených za sebou). Doba setrvání prádla v jednom bubnu je přibližně 3 minuty (tj. doba setrvání prádla v prací lince je cca 30 min). Každá dávka prádla nesmí obsahovat žádné cizí předměty, aby nedošlo k poškození zařízení a praného prádla. Součástí prací linky je také extrakční zařízení neboli lis (viz níže). [12]

Existují dvě uspořádání kontinuální prací linky:

- se spodním transferem prádla
- s horním transferem prádla.

Doprava prádla uvnitř pračky se u spodního provedení provádí pomocí přepravní lopatky, která přepravuje prádlo s lázní u dna. U horního provedení pomocí přepravní lžice, která zvedá prádlo společně s lázní a přepravuje je do další komory.



Obr. 4.1 – Kontinuální prací linka [8]

Válcový buben je většinou rozdělen do tří zón (zóna předepírání, prací zóna a máchací zóna, [10]). Každá zóna se může skládat z několika komor. Podle provedení mohou být dělicí stěny mezi jednotlivými pracími zónami děrované (perforované), aby se dosáhlo optimálního průtoku lázně v rámci prací oblasti. Alternativně mohou být dělicí stěny zhotoveny v neděrovaném provedení tak, aby bylo možné prát ve stojaté lázni. Na začátku a na konci prací zóny nejsou dělicí stěny děrované.

Bezprostředně na kontinuální prací linku navazuje odvodňovací (extrakční) lis. Slouží k dávkovému odvodnění textílií, podlahových rohoží a srovnatelných materiálů. Odvodňovací lis je určen výhradně pro provoz v plně automatické prací lince (v návaznosti na kontinuální prací linku). Každý lisovací cyklus se skládá z operací vkládání, odvodnění a vyjmutí. Výstupem z lisu je tzv. „koláč“ prádla, což je velmi kompaktní těleso složené ze slisovaného prádla.

Vsádkové pračky slouží pro praní malého objemu, většinou více zašpiněného prádla nebo pro výzkumné účely.

#### 4.1.2 Sušení prádla

Po odvodnění prádla v extrakčním lisu následuje proces sušení. Sekce sušení prádla pro modelovou technologii obsahuje dvě bubnové sušičky (obr. 4.2) pro prací linku a malé sušičky pro vsádkové pračky o kapacitách 7, 20 a 40 kg prádla (S03, S04, S05 v příloze 1).

V řešené technologii se jedná o jednu bubnovou sušičku s parním ohřevem (S01 v příloze 1, 2) a jednu s plynovým ohřevem (S02 v příloze 1, 2). Smyslem zařazení dvou zcela odlišných bubnových sušiček je porovnat důsledky různých způsobů ohřevu na energetickou náročnost procesu sušení. Na efektivnosti sušicího procesu závisí energetická náročnost navazujících procesů (viz. kap. 4.1.3). [13]

Sušicí stroj (zařízení krabicovitého tvaru) slouží k načechrání (rozvolnění) prádla z extrakčního lisu, předsušení a celkovému sušení prádla. Sušič je určen pro plně automatickou sušicí dráhu a je spojen s dalšími stroji, které mu v pracím procesu předchází či po něm následují a jsou centrálně řízeny. Obvykle je tento sušič oddělen nebo je připojen na kontinuální prací linku, extrakční lis, transportní pás, zdvihový pás či zdvihový dopravní pás (D02 v příloze 1). U tohoto sušicího stroje je možno přejít i na ruční ovládání. Každý sušicí cyklus je tvořen několika pracovními fázemi: plněním (naložením), sušením, chladnutím a vyprázdněním (vyložení).



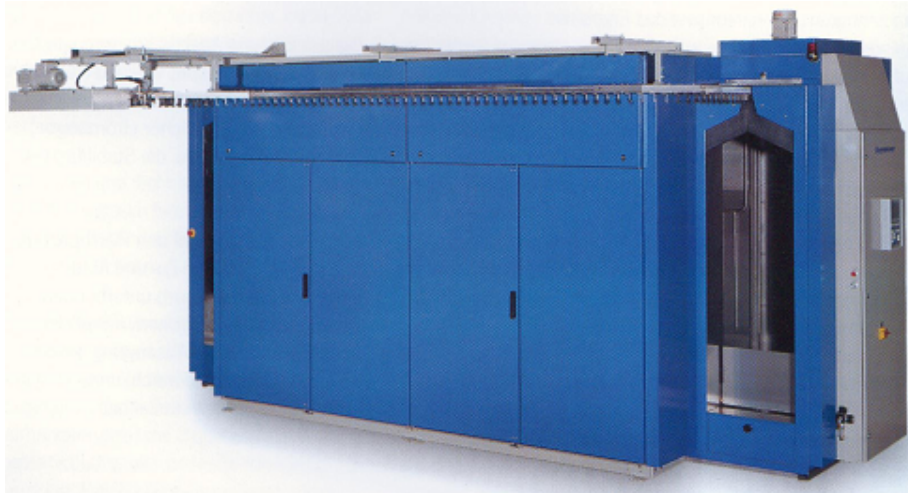
Obr. 4.2 – Bubnová sušička [8]

#### 4.1.3 Žehlení prádla

Sekce žehlení prádla se dělí na sekci žehlení tvarového prádla a žehlení rovného prádla.

Stěžejním zařízením pro zpracování tvarového prádla je tzv. tunel finišer (angl. tunnel finisher, obr. 4.3, T01 v příloze 1, 2). Jedná se o zařízení krabicovitého tvaru, které slouží pro žehlení tvarového prádla. Prádlo prochází v zařízení několika zónami. Nejprve je oděv připraven v parní komoře pro následující žehlení. Samotné žehlení probíhá účinkem horkého vzduchu, který vyrovná a načechrá vlákna látky.

Sekce žehlení rovného prádla obsahuje dva žehliče neboli kalandry (obr. 4.4, K01, K02 v příloze 1, 2). Opět se jedná o zařízení krabicovitého tvaru obsahující sérii válců pracujících v korytech otápených parou. Zařízením se odstraňuje zbytková vlhkost prádla a zároveň probíhá proces žehlení.



Obr 4.3 – Tunel finišer [8]



Obr. 4.4 – Kalandr [14]

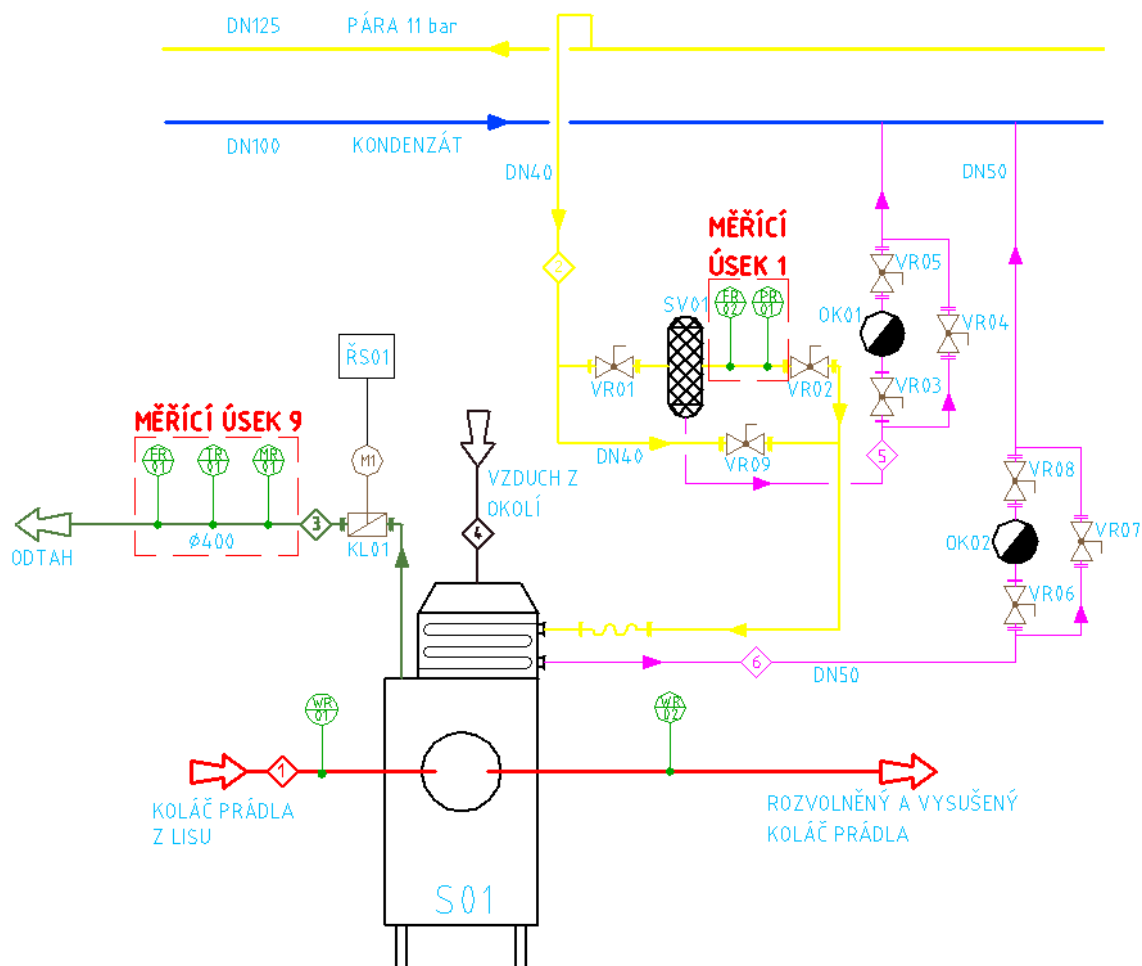
Celá technologie procesní údržby prádla je mimo výše zmíněné doplněna o sérii dopravníků a pomocných zařízení (viz příloha 1).

## 4.2 Technologická schémata procesu

Po seznámení s procesem bylo dalším cílem práce vypracovat technologické schéma. Jak již bylo naznačeno, smyslem této práce není návrh komplexu prádelny, ale jen její části zaměřené na sběr dat potřebných pro vyhodnocení energetické náročnosti.

Pro první ideu o procesu profesní údržby prádla bylo vytvořeno BFD schéma (příloha 3), které ukazuje hlavní zařízení prádelny a tok prádla mezi nimi.

Následně bylo vytvořeno P&ID schéma (příloha 2) zaměřené na sběr dat ze sušiček, kalandrů a tunel finišeru. Při pohledu na schéma je patrná náročnost získání experimentálních dat potřebných pro vyhodnocení energetické náročnosti procesu. Aby bylo možné lépe pochopit nutnost využití jednotlivých zařízení, armatur a polní instrumentace, bude detailněji rozebrána část schématu s bubnovou sušičkou s parním ohřevem (obr. 4.5). Další části schématu jsou obdobou, proto je není nutné dále rozebírat.



Obr. 4.5 – Technologické schéma bubnové sušičky s parním ohřevem

#### 4.2.1 Technologické schéma bubnové sušičky s parním ohřevem

Jak je patrné z obr. 4.5 do (z) bubnové sušičky vstupuje (vystupuje) několik procesních proudů. Aby bylo možné pochopit jejich účel a důležitost zařízení na nich umístěných budou, důležité prvky postupně rozebírány a detailněji popsány.

##### Tok prádla do (z) S01

Na toku prádla (proud č. 1 – červená barva) je do (ze) sušičky umístěna váha. Měření hmotnosti se provádí z důvodu zjištění množství odpařené vody během procesu sušení, z nichž je následně možné zjistit odpařovací kapacitu sušičky a její výkon. Měřením hmotnosti, je také možné zjistit vstupní a výstupní vlhkost prádla.

### Přívod páry do S01

Přívod páry (proud č. 2 – žlutá barva) do sušičky je možný dvěma trasami. Běžně je pára do sušičky distribuována přívodním potrubím (měřicí úsek je uzavřen ručními ventily VR01 a VR02). V případě potřeby měření přívodu pár (měřicí úsek 1) je nutné uzavřít běžné přívodní potrubí (ruční ventil VR09) a otevřít ventily na měřicím úseku (bypass potrubí).

Měřicí úsek je vybaven polní instrumentací měřicí tlak a průtok páry do sušičky. Aby nedocházelo ke styku měřidel s vlhkostí vznikající v potrubí (viz kap. 6), je nutné na začátek měřicího úseku zařadit tzv. separátor vlhkosti (SV01). Úkolem separátoru vlhkosti je odstranění kapiček kondenzátu, které jsou rovnoměrně rozptýleny po celém příčném průřezu potrubí. Tvorba kondenzátu v potrubí je výsledkem tepelných ztrát (vysoký rozdíl teploty mezi párou a okolím) [15].

### Odtah vzduchu z S01

Odsávání vzduchu (proud č. 3 – zelená barva) z prostoru bubny sušičky slouží k odvodu vlhkého vzduchu vzniklého smíšením sušicího vzduchu a vlhkostí odpařené při sušení prádla. Na potrubí je nejprve zařazena klapka s elektromotorem, která je napojená na řídicí systém celého procesu. Elektromotorická klapka slouží k uzavření odtahového potrubí v případě nečinnosti zařízení tak, aby nedocházelo ke zbytečnému ochlazování pracovního prostoru sušičky a proudění vzduchu v bubnu sušičky. Následně jsou řazeny měřidla průtoku, vlhkosti a teploty. Všechna měřidla, jejich princip a důvody použití jsou detailněji rozebrány v kapitole 6.

### Odvod kondenzátu z parního potrubí

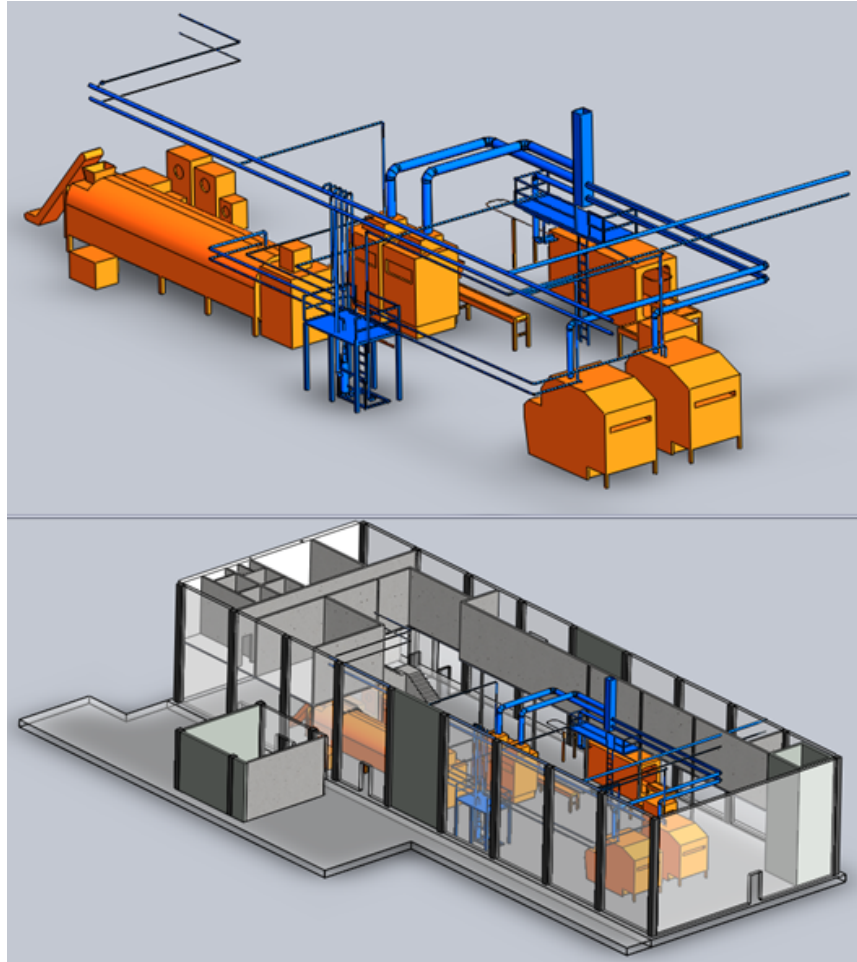
Jak již bylo řečeno, aby nedocházelo k opotřebení měřicích zařízení na přívodu páry do sušičky, je nutné do potrubní trasy zařadit separátor vlhkosti. Separátor vlhkost rozdělí vstupní proud na sytou páru a kondenzát, který po průchodu odvaděčem kondenzátu vytvoří paroplynou směs (směs kondenzátu a páry). Tato směs je odváděna (proud č. 5 – růžová barva) do sběrného kondenzátního potrubí. Jelikož má kondenzátní potrubí nižší tlak (přibližně 6 bar) než je tlak na výstupu ze separátoru vlhkosti (přibližně 11 bar) je nutné zařazení odvaděče kondenzátu (OK01). Při průchodu média přes ventil nastane tzv. flash děj (viz kap. 5), při kterém se z důvodu snížení tlaku odpaří část kondenzátu zpět na páru. Dále jsou na potrubí zařazeny tři ventily (VR03, VR04, VR05), které mají umožnit uzavření přívodu proudícího média k odvaděči kondenzátu a otevřít jeho bypass. Bypassovou větev je doporučeno použít z důvodu možnosti poškození nebo zanesení odvaděče kondenzátu, což by znamenalo odstávku celého zařízení.

### Odvod kondenzátu z S01

Tento proud (proud č. 6 – růžová barva) reprezentuje kondenzát vzniklý ochlazením páry ve výměníku tepla. Obsahuje stejná zařízení a armatury jako proud č. 5.

## 5. Model profesní prádelny v softwaru SolidWorks

Dalším z cílů práce bylo v souladu s dispozicí objektu NETME Centra navrhnout základní technologické a dispoziční řešení části profesní prádelny.



Obr. 5.1 – Model prádelny budoucnosti

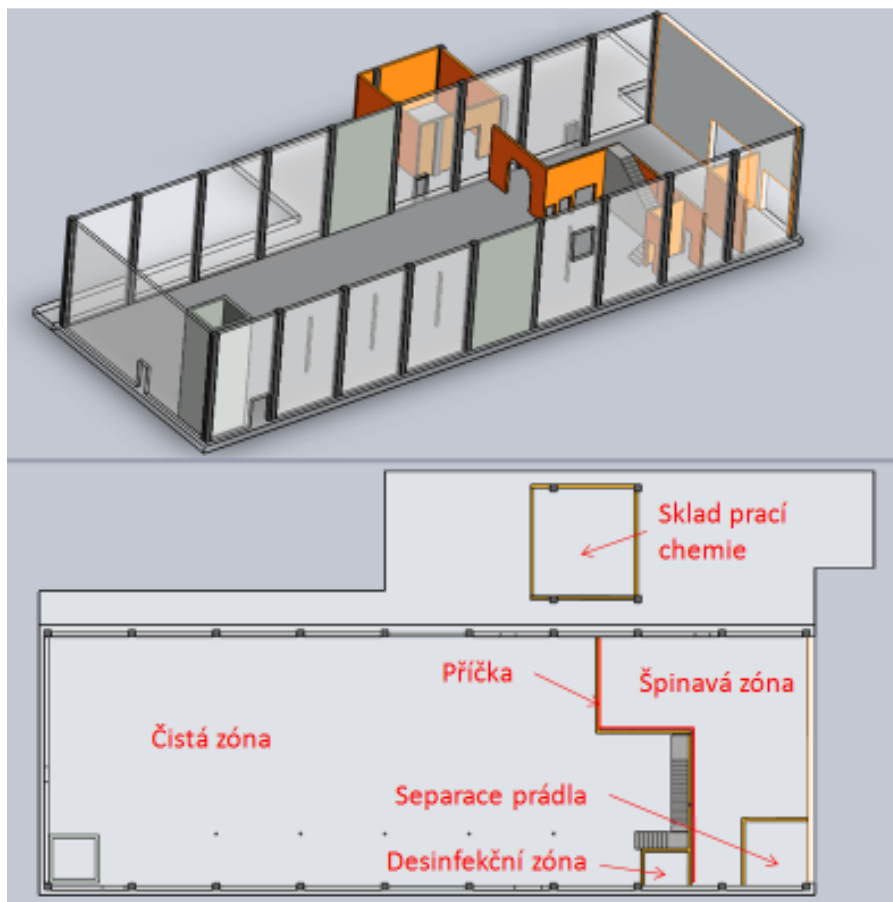
Jak je patrné z obr. 5.1 vypracování modelu části technologie profesní prádelny zaměřené na sběr dat o energetické náročnosti procesu není jednoduchá záležitost. Proto budou jednotlivé kroky vytváření modelu profesní prádelny rozebírány postupně a detailněji popisovány.

Výše popsany problém byl řešen v grafickém softwaru SolidWorks a výsledkem je 3D model profesní prádelny (obr. 5.1, příloha 3). Z něj je patrné rozmístění všech aparátů vůči dispozici budovy, základní rozměry budovy a aparátů. Následně bylo doplněno hlavní rozvodné a sběrné potrubí procesních médií. Mezi něž patří:

- rozvod páry
- odvod kondenzátu
- odtah vzdušiny.

## 5.1 Dispozice budovy profesní prádelny

Prvním krokem potřebným pro zhotovení modelu profesní prádelny bylo vymodelovat dispozici prostoru určeného pro proces v rámci celé budovy dle příslušných stavebních plánů. Prádelna se bude nacházet v komplexu NETME centra. Budova nebude vymodelována celá, ale jen její část obsahující prostory potřebné pro účely profesní údržby prádla (obr. 5.2 a 5.3).



Obr. 5.2 – Pohled na přízemí budovy profesní prádelny

Dispozice objektu prádelny má základní rozměry 45 x 15 metrů s výškou stropu 8 metrů a je rozdělena na dvě patra (v části nad špinavou zónou), přičemž prostor údržby prádla (přízemí budovy) je z legislativních a hygienických důvodů nutné oddělit příčkou (viz obr. 5.2) tak, aby nedocházelo ke styku špinavého a čistého prádla. Tyto dva oddělené prostory se nazývají čistá a špinavá zóna (viz kap. 5.1.1).

### 5.1.1 Přízemí budovy profesní prádelny

Přízemí budovy (obr. 5.2) je rozděleno na 4 základní části:

- špinavá zóna
- čistá zóna
- sklad prací chemie
- desinfekční zóna.

### Špinavá zóna

Špinavá zóna je prostor, ve kterém dochází k příjmu a separaci prádla dle požadavků technologie a zákazníka. Často je zde možné dojít ke styku s kontaminovaným prádlem (například z nemocnic), proto je nutné dbát na zvýšenou bezpečnost a hygienu provozu.

### Čistá zóna

Jedná se o nejrozsáhlejší část prádelny. Zde je umístěno zařízení potřebné pro samotnou profesní údržbu prádla. Do kontaktu je možné přijít jen s čistým (vypraným) prádlem.

### Sklad prací chemie

Jedná se o místnost obsahující veškeré přípravky a chemikálie potřebné pro provoz prádelny.

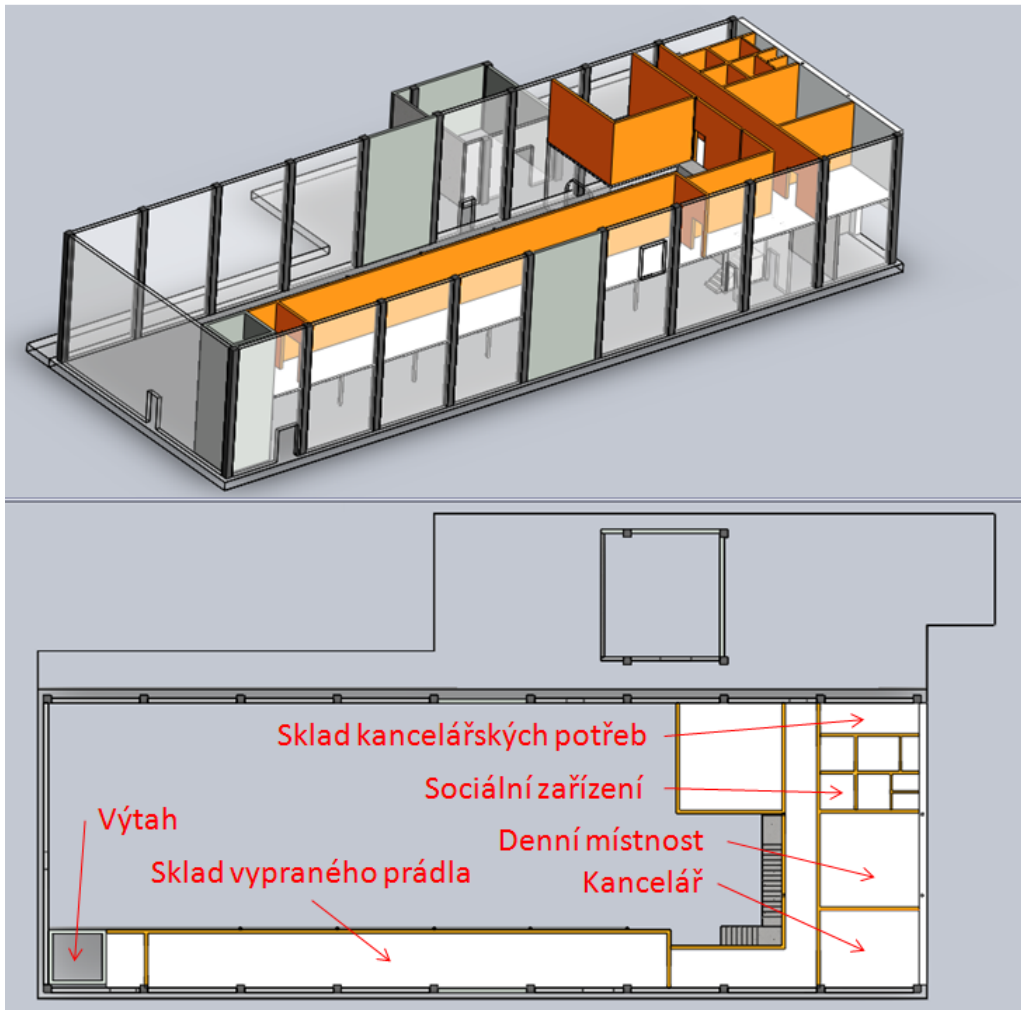
### Desinfekční zóna

Jelikož není možné, aby docházelo ke kontaktu osob z čisté zóny se špinavým prádlem, a naopak osob ze špinavé zóny s čistým prádlem je do dispozice budovy umístěna desinfekční místnost, ve které bude provedena potřebná hygiena pro přechod mezi jednotlivými částmi provozu.

## **5.1.2 První patro budovy profesní prádelny**

První patro (obr. 5.3) není pro provoz samotného procesu nijak nezbytné, ale v rámci dodržení norem, předpisů a z důvodů pohodlí pro zaměstnance bylo do dispozice budovy zahrnuto.

Nejdůležitější částí je sklad vypraného prádla. Zde se odkládá v dopravních vozících prádlo určené k expedici. Pro přepravu vozíků mezi přízemím a prvním patrem je určen výtah. V další části 1. np. je umístěna kancelář, denní místnost, sklad kancelářských potřeb a sociální zařízení. Pro přechod z přízemí do prvního patra je určeno schodiště.



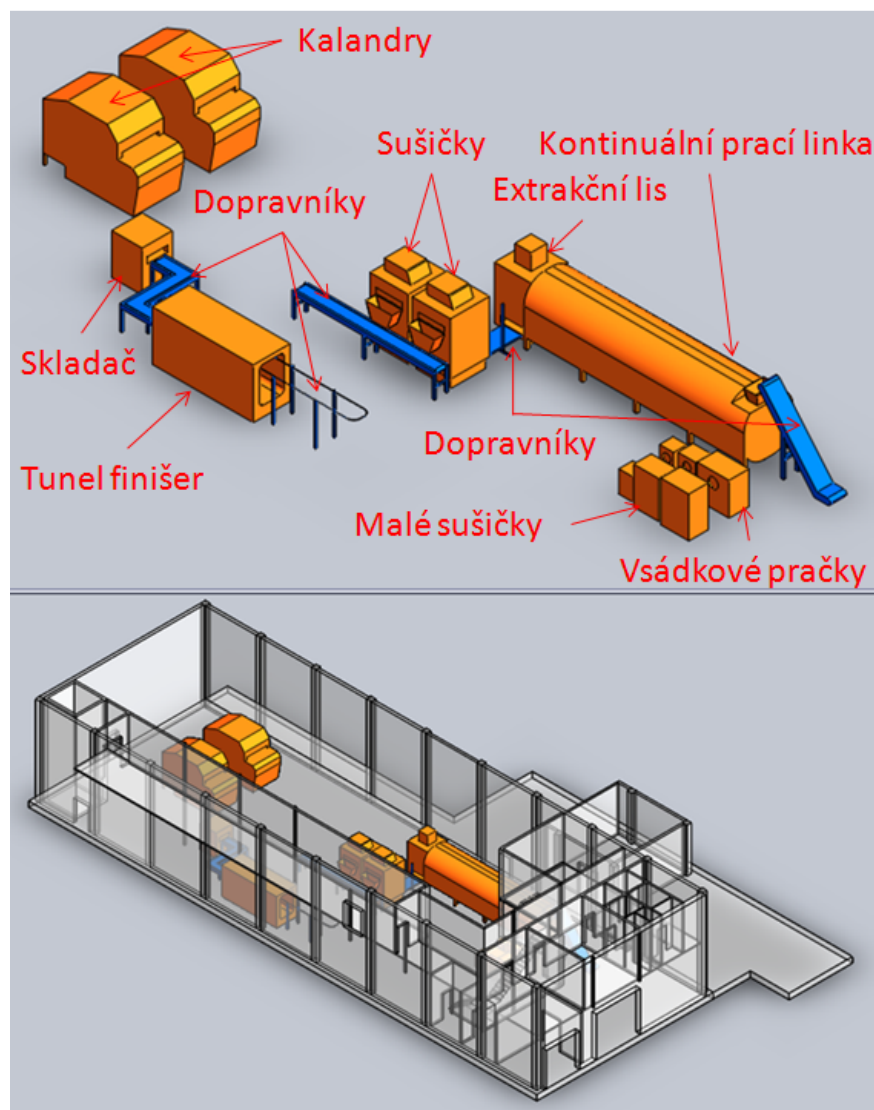
Obr. 5.3 – Pohled na 1. np.

## 5.2 Rozmístění aparátů v rámci dispozice budovy

Po vymodelování dispozice budovy bylo dalším úkolem do ní vhodně umístit zařízení (obr. 5.4). Tato práce slouží jako podklad pro další stupeň realizace projektu. Jedná se tedy o ideový návrh, který bude základem pro následné fáze projekční přípravy (prováděcí projekt). Řešení rozmístění strojů tudíž nemusí být konečné.

Předběžné umístění aparátu bylo voleno tak, aby bylo možné maximalizovat automatický chod procesu praní prádla a minimalizovat převoz (manipulaci s prádlem) mezi zařízeními. Také bylo nutné kolem některých zařízení ponechat dostatek volného místa pro pohyb obsluhy a dočasné skladování prádla vzhledem k nekontinuálnímu chodu některých zařízení.

Rozměry hlavních zařízení jsou převzaty z katalogových listů výrobců [20]. Velikosti dopravníků a dopravních pásů jsou jen orientační a budou dále řešeny s jejich dodavateli.



Obr. 5.4 – Rozmístění zařízení v rámci dispozice budovy

### 5.3 Potrubní trasy hlavních procesních médií

V předchozí části práce bylo řešeno rozmístění hlavních aparátů technologie. Nyní je nutné provést jejich připojení na procesní média potřebná k jejich provozu.

Z důvodů velké složitosti a množství zařízení, armatur a polní instrumentace se bude práce zabývat pouze hlavními rozvodnými a sběrnými potrubími. Mezi ně patří:

- přívody energií – pára, zemní plyn
- odvod vzdušiny.

Veškerá potrubí, zařízení, armatury a polní instrumentace, která jsou nutná pro provoz zařízení, již byly zmíněny v kapitole 4 a jsou součástí P&ID diagramu (příloha 2).

### 5.3.1 Parní potrubí

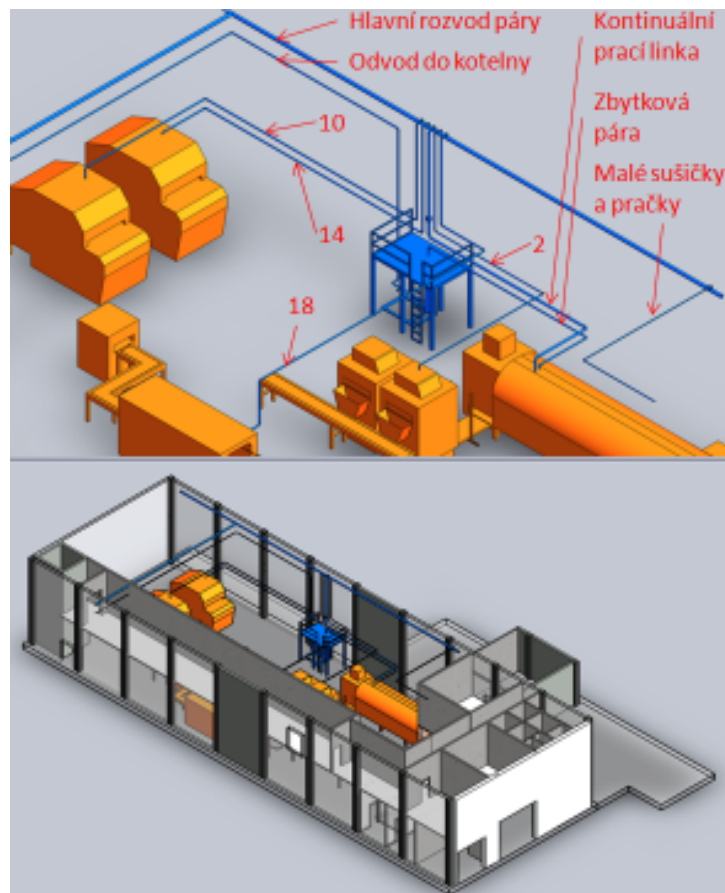
Pára je jedním z nejdůležitějších médií pro technologii procesní údržby prádla. V zařízeních se využívá pro:

- ohřev sušícího vzduchu (bubnová sušička)
- ohřevu vody (kontinuální prací linka)
- vyhřívání žehlicích ploch (kalandry)
- proces žehlení (tunel finišer).

Při návrhu parního potrubí bude uvažováno o dodávce páry o tlaku 11 bar. Její rozvod je zprostředkováván ocelovým bezešvým potrubím mezi kotelnou a

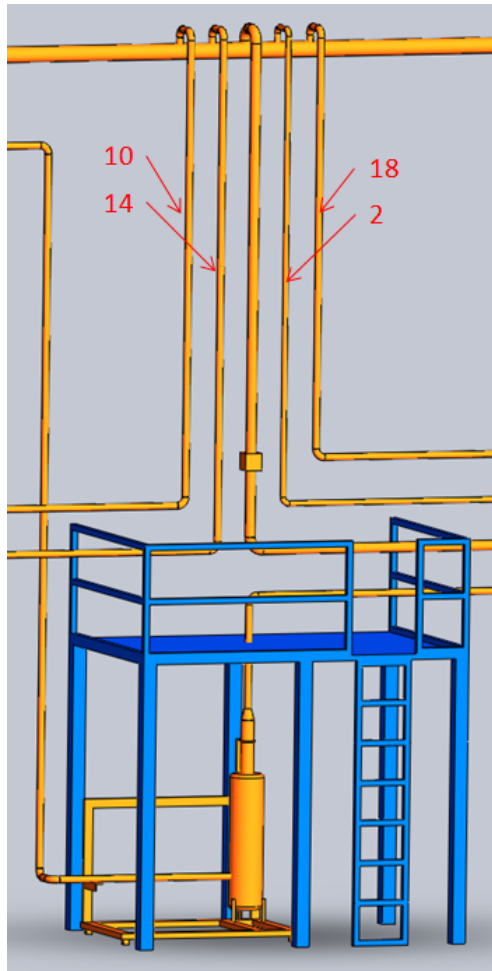
- kontinuální prací linkou
- bubnovou sušičkou s parním ohřevem
- vsádkovými pračkami a malými sušičkami
- kalandry
- tunel finišerem.

Jednotlivé větve jsou zobrazeny na obr 5.5.



Obr. 5.5 – Rozvod páry  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

Při návrhu umístění potrubí bylo nutné zahrnout požadavek na měření průtoků páry v přívodech (obr. 5.6) do jednotlivých zařízení (viz kap. 6). Bylo tedy nutné vést potrubí tak, aby byla měřící místa lehce přístupná a bylo možné na nich bezpečně provádět úpravy potřebné pro měření. Z tohoto důvodu byla také navržena měřící plošina (ocelová konstrukce), ze které bude prostor měřících tras lehce přístupný (obr. 5.6). Konečné umístění parního potrubí je patrné z obr. 5.5.



Obr. 5.6 – Prostor pro měření páry  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

### 5.3.2 Výpočet průměru parního potrubí

Pro výpočet průměru parního potrubí byl vytvořen výpočtový program v softwaru MS Excel (příloha 4). Nyní bude ukázán postup výpočtu průměru parního potrubí. Jednotlivé kroky budou detailně popsány a teoreticky objasněny.

#### První krok výpočtu – vstupní data

Pro řešení je zapotřebí znát hmotnostní průtok [kg/h], rychlost proudění [m/s] a tlak páry [bar]. První dva zmíněné parametry (průtok, tlak) jsou specifikovány výrobcem zařízení (tab. 5.1). Rychlost proudění páry v potrubí je volitelná v závislosti na proudícím médiu.

V literatuře je možné dohledat množství článků a experimentálních dat o doporučených rychlostech proudění páry v potrubí. Pro tuto práci byla jako směrodatná zvolena literatura [15]. Z výše uvedené literatury vyplývá, že pro suchou sytou páru by neměla rychlost proudění překročit 40 m/s. V případě mokré páry by se rychlost proudění měla pohybovat od 15 do 20 m/s. Nižší rychlost je doporučena z důvodu vlhkosti obsažené v páře. Vlhkost je silně erozivní, má škodlivý vliv na armatury a při vysokých rychlostech hrozí vznik tzv. vodního rázu. Při výstavbě kotelny zajišťující dodávku páry v rámci projektu NETME Centra se počítá s užitím standardního nízkotlakého parního kotle bez přehříváku, který je schopen dodávat sytou páru o potřebné kvalitě. V důsledku tepelných ztrát a délky potrubí mezi kotelnou a spotřebiči bude docházet k částečné kondenzaci, tudíž zvolená rychlost by se měla pohybovat do 20 m/s.

### Druhý krok výpočtu – výpočet průměru potrubí

Průměr potrubí se vypočítá dle vzorce (1)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot v}} * 1000 \quad (1)$$

kde:            D        je        průměr potrubí        [mm]  
                   V        objemový průtok    [m<sup>3</sup>/s]  
                   v        rychlost proudění    [m/s].

Objemový průtok je možné spočítat dle vzorce (2)

$$V = \frac{m}{3600} * v_g \quad (2)$$

kde:            m        je        hmotnostní průtok    [kg/h]  
                   v<sub>g</sub>        specifický objem      [kg/m<sup>3</sup>].

### Třetí krok výpočtu – kontrolní výpočet rychlosti proudění pro zvolené DN potrubí

Dle vypočteného průměru potrubí (1) je nutné zvolit normalizovaný průměr potrubí DN (příloha 4). Zvolené DN potrubí je klíčovým parametrem pro kontrolní výpočet rychlosti proudění. V případě nevhodného zvolení DN potrubí by nemusela vypočtená rychlost splňovat vstupní požadavky výpočtu (rychlost max. 20 m/s, nebo malá rychlost pod 15 m/s). Kontrolní výpočet rychlosti se provede dle (3).

$$v_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \frac{DN}{1000}}} \quad (3)$$

kde:            v<sub>k</sub>        je        kontrolní rychlost proudění        [m/s]  
                   DN        zvolený průměr potrubí            [mm].

V tabulce 5.1 jsou přehledně zpracována vstupní data a výsledky výpočtu průměrů parního potrubí pro jednotlivé trasy. Příloha 4 také obsahuje důležité grafy a tabulky potřebné pro výpočet průměru potrubní trasy. [16]

Větev	Průtok páry [kg/h]	Teoretická rychlost proudění [m/s]	Tlak [bar]	Vypočtený průměr potrubí [mm]	Zvolené DN potrubí	Rychlost proudění pro zvolený průměr potrubí [m/s]
Hlavní rozvod páry	3490	15	11	120,9	125	14
Kalandr 1 (proud č. 10)	540	15	11	47,5	50	13,5
Kalandr 2 (proud č. 14)	540	15	11	47,5	50	13,5
Tunel finisher (proud č. 18)	760	15	11	56,4	50	19
Bubnová sušička s parním ohřevem (proud č. 2)	450	15	11	43,4	40	17,6
Bubnová sušička s plynovým ohřevem	-	-	-	-	-	-
Kontinuální prací linka	1000	15	8	75,3	80	13,3
Nízkotlaká pára z expandéru	130	15	2	52,1	50	16,3
Vsádkové pračky a malé sušičky	200	15	8	33,6	32	18,9

Tab. 5.1 – Výsledky výpočtu průměru parního potrubí (značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

### 5.3.3 Potrubí odvodu kondenzátu

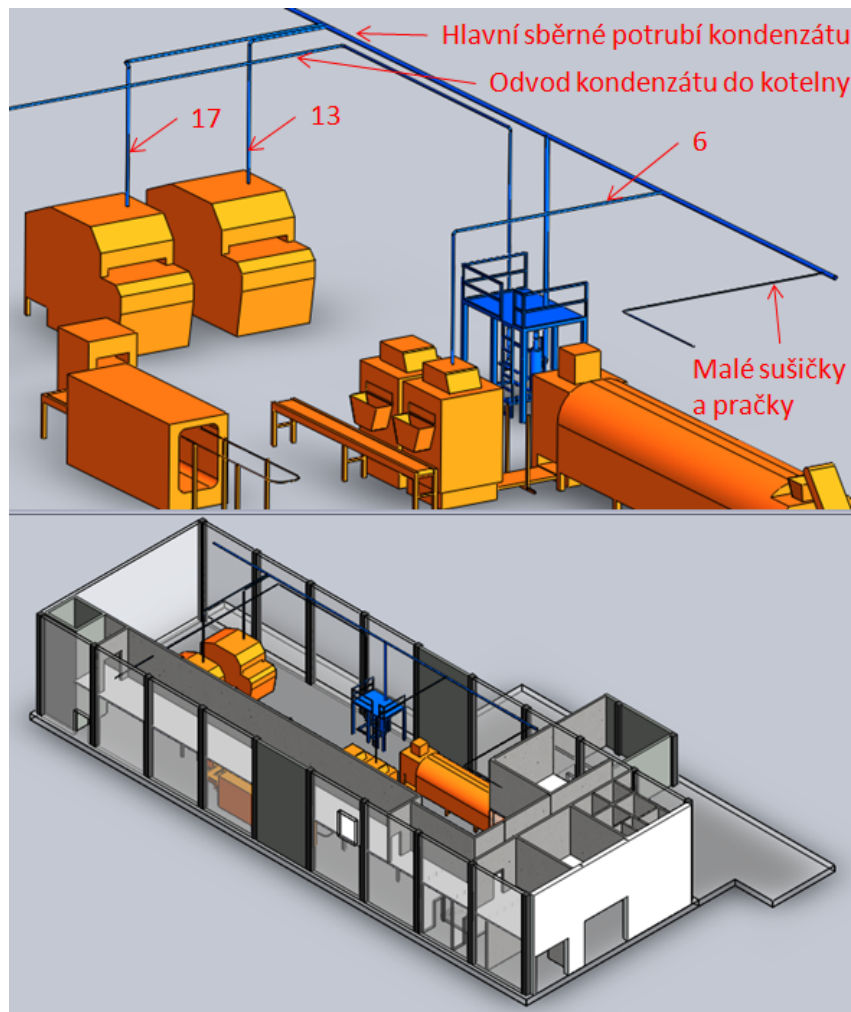
Potrubí odvodu kondenzátu (obr. 5.7) slouží k odvedení kondenzátu z bubnové sušičky s parním ohřevem, kalandrů a malých sušiček. Tunel finisher a druhá bubnová sušička mají ohřev sušícího média realizován zemním plynem. Kondenzát v zařízeních vznikne:

- ochlazením páry ve výměníku tepla (bubnová sušička s parním ohřevem, malé sušičky)
- ochlazením páry v otopných korytech (kalandry).

Odvod média ze zařízení je realizován bezešvým vodovodním potrubím. Obvyklý tlak v kondenzátním potrubí je 6 bar. Při návrhu umístění potrubní trasy odvodu kondenzátu bylo nutné uvažovat nad navazujícími procesy. Nejdůležitějšími aspekty umístění kondenzátního potrubí byly:

- nutnost separace a následného odvodu kondenzátu před měřením přívodu páry do zařízení
- vyústění potrubí v expandérové jednotce (viz dále).

Proto bylo kondenzátní potrubí umístěno bezprostředně vedle potrubí rozvodu páry, kde je také možné provést umístění expandérové jednotky pod ocelovou konstrukci sloužící pro přístup k měření přívodu páry (obr. 5.6, obr. 5.7).



Obr. 5.7 – Potrubí odvodu kondenzátu  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

### 5.3.4 Výpočet průměru kondenzátního potrubí

Postup výpočtu průměru kondenzátního potrubí je prakticky totožný jako v případě výpočtu průměru parního potrubí. Je odlišný v nutnosti uvažování, že proudící médium je paroplynová směs (kondenzát a pára). Procentuální podíl páry a kondenzátu ve směsi je závislý především na tlakových poměrech v potrubí. Jak již bylo řečeno, tlak v hlavním kondenzátním potrubí je 6 bar, ale tlak kondenzátu po výstupu ze zařízení je 11 bar (tlak média, původně páry, se po jejím zkondenzování nezmění). Je tedy nutné do potrubí odvodu kondenzátu umístit správně dimenzovaný odvaděč kondenzátu, který zajistí odvod vzniklého kondenzátu a současně sníží tlak proudícího média na tlak v kondenzátním potrubí. Při výpočtu průměru kondenzátního potrubí je nutné počítat se změnou skupenství části směsi, která nastane jako důsledek izoentalpického děje při prudkém snížení tlaku v odvaděči kondenzátu.

Pro výpočet průměru kondenzátního potrubí byl vytvořen výpočtový program v softwaru MS Excel (příloha 5). Nyní bude ukázán postup výpočtu průměru kondenzátního potrubí. Jednotlivé kroky budou detailně popsány a teoreticky objasněny.

### První krok výpočtu – vstupní data

Pro vyřešení průměru potrubí je nutné znát tlak před a za odvaděčem kondenzátu [bar], hmotnostní průtok [kg/h] a rychlost proudění [m/s]. Vstupní, výstupní tlak a průtok jsou dány specifikací zařízení (tab. 5.2). Rychlost proudění je stejně jako při návrhu parního potrubí volitelná v závislosti na médiu. Jelikož je předpokládáno, že paroplynová směs proudící potrubím bude převážně složena z kondenzátu (přibližně 90%), je nutné uvažovat s jevy doprovázejícími proudění kapaliny a zvolit tak rychlost nízkou okolo 1 [m/s].

### Druhý krok výpočtu – stanovení poměru hmotností

Při prudkém snížení tlaku se kondenzát chová podle izoentalpického děje. Celý výpočet je tedy veden jako tzv. FLASH (flešová pára, angl. flash steam) [15].

Průtok kondenzátu po odpaření je možné vypočítat dle vzorce (4):

$$m_k = \frac{m}{100} * (100 - FS) \quad (4)$$

kde:  $m_k$  je průtok kondenzátu po odpaření [kg/h]  
 $m$  hmotnostní průtok [kg/h]  
 $FS$  procento odpaření [%].

Průtok páry po odpaření je možné vypočítat dle vzorce (5)

$$m_p = \frac{m}{100} * FS \quad (5)$$

kde:  $m_p$  je průtok páry po odpaření [kg/h].

Při pohledu na vzorce (4) a (5) je patrné že jedinou neznámou je procento odpaření  $FS$ , kterou je možné vypočítat dle (6)

$$FS = \frac{H_k - H_{k1}}{H_o} * 100 \quad (6)$$

kde:  $H_k$  je entalpie kondenzátu před odpařením [kJ/kg]  
 $H_{k1}$  entalpie kondenzátu po odpaření [kJ/kg]  
 $H_o$  energie odpařování [kJ/kg].

Po provedení výpočtu je patrné, že při průchodu přes odvaděč kondenzátu se při daném tlakovém spádu přibližně 5% kondenzátu přemění na páru.

### Třetí krok výpočtu – stanovení rozměrů potrubí dle objemového zastoupení složek ve směsi

Pro výpočet průměru potrubí je nezbytné znát objemový průtok směsi. Ten je možné vypočítat sečtením objemového zastoupení kondenzátu a páry ve směsi.

Objemové zastoupení kondenzátu je možné vypočítat dle (7)

$$V_k = \frac{m_k}{\rho_{p2}} \quad (7)$$

kde:  $V_k$  je objem obsazený kondenzátem [m<sup>3</sup>]  
 $\rho_{p2}$  hustota při výstupním tlaku z odvaděče kondenzátu [kg/m<sup>3</sup>].

Objemové zastoupení páry je možné zjistit výpočtem dle (8)

$$V_p = m_p * v_g \quad (8)$$

kde:  $V_p$  je objem obsazený parou [m<sup>3</sup>]  
 $v_g$  specifický objem páry [m<sup>3</sup>/kg].

Po sečtení výsledků rovnic (7) a (8) a drobné úpravě je možné dojít k objemovému průtoku (9)

$$V = \sqrt{\frac{V_k + V_p}{3600}} \quad (9)$$

kde:  $V$  je objemový průtok směsi [m<sup>3</sup>/s].

Tímto výpočtem je prakticky ověřena teorie z literatury [15], která říká, že při výpočtu průměru potrubí flešové páry (kondenzátní potrubí) je možné zcela zanedbat průtok kondenzátu. Ten má oproti páře téměř zanedbatelný objem (okolo 5%).

#### Čtvrtý krok výpočtu – výpočet průměru potrubí

Průměr potrubí je možné vypočítat dle vzorce (10)

$$D = \sqrt{\frac{4 * V_p}{\pi * v}} * 1000 \quad (10)$$

kde:  $D$  je průměr potrubí [mm]  
 $V_p$  objemový průtok páry [m<sup>3</sup>/s]  
 $v$  rychlost proudění [m/s].

#### Pátý krok výpočtu – kontrolní výpočet rychlosti proudění pro zvolené DN potrubí

Dle vypočteného průměru potrubí (10) je nutné zvolit normalizovaný průměr potrubí DN (příloha 5). Zvolené DN potrubí je klíčovým parametrem pro kontrolní výpočet rychlosti proudění. V případě nevhodného zvolení DN potrubí by nemusela vypočtená rychlost splňovat vstupní požadavky výpočtu (rychlost okolo 1 m/s). Pokud by byla vypočtená rychlost příliš vysoká, docházelo by k enormní hlučnosti proudícího média v potrubí a mohlo by dojít až k jeho poškození. Naopak zvolená příliš nízká rychlost vede ke zbytečnému předimenzování potrubí. Kontrolní výpočet rychlosti se provede dle (11):

$$v_k = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot \frac{DN}{1000}}} \quad (11)$$

kde:  $v_k$  je kontrolní rychlost [m/s]  
DN zvolený průměr potrubí [mm].

V tabulce 5.2 jsou přehledně zpracována vstupní data a výsledky výpočtu průměrů kondenzátního potrubí pro jednotlivé trasy. Příloha 5 také obsahuje důležité grafy a tabulky potřebné pro výpočet průměru potrubní trasy. [16]

Větev	Celkový průtok kondenzátní směsi [kg/h]	Průtok zbytkové páry [kg/h]	Teoretická rychlost proudění [m/s]	Tlak [bar]	Vypočtený průměr potrubí [mm]	Zvolené DN potrubí	Rychlost proudění pro zvolený průměr potrubí [m/s]
Hlavní sběrné potrubí kondenzátu	1730	91,8	1	6	104,4	100	1,1
Kalandr 1 (proud č. 13)	540	28,7	1	6	58,3	65	0,8
Kalandr 2 (proud č. 17)	540	28,7	1	6	58,3	65	0,8
Tunel finisher	-	-	-	-	-	-	-
Bubnová sušička s parním ohřevem (prpud č. 6)	450	23,9	1	6	53,2	50	1,1
Bubnová sušička s plynovým ohřevem	-	-	-	-	-	-	-
Kontinuální prací linka	-	-	-	-	-	-	-
Recykl páry do kontinuální prací linky	-	-	-	-	-	-	-
Výsádkové pračky a malé sušičky	200	4,8	1	6	24,8	25	1

Tab. 5.2 – Výsledky výpočtu průměru kondenzátního potrubí (značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

### 5.3.5 Výpočet průměrů potrubí expandérové jednotky

Expandérová jednotka slouží k energetickému využití nízkotlakého kondenzátu pro dohřev vody v kontinuální prací lince.

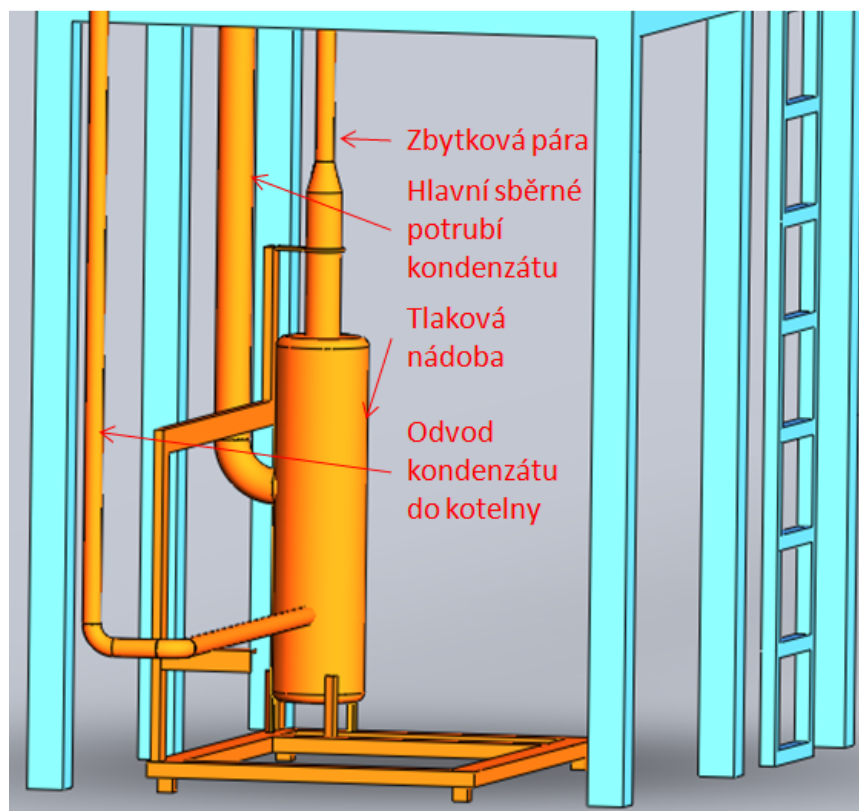
Jak již bylo naznačeno všechna potrubí odvodu kondenzát ze zařízení jsou svedeny do hlavního sběrného potrubí kondenzátu. To je následně přivedeno do expandérové jednotky (obr. 5.8), ve které se prudce sníží tlak (v našem případě z 6 na 2 bar). Tím dojde k odpaření části kondenzátu (obdobně jako v odvaděči kondenzátu). Následuje oddělení plynné fáze, která se využívá k ohřevu kontinuální prací linky (nízkotlaká pára). Zbýlý nízkotlaký kondenzát je veden do objektu kotelny.

Expandérová jednotka je připojena na 3 potrubí (viz obr. 5.8). Jejich účel je:

- přívod kondenzátu do expandérové jednotky
- odvod nízkotlakého kondenzátu do kotelny
- odvod nízkotlaké páry do kontinuální prací linky.

Průměry potrubí jsou dány zvoleným typem expandérové jednotky. Na ně jsou přes příruby (popřípadě difuzorem) připojena potrubí, která mají průměry dané výpočtem dle technologie.

Způsob výpočtu průměru odvodu nízkotlaké páry je totožný s výpočtem parního potrubí (viz kap. 5.3.2).

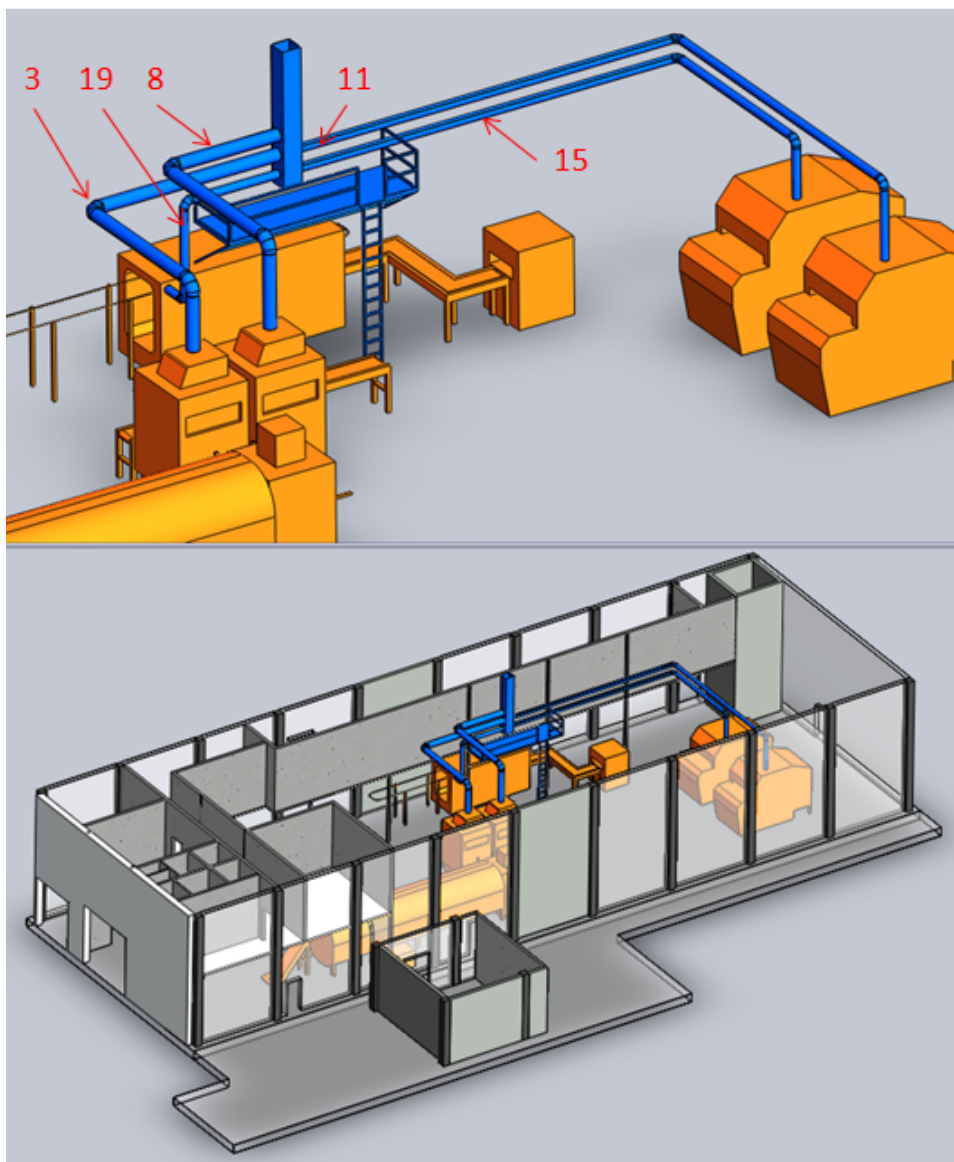


Obr. 5.8 – Expandérová jednotka

### 5.3.6 Potrubí odvodu vzdušiny

Potrubí odvodu vzdušiny (obr. 5.9) slouží k odvedení vlhkého vzduchu z pracovního prostoru bubnových sušiček, kalandrů a tunel finišeru. Vlhký vzduch v zařízení vzniká smíšením sušicího vzduchu a vodní páry, která vzniká procesem sušení prádla. Potrubí je svedeno do hlavního vertikálního potrubí, které prochází všemi patry budovy a ústí na její střeše.

Obdobně jako na parním potrubí i zde bude docházet k měření (viz kap. 6). Proto bylo nutné provést předběžný návrh měřicí plošiny (obr. 5.10) a vhodně vůči ní umístit potrubí tak, aby bylo přístupné pro měření a manipulaci s polní instrumentací. V případě tohoto potrubí by bylo vhodné co nejvíce zkrátit délku potrubí z důvodu dosažení co nejnižších tlakových ztrát. V našem případě není toto nutné řešit, protože se jedná o předběžný projekt.



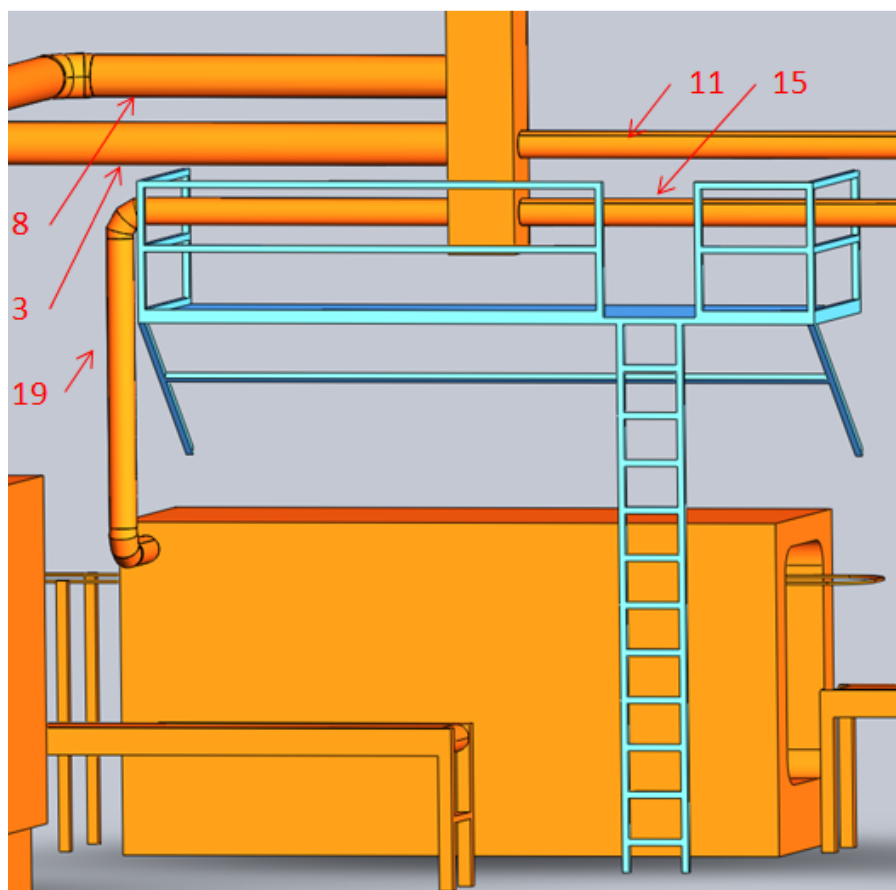
Obr. 5.9 – Potrubí odvodu vzdušiny  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

### 5.3.7 Výpočet průměru potrubí odvodu vzdušiny

Pro výpočet průměru potrubí byl vytvořen výpočtový program (příloha 6). Výsledky a vstupní data jsou přehledně zpracovány v tab. 5.3.

Jedná se o vzduchotechnické potrubí. Tlak v potrubí je dán polohou ventilátoru a tlakovými ztrátami v potrubí. Ventilátor bývá součástí jednotlivých zařízení (sušička, kalandr) a potrubní trasa je tedy v mírném přetlaku.

Výpočet průměru odtahového potrubí je totožný s výpočtem průměru potrubí rozvodu páry, proto je není nutné dále rozebírat. Proudícím médiem je vlhký vzduch, proto je zvolena rychlost proudění 15 m/s (viz kap. 5.3.2).



Obr. 5.10 – Měřicí plošina  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

Větev	Průtok vzdušiny [m <sup>3</sup> /h]	Teoretická rychlost proudění [m/s]	Tlak [bar]	Vypočtený průměr potrubí [mm]	Zvolené DN potrubí	Rychlost proudění pro zvolený průměr potrubí [m/s]
Kalandr 1 (proud č. 11)	2000	15	1	217,2	200	17,7
Kalandr 2 (proud č. 15)	2000	15	1	217,2	200	17,7
Tunel finisher (proud č. 19)	2000	15	1	217,2	200	17,7
Bubnová sušička s parním ohřevem (proud č. 3)	4100	15	1	310,9	315	14,6
Bubnová sušička s plynovým ohřevem (proud č. 8)	4100	15	1	310,9	315	14,6

Tab. 5.3 – Výsledky výpočtu průměru potrubí odtahu vzdušiny  
(značení proudů je v souladu s P&ID diagramem)

## 6. Výběr vhodné polní instrumentace pro sběr dat v procesu profesní údržby prádla

Cílem měření je analýza toku energie a následná optimalizace spotřeby energie procesu profesní údržby prádla. Jedná se o energeticky velmi náročný proces, který spotřebuje velké množství energie ve formě páry. Ta je drahá na výrobu a proto je důležité její efektivní využití.

V rámci plánovaného modelu se počítá s komplexním sledováním procesu. Stěžejním bodem bude měření spotřeby páry v jednotlivých zařízeních (s výjimkou vsádkových praček a malých sušiček). Znalost spotřeby je důležitá pro výpočty hmotnostních a energetických bilancí dílčích procesů (praní, sušení, atd.) a jejich optimalizaci. Dále je pro hodnocení efektivnosti procesu nutné zařadit měření parametrů odtahu vzdušiny. Tato informace slouží pro zajištění optimalizace daného stroje (například délky sušení v bubnových sušičkách).

### 6.1 Přehled dostupných měřidel průtoku

Každé z dostupných měřidel pro měření průtoku média má při jistých podmínkách své výhody, nevýhody a omezení. V následujícím textu bude diskutováno typické použití jednotlivých typů měřidel, jejich vlastnosti, typické použití a instalace.

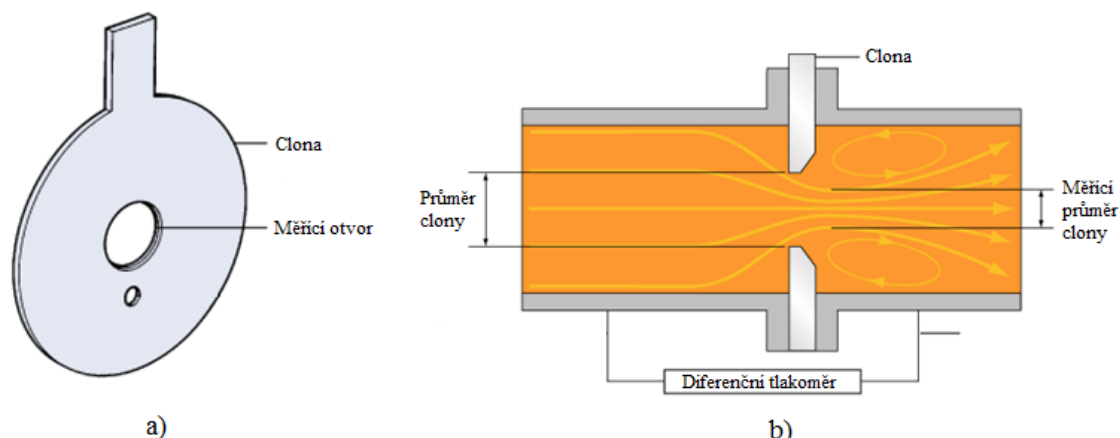
Pro měření průtoku se nejčastěji využívají tyto typy měřidel:

- clonový průtokoměr
- turbínový průtokoměr
- plovákový průtokoměr
- pružinový průtokoměr
- pitotova trubice a její různé varianty.

#### 6.1.1 Clonový průtokoměr

Clona patří do skupiny měřidel známých jako zařízení využívající tlakovou ztrátu neboli tlakovou diferenci. Jednoduše lze zařízení popsat (obr. 6.1) jako vložený kus do potrubí, který má menší vnitřní průměr než samotné potrubí. Zařízení pracuje na principu měření difference tlaku před a za clonou. Průkopníkem tohoto principu měření byl Daniel Bernoulli, který definoval, že rychlost tekutiny procházející otvorem je úměrná druhé mocnině tlakové ztráty přes otvor.

Jako základní člen měřidla je tzv. plát (angl. plate, obr. 6.1 a), který je vložen do potrubí a má s ním soustředný otvor. Mezi další součásti patří měřicí čidla, vyhodnocovací zařízení a systém upevnění.



Obr. 6.1 – Clonový průtokoměr [15]

Při navrhování tohoto typu průtokoměru je potřebné brát v úvahu jisté konstrukční předpoklady, pro které je zařízení navrženo. Především je nutné splnit délku rovného úseku před a za měřidlem.

Za měřidlem (ve směru toku média) je obecně požadován přímý úsek, v délce pětinasobku průměru potrubí. Toto je nutné pro ustálení proudění v potrubí. Délka přímého úseku před měřidlem (ve směru proudění média) je ovlivněna řadou faktorů. Mezi jeden z hlavních faktorů patří součinitel  $\beta$ , který vyjadřuje poměr mezi průměrem clony a průměrem potrubí (12). Obvykle se hodnota  $\beta$  pohybuje okolo 0,7.

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (12)$$

kde:  $\beta$  je poměr mezi průměrem clony a potrubí [-]  
 $d$  průměr clony [mm]  
 $D$  průměr potrubí [mm].

#### Výhody tohoto typu měřidla jsou následující:

- jednoduchá a robustní konstrukce
- dobrá přesnost
- nízké náklady
- není nutná žádná kalibrace, pokud není nutné provádět výpočty nebo měření dle ISO 5167.

#### Mezi nevýhody se řadí:

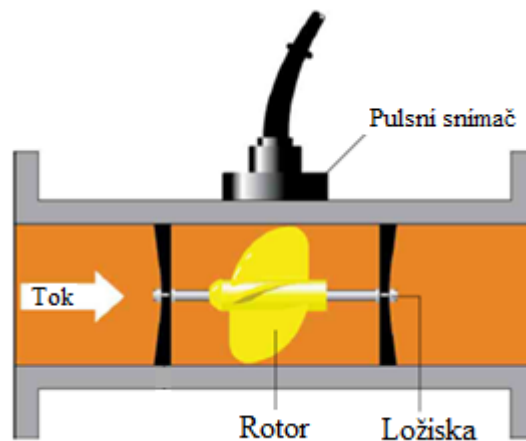
- clona je velice náchylná na účinky vodního rázu a může být lehce zničena nebo porušena špatným navržením a instalací
- clona je velice náchylná na obsahy kapiček vody v páře. Časem se může narušit okraj otvoru ve cloně a měření je následně nepřesné
- rozsah páry do 5:1.

## 6.1.2 Turbínový průtokoměr

Hlavním prvkem měřidla (obr. 6.3) je turbína, která má soustřednou osu jako potrubí a je umístěna na volnoběžném ložisku. Průměr rotoru je o něco menší než jmenovitý průměr potrubí.

Zařízení pracuje na principu snímání otáček rotoru. Ty jsou přímo úměrné objemovému průtoku měřeného média. Otáčky jsou snímány impulsním čidlem, které následně předává data vhodnému vyhodnocovacímu zařízení. To přímo ukáže hodnotu objemového průtoku.

Typické použití je pro měření přehřáté páry a všech kapalin se značným mazacím efektem. Lopatky rotoru jsou velmi náchylné na obsah kapiček vody v páře nebo naopak bublinky vzduchu v kapalině. Proto je nutné tento jev minimalizovat.



Obr. 6.3 – Turbínový průtokoměr [15]

Tento typ měřidla má značné pořizovací i provozní náklady. Proto je vhodné zkontrolovat tyto parametry:

- teplot (teplotní roztažnost), tlak (pokles tlaku za měřidlem) a viskozita
- mazací vlastnosti, agresivitu prostředí
- vhodnost vlastností média (zadírání ložisek)
- nebude limitující velký pokles tlaku za turbínou?

**Výhody turbínového průtokoměru jsou následující:**

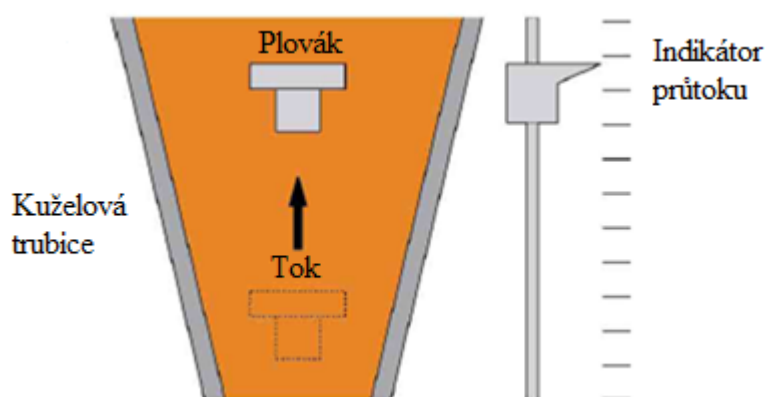
- rozsah páry až 10:1
- vysoká přesnost a provozní spolehlivost

### Mezi nevýhody se řadí:

- při jakékoli změně měřeného média je nutné překalibrovat zařízení, jinak dochází k nepřesnostem
- nevhodné pro měření mokré páry a kapaliny s obsahem bublinek vzduchu
- nevhodné pro malé průtoky (nedostatek energie pro roztočení oběžného kola)
- měřené médium musí být velmi čisté
- značná provozní i pořizovací cena.

### 6.1.3 Plovákové průtokoměry

Plovákový neboli rotační průtokoměr (obr. 6.4) je kuželová nádoba, ve které je vztlakem proudícího média nadnášen plovák.



Obr. 6.4 – Plovákový průtokoměr [15]

Princip činnosti je založen na vztlaku měřeného média na plovák, který je umístěn v kuželové nádobě. V případě nulového průtoku plovák zcela zakrývá vstupní otvor do pracovní části měřidla. Při zvýšení průtoku je na plovák zvyšován dynamický tlak proudícího média, ale zároveň se dostává do kuželovité části zařízení, kde jej může větší množství média obtékat. Výsledný průtok udává momentální poloha plováku vůči měřicí rysce.

Plovák se volí z odolného materiálu tak, aby vydržel i chemicky agresivní látky. Kuželová trubice se vyrábí ze skla nebo plastu. Obvykle bývá délky od 40 do 250 mm a její průměry jsou závislé na velikosti požadovaných průtoků. Trubice je také nejslabším místem průtokoměru, protože může dojít k jejímu porušení a následnému úniku média do okolí.

Typické použitím bývá pro měření plynů. Často bývají využívány pro experimentální, nepřliš přesné laboratorní měření.

### Výhody plovákového průtokoměru jsou následující:

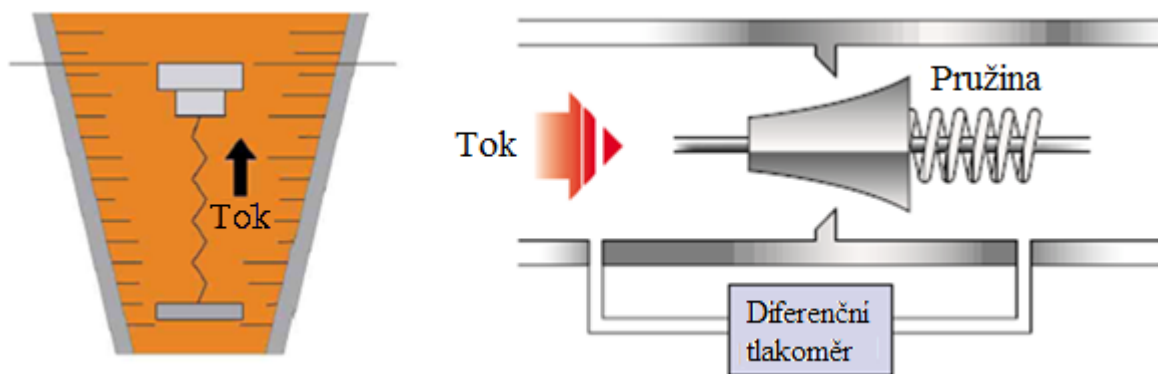
- rozsah páry 10:1
- jednoduchá a robustní konstrukce
- minimální tlaková ztráta.

### Mezi nevýhody se řadí:

- musí být ve svislé poloze
- protože, jsou naměřené hodnoty většinou odečítány vizuálně z polohy plováku vůči stupnici, bývá při vyšších průtocích problém s odečítáním
- materiál trubice je do jisté míry limitující.

#### 6.1.4 Pružinový průtokoměr

Pružinové průtokoměry (obr. 6.5) jsou konstrukční obměnou plovákových. Jsou rozšířeny o tlačnou (tažnou) pružinu, která přitlačuje (přitahuje) plovák do klidové polohy. Proto je možné tyto měřidla umístit i do vodorovné polohy.



Obr. 6.5 – Pružinový průtokoměr [15]

### Výhody pružinového průtokoměru jsou následující:

- robustní a jednoduchý
- rozsah páry 25:1 při normálním průtoku páry (25 m/s). Při vysokých průtocích je možné dosáhnout až 40:1
- přesnost  $\pm 2\%$
- nízké náklady.

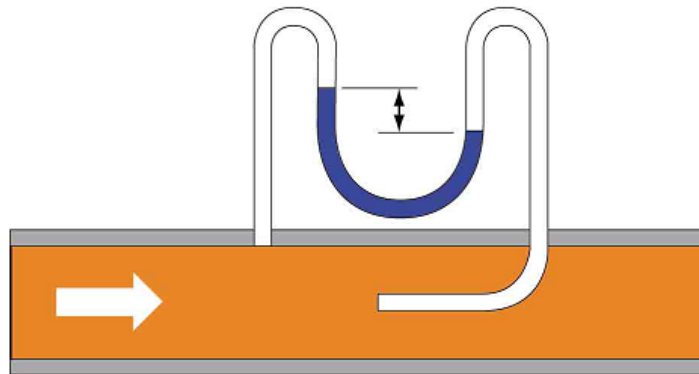
### Mezi nevýhody se řadí:

- velikost omezena na DN 100
- při dlouhodobém používání v nepříznivém prostředí často dochází k poškození.

#### 6.1.5 Pitotova trubice a její různé varianty

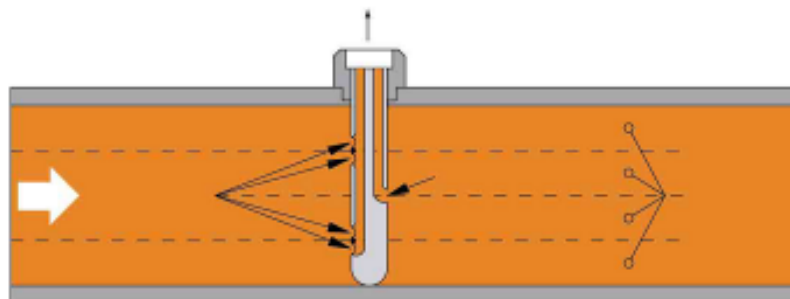
Pitotova trubice (obr. 6.6) je vhodná pro použití u velkých průměrů potrubí, kde je neekonomické rozřezávání potrubí a vložení např. clony (důsledkem jsou velké rozměry clony, což znamená neekonomičnost řešení). Pitotova trubice je levná má jednoduchou instalaci i použití. Pracuje na principu difference tlaků. Jeden konec je vyveden do středu potrubí a měří statický a dynamický tlak média. Druhý konec je na povrchu potrubí a měří pouze statický tlak

média. Jejich rozdílem je možné získat dynamický tlak média v potrubí a z něj následovně potřebné informace o průtoku a rychlosti proudícího média.



Obr. 6.6 – Pitotova trubice [15]

Klasické provedení pitotovi trubice není vždy zcela vhodné, protože měří tlak pouze ve středu potrubí. Průběh rychlostí přes průřez potrubím není ve všech místech totožný zvláště, jedná-li se o laminární proudění média. Pro přesnější měření některých specifických podmínek byl vynalezen tzv. annubar (obr. 6.7). Jedná se o konstrukčně upravenou pitotovu trubici. Vychází z úpravy její hlavní nevýhody a to měření pouze v jednom místě profilu potrubí. Jak je patrné z obrázku 6.7 annubar odebírá vzorky tlaku v několika místech po profilu průřezu potrubí, což zamezí nepřesnostem při měření.



Obr. 6.7 – Annubar [15]

**Výhody tohoto typu měřidla jsou následující:**

- relativně levné řešení
- způsobuje malé tlakové ztráty
- jedno měřidlo může být použito pro více typů a průměrů potrubí (neplatí pro annubar).

**Mezi nevýhody se řadí:**

- malí rozsah páry max. 4:1
- v případě syté páry je možné vysrážení kapiček vody uvnitř měřidla a tím jej ucpat
- měřidlo je citlivé na turbulence a náročné na přesnost montáže
- nízký pokles tlaku měřené jednotky, zvyšuje nejistotu, zejména pro vodní páry.

## 6.2 Výběr měřidel průtoku pro použití v profesní prádelně

Jak již bylo řečeno, výběr vhodné polní instrumentace je velice náročný a specifický úkol. V případě profesní prádelny je výběr ztížen nepříliš vhodnými podmínkami pro měření. Proto bylo technické řešení polní instrumentace předáno odborné firmě a celý postup návrhu byl s ní konzultován.

V případě měření průtoku páry (ohřev vzduchu sušičů, atd.) se jedná téměř o standardní záležitost. Pro zajištění přesnosti měření a životnosti měřidla je nutné zajistit suchost páry. Toho se dosáhne instalací separátoru vlhkosti s odvaděčem kondenzátu. Jeho umístění, by mělo být co možná nejbližší samotnému měřidlu. Musí však být respektována minimální délka rovného úseku. Vzhledem k malým průměrům potrubí (viz tab. 5.1) toto nebývá problém.

Daleko větší problémy nastanou při měření odtahu vzdušiny z kalandrů, sušiček a tunel finisheru. Měřeným médiem je vlhký vzduch obsahující jemná vlákna textilu (textilní oťer) a v případě kalandrů také vosk. Navržené zařízení musí tedy být odolné vůči zanášení. Dalším limitujícím faktorem je tlaková ztráta.

Následující tabulka (tab. 6.1) shrnuje vhodnost a nevhodnost jednotlivých měřidel a následující text popíše důvody této volby.

Typ měřidla	Průtok odpadního vzduchu z aparátů	Průtok páry na vstupu do aparátů
Clonový průtokoměr	nevhodný	vhodný
Turbinový průtokoměr a jeho varianty	nevhodný	vhodný
Plovákový průtokoměr	nevhodný	nevhodný
Pružinový průtokoměr	nevhodný	nevhodný
Pitotova trubice	vhodný (provedení annubar)	vhodný (provedení annubar)

Tab. 6.1 – Posouzení jednotlivých typů měřidel

### 6.2.1 Volba měřidla průtoku odpadního vzduchu

Clonový průtokoměr (obr. 6.8) v konstrukční úpravě se čtyřmi excentrickými otvory nemůže být použit pro jeho velkou tlakovou ztrátu, tou by došlo k výraznému snížení dopravovaného množství a tím i snížení kapacity zařízení (odpařovací kapacita) v důsledku změny proudění v bubnu sušičky. Jeho použití pro toto měření je také zcela nevhodné pro velký průměr potrubí (300 mm).

Turbínový průtokoměr je nevhodný z důvodu vysoké pořizovací ceny, vysoké tlakové ztráty a obsahu tkaniny a vosků v měřeném médiu.

Plovákový a pružinový průtokoměr nebyly vůbec uvažovány, protože jsou pro tuto aplikaci zcela nevhodné a nedosahují požadované přesnosti.



Obr. 6.8 – Clonový průtokoměr [17]

Jak je již patrné z tabulky 6.1 jedinou vhodnou variantou polní instrumentace pro měření na odtahovém potrubí je pitotova trubice v provedení annubar (kap. 6.2.2).

### 6.2.2 Annubar pro měření průtoku odpadního vzduchu

Pro všechny potrubí odtahu vzdušiny byl zvolen stejný typ měřícího zařízení (obr. 6.9) rozdílný pouze v délce provedení těla měřidla podle průměru potrubí.

Měřidlo jako celek se skládá ze tří částí:

- modulární snímač diferenčního tlaku (obr. 6.9 a)
- tělo měřidla – annubar (obr. 6.9 c)
- integrální ventilová souprava (obr. 6.9 b)

### Modulární snímač diferenčního tlaku

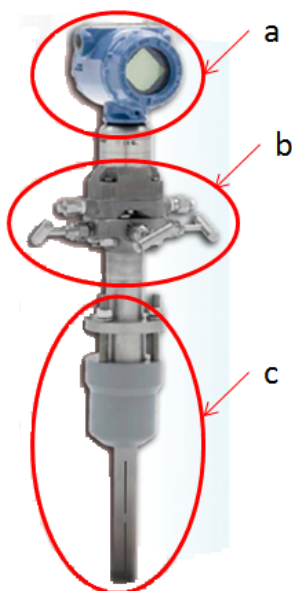
Slouží pro výpočet a zobrazení naměřeného tlaku. Katalogový list konkrétního výrobce je součástí přílohy 7. Jeho hlavní výhodou je vysoká přesnost dosahující až 99,75%. Tato přesnost je při ideálních podmínkách garantovaná na 10 až 12 let.

### Tělo měřidla – annubar

Je hlavním prvkem celého měřidla. Jedná se o soustavu kanálků a čidel, které předávají data do modulárního snímače. Katalogový list zařízení je obsahem přílohy 7. Tento typ má výhodu v inovativním řešení soustavy kanálků a specifický obvodový tvar pro lepší obtékání měřidla. Proto má velmi nízké tlakové ztráty, což je pro naše použití klíčové.

### Integrovaná ventilová souprava

Slouží například pro čištění měřidla profouknutím přes ventil.



Obr. 6.9 – Annubar [17]

### **6.2.3 Volba měřidla průtoku páry**

V případě měřidla pro měření přívodu páry do zařízení, bylo nutné brát v úvahu časté kolísání dodávky páry (průtok páry kolísá v průběhu sušícího cyklu, maximální průtok při natápění zařízení).

Turbínový průtokoměr je velice přesný a pro tento typ měření by byl vhodný, ale jeho nevýhodou je jeho vysoká cena a citlivost na změny v průtocích páry, proto nebyl dále uvažován.

Plovákové a pružinové průtokoměry nedosahují požadované přesnosti, proto o nich nebylo dále uvažováno.

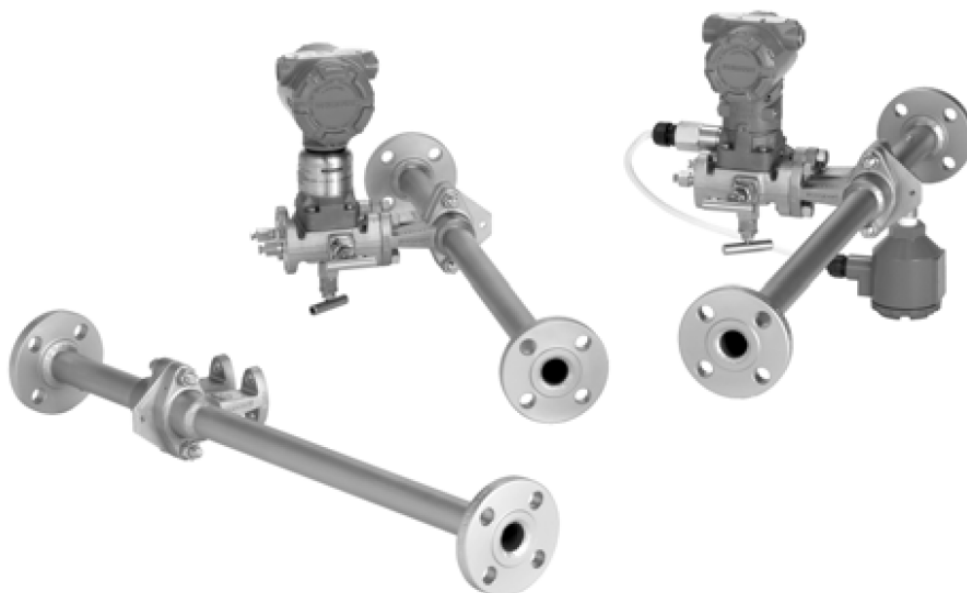
Na výběr tedy bylo mezi clonovým průtokoměrem a pitotovou trubicí v úpravě annubar. Obě měřidla splňují veškeré konstrukční i technologické požadavky, ale clonový průtokoměr je jednodušší na údržbu a používání, proto byl posouzen jako vhodnější.

#### 6.2.4 Clonový průtokoměr pro měření přívodu páry

Tento typ měřidla bude použit pro všechna potrubí přívodu páry do zařízení. Stejný typ pouze o jiném průměru bude použit pro měření přívodu plynu do bubnové sušičky s plynovým ohřevem a na přívodu plynu do tunel finišeru. Katalogový list je součástí přílohy 8.

Měřidlo bude dodáno jako celková měřící sestava (obr. 6.10). Součástí dodávky měřidla je potrubí DN 25 (v případě plynového potrubí DN 40), clona s upevněním, ventilová souprava (viz kap. 6.2.2) a modulární snímač diferenčního tlaku (viz kap. 6.2.2).

Tento clonový průtokoměr je doporučeno používat pro měření jednofázového toku páry nad teplotou nasycení. Není vhodný pro pulzující proudění (zvýší se hluchnost měření a zneprěsňuje se výsledek). Správná funkce je zajištěna do teploty 232°C.



Obr. 6.10 – Potrubní trasa s clonovým průtokoměrem [17]

### 6.3 Ostatní měřící zařízení

Výše zmíněné kapitoly se zabývaly problematikou výběru měřidel průtoku. Problém zjištění energetické náročnosti je však daleko komplexnější a pro optimalizaci procesu profesní údržby prádla bude nutné provádět daleko rozsáhlejší měření (viz příloha 1). Proto byla celá technologie rozdělena do 13-ti měřících úseků na třech základních médiích. Těmi jsou:

- přívod páry
- přívod zemního plynu
- odvod odpadního vzduchu.

### Měření přívodu páry do zařízení (měřící úsek 1 až 6 v příloze 2)

Měření přívodu páry se provádí na vstupu do:

- bubnové sušičky s parním ohřevem (S01)
- kalandrů (K01, K02)
- tunel finišeru (T01)
- kontinuální prací linky (přívod pára z centrálního rozvodu a nízkotlaké páry z expandérové jednotky) – není součástí P&ID.

Měření přívodu páry spočívá v měření průtoku a tlaku. Měření obou veličin zajišťuje integrální clonový průtokoměr (viz. kap 6.2.4).

### Měření přívodu zemního plynu (měřící úsek 7 a 8 v příloze 2)

Měření přívodu zemního plynu se provádí na vstupu do:

- bubnové sušičky s plynovým ohřevem (S02)
- tunel finišeru (T01).

Měření bude prováděno stejným clonovým průtokoměrem jako v případě přívodu páry. Bude mít pouze jiný průměr integrovaného potrubí a clony.

### Měření odvodu odpadního vzduchu (měřící úsek 9 až 13 v příloze 2)

Měření odvodu odpadního vzduchu se provádí na výstupu z:

- bubnových sušiček (S01, S02)
- kalandrů (K01, K02)
- tunel finišeru (T01).

Aby bylo možné vypočítat efektivnost procesu sušení je nutné na odpadním potrubí ze zařízení měřit nejen průtok (kap. 6.2.1), ale také vlhkost a teplotu.

Měření vlhkost a teploty se bude provádět konvenčně dostupnými měřidly (viz. katalogový list – příloha 9). Tato zařízení jsou pro všechny měřící trasy stejná.

## 7. 3D model potrubních tras

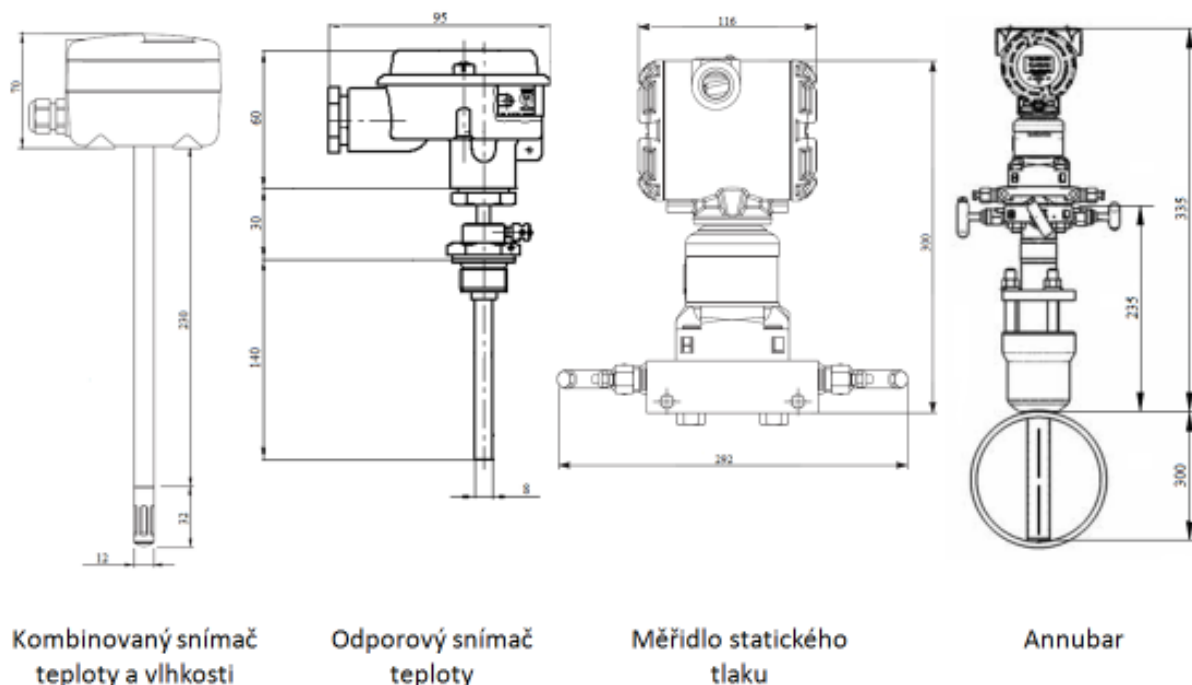
Posledním cílem práce bylo vytvoření měřících tras přívodu páry a odvodu odpadního vzduchu ze zařízení. Trasy budou vytvořeny v 3D CAD systému SolidWorks a bude na nich diskutováno rozmístění jednotlivých měřidel a potřebné místo okolo měřících tras. Při návrhu rozmístění jednotlivých měřidel do měřící trasy je nutné dbát na dodržení rovných úseků okolo měřidel průtoku. U ostatních typů polní instrumentace (vlhkostní čidlo, odporový snímač teploty, atd.) není rozmístění v potrubní trase zásadní a nijak neovlivňuje jejich funkčnost.

### 7.1 Potrubní trasa měření odpadního vzduchu

Polní instrumentace použitá v měřící trase odtahu vzduchu je:

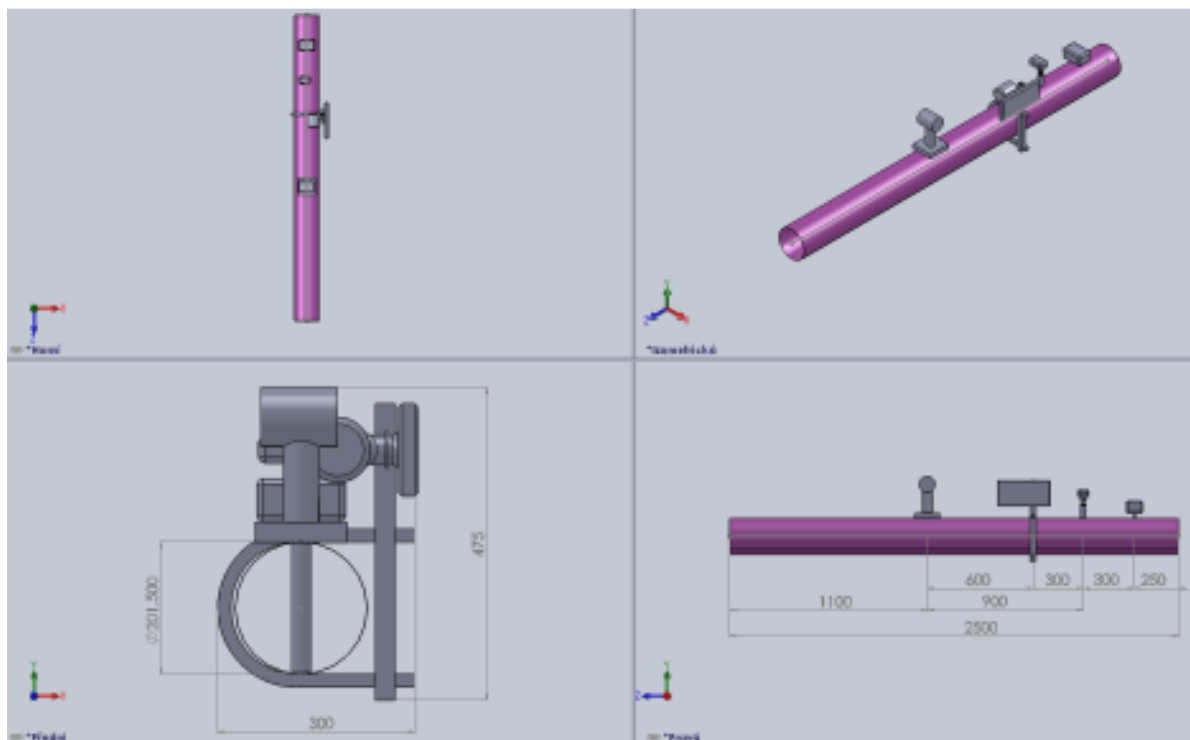
- kombinovaný snímač teploty a vlhkosti
- odporový snímač teploty
- annubar (modulární snímač diferenčního tlaku, tělo měřidla – annubar, integrální ventilová souprava)
- měřidlo statického tlaku (integrální ventilová souprava, převodník tlaku)

Hlavní rozměry měřidel jsou patrné z obrázku 7.1. Příloha 10 zahrnuje katalogové listy všech měřidel použitých v této potrubní trase (kromě annubar - příloha 7), ze kterých je možné zjistit veškeré bližší informace o zvolených typech.



Obr. 7.1 – Hlavní rozměry polní instrumentace pro měření odtahu vzduchu [17], [18], [19]

Pro demonstraci hlavních rozměrů a rozmístění jednotlivých zařízení byl vytvořen 3D model této potrubní trasy. Vzhledem k její náročnosti byly zakótovány jen hlavní rozměry a vzdálenosti mezi jednotlivými měřidly (obr. 7.2). Při reálném použití je nutné počítat s tepelnou izolací.



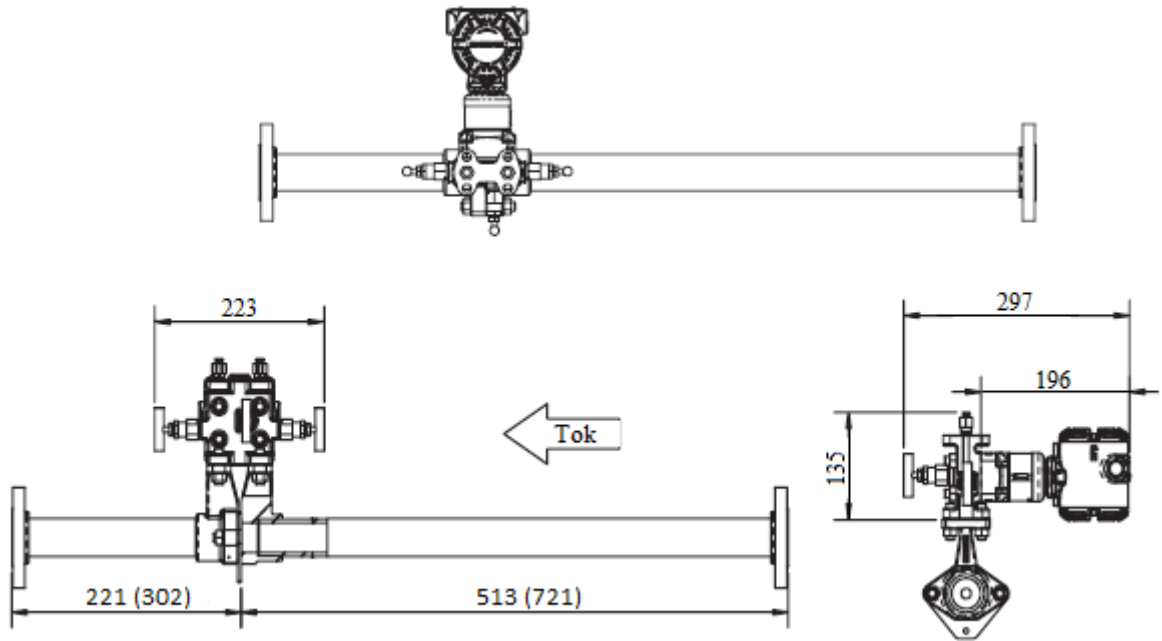
Obr. 7.2 - 3D model potrubní trasy odtahu vzduchu

## 7.2 Potrubní trasa měření přívodu páry a zemního plynu

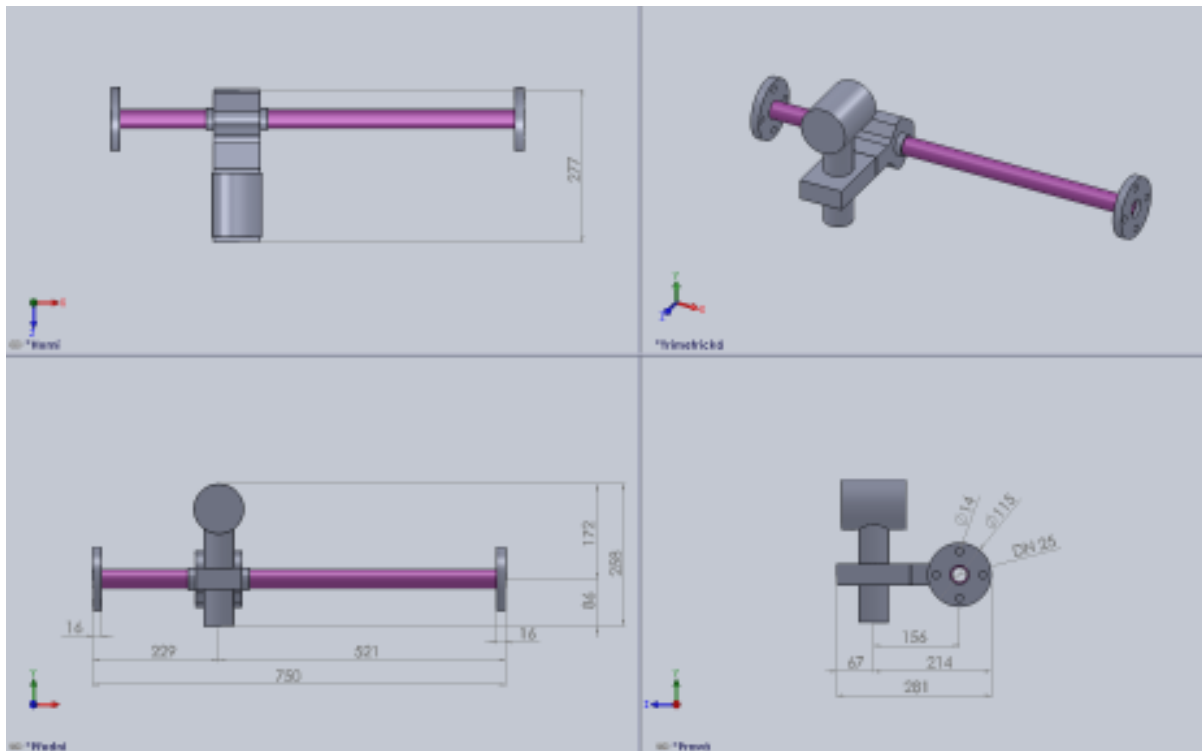
Integrální clonový průtokoměr použitý pro toto měření je již dodáván jako kompletní potrubní trasa, kterou je přes příruby možno vložit do stávajícího potrubí. Není tedy nutné řešení rovných úseků před a za měřidlem (obr. 7.3).

Pro měření průtoku přívodů páry do všech zařízení byl zvolen průměr potrubí 1“ (25 cm) a pro přívod zemního plynu 1-1/2“ (40 cm). Od toho se také odvíjejí délky potrubí před a za měřidla.

Pro demonstraci hlavních rozměrů měřicí trasy byl vytvořen její 3D model (obr. 7.4, příloha 11), podle kterého je možné, si vytvořit představu o prostorové náročnosti měřícího úseku. Při reálném použití je nutné počítat se zvětšením průměru trasy o tepelnou izolaci.



Obr. 7.3 – Hlavní rozměry potrubní trasy měření průtoku [17]  
(míry v závorce platí pro měřicí trasy přívodu plynu)



Obr. 7.4 – 3D model potrubní trasy clonového průtokoměru

## 8. Závěr

První část práce byla zaměřena na vytvoření technologického schématu části technologie procesní údržby prádla. Proto, aby bylo technologické schéma možno vypracovat bylo nejprve nutné seznámení se s technologií procesní údržby prádla a s pravidly a postupy tvorby technologických schémat. Z technologického schématu jsou patrné hlavní procesní potrubí, polní instrumentace včetně k ní potřebných zařízení, armatury a zařízení potřebná pro provoz strojního vybavení prádelny.

V návaznosti na vytvořené technologické schéma bylo úkolem vytvořit v softwaru SolidWorks 3D model profesní prádelny. Prádelna se nachází v objektu NETME Centr, proto jsou prostory potřebné pro profesní údržbu prádla vytvořeny dle příslušných stavebních plánů objektu. Do dispozice budovy bylo následně umístěno strojní vybavení. Při rozmísťování strojů bylo dbáno na minimalizaci manipulace mezi jednotlivými stroji. V úvahu bylo nutné brát potřebné prostranství pro volný pohyb obsluhy strojů a nutnost skladování prádla z důvodů nekontinuity některých zařízení. Po rozmístění strojů byla zařízení připojena na hlavní potrubní větve přívodů a odvodů procesních médií. Při návrhu umístění vedení potrubních tras bylo nutné uvažovat s měřením parametrů přívodních médií (pára, zemní plyn) a odvodu odpadního vzduchu. Pro přístup k měřícím trasám byly navrženy ocelové konstrukce, ze kterých je možné pohodlně a bezpečně manipulovat s příslušnými měřidly.

Hlavním cílem výstavby modelu prádelny je zjišťování energetické náročnosti jednotlivých zapojení strojů a jejich optimalizace spotřeby energií. Pro účely měření musely být navrženy vhodné měřící zařízení. Největší důraz byl kladen na výběr měřidel průtoku, ty jsou totiž nejnáchylnější na čistotu měřeného média a konstantnost jeho dodávek. Pro měření průtoku páry a zemního plynu byl vybrán jako nejvhodnější integrální clonový průtokoměr. Pro měření průtoku odpadního vzduchu byla zvolena pitotova trubice v provedení annubar. Pro ostatní měřené veličiny (teplota, vlhkost) jsou zvoleny konvenčně dostupné typy měřidel.

Posledním cílem práce bylo vytvořit měřící trasy osazené všemi měřidly. Tento problém byl vymodelován v softwaru SolidWorks a výstupem je 3D model potrubní trasy, z něž jsou patrné její hlavní rozměry a rozmístění jednotlivých měřidel. Měřící trasa může sloužit pro experimentální měření i v jiných provozech prádelen. Proto bylo důležité zakótování hlavních rozměrů a připojovacích rozměrů měřící trasy.

## 9. Seznam použité literatury

- [1] Webové stránky společnosti Procter & Gamble [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: < <http://www.procter-gamble.cz/>>
- [2] Webové stránky projektu NETME Centrum [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <<http://www.netme.cz>>
- [3] Příručka *Chapture 12 process diagrams* [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <[http://webtools.delmarlearning.com/sample\\_chapters/1418030678\\_ch12.pdf](http://webtools.delmarlearning.com/sample_chapters/1418030678_ch12.pdf)>
- [4] Příručka pro inženýry *Designing a process flow sheet* [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <[www.aiche.org/uploadedFiles/CEP/Issues/2009-05/050915.pdf](http://www.aiche.org/uploadedFiles/CEP/Issues/2009-05/050915.pdf)>
- [5] KERMES V.: *Projektování a řízení procesů*; podklady pro výuku. Ústav procesního a ekologického inženýrství, FSI VUT v Brně, Brno 2009
- [6] Server Wikipedia [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní\\_strana](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavní_strana)>
- [7] TŮMA, Z. *Model moderní komerční prádelny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 63s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.
- [8] TŮMA, Z., PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V.: *Model energeticky náročného procesu v rámci projektu NETME*; předběžná technická specifikace. Ústav procesního a ekologického inženýrství, FSI VUT v Brně, Brno 2009
- [9] PAVLAS, M.: *Hala pro model energeticky náročného procesu, podklady pro stavební povolení, předběžná technická specifikace uvažovaných hlavních aparátů*; technická zpráva; Ústav procesního a ekologického inženýrství, FSI VUT v Brně, Brno 2009
- [10] 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.
- [11] BOBÁK, P.: *Systém pro výpočet stěžejních parametru u energeticky náročného spotřebitele*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Pavlas.
- [12] PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V.: *Optimalizace využití tepla a vody na profesní prádelně, I. etapa*; technická zpráva; Ústav procesního a ekologického inženýrství, FSI VUT v Brně, Brno 2006
- [13] PAVLAS, M., KŠENZULIAK, V.: *Optimalizace využití tepla a vody na profesní prádelně, II. etapa*; technická zpráva; Ústav procesního a ekologického inženýrství, FSI VUT v Brně, Brno 2006

- [14] Webové stránky společnosti Kanngiesser [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <<http://www.kanngiesser.de/>>
- [15] Parní příručka pro inženýry [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <<http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials.asp>>
- [16] KUBÍČEK, L.: *Sborník vzduchotechnických výrobků: Potrubí a příslušenství*. 2. vyd. Praha: Klimacentrum, 1991. 142s.
- [17] Katalogové listy společnosti Rosemount [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: <<http://www2.emersonprocess.com/EN-US/BRANDS/rosemount/Pages/index.aspx>>
- [18] Katalogové listy společnosti ZPA Nová Paka [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: < <http://www.zpanp.cz/cs/novinky/>>
- [19] Katalogové listy společnosti E+E elektronik [online], [cit. 6.5.2010], dostupné z WWW: < <http://www.epluse.com/>>

## 10. Seznam příloh

- [1] 3D model profesní prádely
- [2] Schéma P&ID
- [3] Schéma BFD
- [4] Výpočet průměru parního potrubí
- [5] Výpočet průměru kondenzátního potrubí
- [6] Výpočet průměru odtahového potrubí
- [7] Katalogový list - annubar
- [8] Katalogový list - clonový průtokoměr
- [9] Katalogový list - kombinovaný snímač vlhkosti a teploty, odporový snímač teploty, převodník tlaku, ventilová souprava pro in-line provedení snímače tlaku
- [10] 3D model potrubní trasy měření odpadního vzduchu
- [11] 3D model potrubní trasy integrálního clonového průtokoměru

## Příloha 1 – BFD schéma

