



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI STERILIZAČNÍ PÁRY

PHYSICAL PROPERTIES OF STEAM STERILIZATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARKÉTA KOTLÁNOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VLADIMÍR HOLCMAN, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské inženýrství a bioinformatika

Studentka: Bc. Markéta Kotlánová

ID: 115099

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Fyzikální vlastnosti sterilizační páry

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Provedte literární rešerši základních fyzikálních vlastností syté páry pro sterilizaci zdravotnického materiálu. 2) Provedte analýzu a popis metody zjišťování účinnosti sterilizace zdravotnického materiálu. 3) Navrhněte varianty senzorů pro měření fyzikálních veličin tlak, teplota, proudění, vlhkost případně dalších pro sterilizaci zdravotnického materiálu. 4) Navrhněte vhodné body měření fyzikálních parametrů páry pro konvenční sterilizační systémy. 5) Vyberte významné parametry fyzikálních veličin a navrhněte metodiku umožňující jejich automatizované měření. 6) Navrhněte metodiku hodnocení naměřených dat a jejich interpretaci. 7) Všechny zmíněné návrhy vyhodnoďte a uveďte do korelace s normou pro sterilizaci zdravotnického materiálu. 8) Navrhněte vhodné postupy pro zvýšení efektivity sterilizace zdravotnického materiálu a stěžejní parametry pro ověření kvality sterilizace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MELICHERČIKOVÁ V. Ochranná dezinfekce. Sdružení pracovníků dezinfekce, Dezinfekce a deratizace České republiky, Praha 2003. , ISBN 978-80-247-4273-1.

[2] PODSTATOVÁ H. Hygiena provozu zdravotnických zařízení a nová legislativa. EPAVA, Olomouc 2002.

[3] CIBULKA I. : Základní fyzikálně-chemické veličiny a jejich měření, VŠHT v Praze, 2006.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá nalezením, měřením a hodnocením vhodných fyzikálních parametrů pro analýzu kvality syté sterilizační páry dle normy ČSN EN 285+A2, což je první krok pro nahrazení zastaralých procesů této analýzy moderními automatizovanými systémy. Dílčí částí projektu je popis fyzikální sterilizace, syté páry, metod a senzorů pro kontrolu sterilizační páry a samotné měření a vyhodnocení této problematiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sterilizace, sytá pára, parametry sterilizační páry, měření kvality páry

ABSTRACT

The master's thesis deals with finding, measurement and evaluation of suitable physical parameters for quality analysis of saturated steam sterilization according to ČSN EN 285 + A2, which is the first step for the replacement of outdated processes of the analysis by modern automation systems. The other part of the project contains description of physical sterilization, saturated steam, methods and sensors for the monitoring of steam sterilization and the measurement and evaluation of these issues.

KEYWORDS

Sterilization, saturated steam, parameters of steam sterilization, steam quality measurement

KOTLÁNOVÁ, M. *Fyzikální vlastnosti sterilizační páry*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2013.
74 s., Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Fyzikální vlastnosti sterilizační páry jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujícího zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 23. 5. 2013

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Holcmanovi, Ph.D. za neocenitelnou pomoc, vynaložené úsilí při veškerých konzultacích a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině, příteli a přátelům za jejich podporu a trpělivost.

Popsaný výzkum byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace

V Brně dne 23. 5. 2013

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	9
1 Dezinfekce	10
1.1 Fyzikální metody dezinfekce	11
1.2 Fyzikálně - chemická dezinfekce	11
1.3 Chemická dezinfekce	12
1.4 Vyšší stupeň dezinfekce	12
2 Sterilizace	13
2.1 Předsterilizační příprava.....	15
2.2 Metody fyzikální sterilizace	16
2.2.1 Sterilizace vlhkým teplem v parních sterilizátorech	16
2.2.2 Sterilizace proudícím horkým vzduchem.....	17
2.2.3 Radiační sterilizace	17
2.2.4 Sterilizace plazmou	17
2.3 Chemická sterilizace	18
2.3.1 Sterilizace formaldehydem.....	18
2.3.2 Sterilizace etylenoxidem	18
3 Sytá pára	19
3.1 Fyzikální parametry syté páry	19
3.2 Parametry syté páry pro sterilizační komoru.....	21
4 Zkoušky kvality páry	23
4.1 Nekondenzovatelné plyny	23
4.1.1 Postup zkoušky.....	23
4.2 Suchost páry	24
4.3 Přehřátí páry	24
5 Senzory pro měření fyzikálních veličin	26
5.1 Měření teploty	26
5.1.1 Kovové odporové senzory teploty.....	26
5.1.2 Polovodičové odporové senzory	26
5.1.3 Termoelektrické články.....	27
5.2 Měření tlaku	27
5.2.1 Odporové tenzometry	27

5.2.2	Kapalinové snímače tlaku	28
5.2.3	Deformační snímače tlaku.....	29
5.3	Měření průtoku	30
5.3.1	Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru.....	30
5.3.2	Objemová měřidla	30
5.3.3	Rychlostní měřidla	31
5.4	Měření vlhkosti	31
5.4.1	Odporové vlhkoměry.....	31
5.4.2	Kapacitní vlhkoměry	32
5.4.3	Vlhkoměry s vyhřívanými termistory	32
5.5	Měření rosného bodu.....	32
5.6	Měření elektrické vodivosti vody.....	33
6	Zapojení systému	34
6.1	Vybraná čidla pro měření fyzikálních parametrů.....	34
6.2	Schéma zapojení čisté páry	34
6.3	Řízení systému a sběr dat	37
7	Měření a vyhodnocení fyzikálních parametrů sterilizační páry	40
7.1	Měření fyzikálních parametrů sterilizační páry stabilního systému.....	40
7.1.1	Měření teploty sterilizační páry stabilního systému.....	40
7.1.2	Měření tlaku sterilizační páry stabilního systému	47
7.1.3	Měření elektrické vodivosti demineralizované vody stabilního systému.....	54
7.2	Vyhodnocení získaných výsledků stabilního systému	56
7.2.1	Vyhodnocení teploty sterilizační páry stabilního systému.....	56
7.2.2	Vyhodnocení tlaku sterilizační páry stabilního systému.....	61
7.3	Měření parametrů pro nestabilní systém	63
8	Celkové shrnutí	64
	Závěr	65
	Literatura	67
	Seznam zkratk a symbolů veličin	69
	Přílohy	71
A	Schéma zapojení čisté páry	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Sterilizační proces [1]</i>	13
<i>Obr. 2: Předsterilizační příprava [3]</i>	15
<i>Obr. 3: Vznik syté páry [7]</i>	19
<i>Obr. 4: Schéma aparatury pro měření podílu nekondenzovatelných plynů [9]</i>	23
<i>Obr. 5: Schéma aparatury pro měření hodnoty suchosti páry [9]</i>	25
<i>Obr. 6: Schéma aparatury pro měření přehřátí [9]</i>	25
<i>Obr. 7: Můstkové zapojení tenzometrů [12]</i>	28
<i>Obr. 8: Deformační prvky [14]</i>	29
<i>Obr. 9: Prandtlova trubice [16]</i>	30
<i>Obr. 10: Typy a charakteristika odporových senzorů vlhkosti [18]</i>	31
<i>Obr. 11: Schéma měření vodivosti roztoku (A) a zjednodušený elektrický náhradní obvod (B) [20]</i>	33
<i>Obr. 12: Schéma zapojení čisté páry (výřez)</i>	36
<i>Obr. 13: Separátor páry</i>	37
<i>Obr. 14: Blokový diagram PLC [26]</i>	38
<i>Obr. 15: Kompaktní řídicí systém s parametry (Amit AMiNi4Ds) [27]</i>	38
<i>Obr. 16: Náhled PLC obrazovky</i>	39
<i>Obr. 17: Průběhy měření páry</i>	40
<i>Obr. 18: Průběhy měření páry 2</i>	41
<i>Obr. 19: Průběhy měření páry 3</i>	42
<i>Obr. 20: Průběh měření čisté páry</i>	43
<i>Obr. 21: Průběh měření páry za tepelným výměníkem</i>	43
<i>Obr. 22: Detail pro skok teploty páry při spuštění jednoho sterilizátoru</i>	44
<i>Obr. 23: Detail pro skok teploty páry při spuštění tří sterilizátorů</i>	44
<i>Obr. 24: Průběh měření čisté páry 2</i>	45
<i>Obr. 25: Průběh měření čisté páry 3</i>	45
<i>Obr. 26: Průběh měření páry za výměníkem 2</i>	46
<i>Obr. 27: Průběh měření páry před výměníkem 2</i>	46
<i>Obr. 28: Průběh měření tlaku čisté páry</i>	47
<i>Obr. 29: Detailní průběh měření tlaku pro čistou páru</i>	48
<i>Obr. 30: Průběh měření tlaku pro čistou páru 2</i>	48
<i>Obr. 31: Průběh měření tlaku pro čistou páru 3</i>	49
<i>Obr. 32: Detail pro skok tlaku čisté páry při spuštění dvou sterilizátorů</i>	50

<i>Obr. 33: Detail pro skok tlaku čisté páry při spuštění tří sterilizátorů.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34: Průběh měření tlaku pro páru před výměníkem.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 35: Průběh měření tlaku pro páru před výměníkem 2.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 36: Detail části signálu při spuštění proudění do 1 sterilizátoru.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 37: Detail části signálu při spuštění proudění do 2 sterilizátorů.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 38: Detail části signálu při spuštění proudění do 3 sterilizátorů.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39: Průběh měření elektrické vodivosti.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 40: Detailní průběh měření elektrické vodivosti.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 41: Detailní průběh měření elektrické vodivosti 2.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 42: Schéma zapojení čisté páry.....</i>	<i>71</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Parametry sterilizace v přístrojích [3]</i>	14
<i>Tab. 2: Doba expozice při daných parametrech [6]</i>	16
<i>Tab. 3: Doba expozice při daných teplotách vzduchu [2]</i>	17
<i>Tab. 4: Znečištění v kondenzátu z vyvíječe páry do sterilizátoru [9]</i>	22
<i>Tab. 5: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru</i>	56
<i>Tab. 6: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru 2</i>	56
<i>Tab. 7: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru 3</i>	57
<i>Tab. 8: Analýza výšky a šířky skoků pro páru za výměníkem</i>	57
<i>Tab. 9: Analýza výšky a šířky skoků pro páru před výměníkem</i>	58
<i>Tab. 10: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru</i>	61
<i>Tab. 11: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru 2</i>	61
<i>Tab. 12: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru 3</i>	61

ÚVOD

Člověk je v životním i pracovním prostředí denně vystaven mnoha různým faktorům, mezi které patří mimo jiné i soužití s mikroorganismy. Většina z nich je pro člověka neškodná, některé jsou naopak pro život potřebné a nezbytné, ale existují i takové druhy mikroorganismů, které mohou vyvolat závažná a smrtelná onemocnění, případně znehodnotit suroviny a produkty.

S rozvojem zemědělství a průmyslu, domestikací zvířat, výstavbou měst či zaváděním nových technologií se vytvářejí vhodné podmínky pro mikroorganismy. K jejich následnému šíření napomáhá doprava po souši, moři i ve vzduchu. Změnami lidských návyků a zvyklostí se mění životní podmínky i původců infekcí a čím rychleji tyto změny probíhají, tím rychleji se objevují nové nemoci způsobující izolované případy, lokální epidemie nebo dochází k nekontrolovanému šíření dávno známých infekcí, jako je cholera, malárie, spalničky atd.

Jedním ze základních opatření k zabránění škodlivého působení mikroorganismů je sterilizace a dezinfekce, založené na působení účinných látek a postupů.

Hlavní náplní diplomové práce je nalezení a měření vhodných fyzikálních parametrů pro analýzu kvality syté sterilizační páry dle normy ČSN EN 285+A2. Tento prvek tvoří základ pro nahrazení zastaralých procesů analýzy nekondenzovaných plynů. Používané procesy totiž mají množství nedostatků, mezi které patří především nemožnost automatizace systému a velmi velká časová i finanční náročnost. Nalezení vhodných parametrů a způsoby jejich kontinuálního měření určí informace pro vytvoření moderních automatizovaných systémů.

Práce se dále věnuje dílčím cílům, které podporují cíl hlavní. Zabývá se fyzikální sterilizací pomocí syté páry a další možností sterilizace a dezinfekce. Popisuje základní parametry pro jejich správnou funkčnost, dále výhody a nevýhody nebo vhodnosti použití pro určité materiály. V další části se diplomová práce věnuje syté páře, jejímu vzniku, fyzikálním vlastnostem a parametrům, které jsou nezbytné pro využití páry při fyzikální sterilizaci ve sterilizačních komorách. Práce se zabývá také metodami, které slouží ke kontrole kvality páry a tedy účinnosti sterilizace, jako je kontrola obsahu nekondenzovatelných plynů, suchosti páry nebo jejímu přehřátí. Dále se práce věnuje senzorům pro měření určitých fyzikálních veličin, jako je teplota, tlak, vlhkost či elektrická vodivost vody, která slouží pro přípravu syté páry.

V praktické části práce popisuje měření fyzikálních parametrů pomocí vybraných senzorů a vyhodnocuje získané výsledky.

1 DEZINFEKCE

Mikroorganismy jsou nevyhnutelnou součástí prostředí člověka a jsou všudypřítomné. Některé lidem pomáhají, a jsou pro život nezbytné, např. normální mikrobiální flóra lidského těla – kůže a sliznic, dutiny ústní, horních cest dýchacích, pohlavních orgánů či střevního traktu. Další mikroorganismy jsou součástí některých potravin, jako mléčných výrobků, piva, vína, nebo nezbytnou součástí půdy. Jen menší skupina mikrobů je tvořena původci nálezů, proti kterým jsou zaměřena veškerá dezinfekční a sterilizační opatření. Při volbě postupu dezinfekce se vychází ze znalostí o cestách a mechanismech přenosu infekce a z možností ovlivnění účinnosti dezinfekce faktory vnějšího prostředí (teplota, pH, vlhkost, ochranný účinek organických látek) a odolnosti mikroorganismů. Cílem je, aby na plochách, předmětech v prostředí či neporušené pokožce nebyly mikroorganismy, které vyvolávají infekční onemocnění. Postupy dezinfekce a sterilizace operačních nástrojů musí být schváleny hlavním hygienikem České republiky a jejich účinnost je testována jak v laboratořích, tak v praktických podmínkách. Všechny přípravky k dezinfekci pokožky, sliznic a nástrojů používaných při vyšetřování i ošetřování operační techniky registruje SÚKL [1, 2, 3].

Dezinfekcí se rozumí soubor opatření sloužících ke zneškodňování mikroorganismů pomocí fyzikálních, chemických nebo kombinovaných postupů, které mají za cíl přerušit cestu nákazy od zdroje k vnímavému jedinci. Diplomová práce se bude zabývat především fyzikální dezinfekcí. Při dezinfekci je nutné brát v úvahu účinnost zvoleného postupu a spektrum účinnosti používaného přípravku, délku expozice, tedy čas potřebný k zajištění dezinfekční účinnosti, dále prostředí a jeho možnosti ovlivnění dezinfekce, vliv na dezinfikovaný materiál s ohledem na možnost jeho poškození, způsob použití (otření, ponoření, postřik a jiné) či finanční nároky na provedení dezinfekce. Ve vztahu ke konkrétní epidemiologické situaci se rozlišuje dezinfekce ochranná a dezinfekce v ohnisku nákazy (průběžná a závěrečná) [1, 2, 4].

Ochranná dezinfekce se provádí všude tam, kde lze předpokládat přítomnost původců nákazy, tedy i v době, kdy se infekční onemocnění nevyskytuje. Je součástí komplexních hygienických opatření v různých zdravotnických zařízeních, lázeňských zařízeních, ale i hotelech, rekreačních střediscích či v zařízeních pro výrobu, zpracování, uskladnění, distribuci a prodej potravin. Jejím účelem je zamezit vzniku infekce [2, 3].

Ohnisková dezinfekce je zaměřena na likvidaci choroboplodných zárodků v ohnisku nákazy s cílem přerušit další šíření infekce. Provádí se podle časového sledu jako průběžná ohnisková dezinfekce a závěrečná ohnisková dezinfekce. Průběžná ohnisková dezinfekce je indikována po dobu trvání zdroje nákazy a týká se dezinfekce výmětů nemocného a všech předmětů, s nimiž nemocný přišel nebo mohl přijít do styku. Provádí se průběžně a jejím cílem je chránit další pacienty. Závěrečná ohnisková dezinfekce je odborným jednorázovým

zásahem, při kterém je prostředí, v němž se nemocný pohyboval, zbaveno patogenních zárodků. Je mnohostrannější a rozsáhlejší, protože musí vést k definitivní dekontaminaci prostředí [2, 3, 5].

1.1 Fyzikální metody dezinfekce

Fyzikální metody dezinfekce jsou ekologicky výhodné, protože mikroorganismy jsou usmrcovány fyzikálními postupy za využití suchého nebo vlhkého tepla a záření. Tyto metody jsou nejvíce rozšířené a práce se zabývá především dezinfekcí a sterilizací pomocí syté páry. Do této skupiny dále patří [1,6]:

- a) var ve vodě za atmosférického tlaku po dobu 30 minut,
- b) var v přetlakových nádobách po dobu 20 minut,
- c) proudící horký vzduch o teplotě 110 °C po dobu 30 minut,
- d) dezinfekce v mycích, pracích a parních přístrojích při teplotě vyšší než 90 °C,
- e) pasterizace - zahřátí na 60-65 °C po dobu 30 minut nebo 134 °C na několik sekund a poté rychlé zchlazení,
- f) různé formy UV záření – vlnová délka germicidních zářivek je 253,7 – 264 nm,
- g) tepelné metody – spalování, slunění,
- h) filtrace, žihání apod.

1.2 Fyzikálně - chemická dezinfekce

V některých případech je možné sloučit fyzikální a chemické způsoby dohromady. Mikroorganismy jsou současně ničeny působením vysoké teploty a chemické látky, přičemž výsledný účinek je lepší. Do této skupiny patří [1,2]:

- a) Paroformaldehydová dezinfekční komora – vodní pára o teplotě 45 – 75 °C a páry formaldehydu
- b) Prací, mycí a čistící stroje – teplota do 60 °C s přísadou chemických přípravků

1.3 Chemická dezinfekce

Chemické metody dezinfekce v praxi převažují nad metodami fyzikálními. Při chemické dezinfekci jsou mikroorganismy ničeny roztoky nebo aerosolem chemických dezinfekčních prostředků stanovené koncentrace a expozice, které mají cidní (usmrcení) nebo statický (omezení množení) účinek. Dezinfekční přípravky mají široké nebo úzké spektrum dezinfekční účinnosti a jsou určeny pro profesionální použití nebo pro malospotřebitele. Jednotlivé prostředky se mezi sebou liší i různým stupněm účinnosti na jednotlivé skupiny mikrobu, na některé z nich nemusejí účinkovat vůbec. Dezinfekční přípravky jsou založeny na bázi chemických látek typu [1, 6]:

- hydroxidy a jiné alkálie
- kyseliny a některé jejich soli – anorganické, organické, estery kyselin, peroxikyseliny
- oxidační prostředky – ozon, peroxid vodíku, kovové peroxidy aj.
- halogeny – chlor, chlordioxid, chlornany, brom, fluor
- sloučeniny kovů, síry, dusíku a fosforu, bromu
- alkoholy a étery – metylalkohol, etylalkohol, propylalkohol aj.
- aldehydy – acetal, formaldehyd aj.
- cyklické sloučeniny – fenol, alkylfenol, kresoly aj.
- povrchově aktivní látky – tenzidy
- kombinované

1.4 Vyšší stupeň dezinfekce

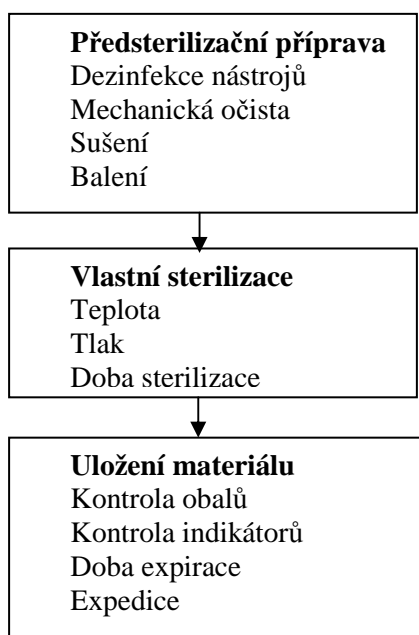
Vyšším stupněm dezinfekce jsou postupy, které zaručují usmrcení bakterií, virů, mikroskopických hub a některých bakteriálních spór, nezaručují však usmrcení ostatních mikroorganismů (např. vysoce rezistentních spór) a vývojová stádia zdravotně významných červů a jejich vajíček. Používá se pro předměty z termolabilního materiálu, jako jsou přístroje s optikou a jiné zdravotnické pomůcky, které nelze sterilizovat fyzikálními nebo chemickými metodami. Před procesem se předměty musí očistit a osušit, pokud byly kontaminovány biologickým materiálem, musí se před očistu zařadit ještě dezinfekce roztokem s virucidním účinkem. Očištěné a osušené předměty se dále zcela ponoří do roztoku určeného k vyššímu stupni dezinfekce. Je nutné, aby byly ponořeny a roztokem naplněny i všechny duté části přístroje [1, 3].

2 STERILIZACE

Nejdokonalejšími metodami ničení mikrobů jsou metody sterilizace. Sterilizace je proces, který zabezpečuje usmrcení všech životaschopných mikroorganismů a vede k nezvratné inaktivaci virů. Cílem je zajistit, aby se úroveň bezpečné sterility rovnala 10^{-6} , která zaručuje, že pravděpodobnost výskytu nesterilních předmětů po správně proběhlé sterilizaci je menší než jeden nesterilní předmět z jednoho milionu sterilizovaných. Dokonalá sterilita je zajištěna sterilizací ve sterilizačních přístrojích. Výsledek sterilizace je závislý na výchozím počtu mikroorganismů a jejich odolnosti vůči sterilizačním činidlům, na předmětu, který je sterilizován, a také na době působení sterilizačních činidel [1, 3].

Nedílnou součástí sterilizace je předsterilizační příprava nástrojů a předmětů, která významně ovlivňuje výsledný efekt. Při používání jednorázových pomůcek jednotlivé fáze přípravy odpadají, ale dochází k problému s nákladnou likvidací těchto pomůcek. Z tohoto důvodu se začíná dávat přednost materiálům, které snášejí vysokou teplotu při parní sterilizaci, a přístrojům a pomůckám vyrobených z takových materiálů. Parní sterilizace je navíc jednou z nejdokonalejších sterilizačních metod [1, 3].

Sterilizace se chápe jako komplexní proces, který je složený ze tří fází, z nichž každá má určitý význam a zanedbání jakékoli této fáze vede k selhání celého procesu (viz.obr. 1) [3].



Obr. 1: Sterilizační proces [1]

V následující tabulce jsou vypsané základní druhy sterilizace a jejich parametry nezbytné pro správnou účinnost.

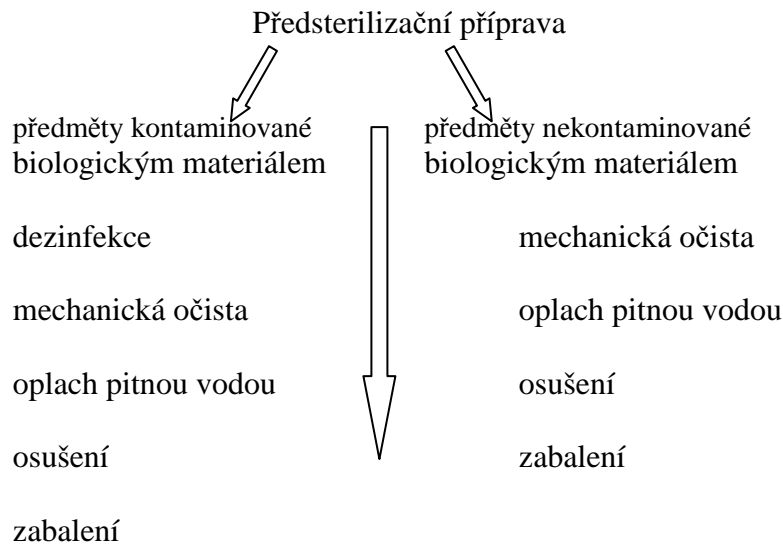
Tab. 1: Parametry sterilizace v přístrojích [3]

Teplota [°C]	Tlak		Sterilizační expozice [min]
	kPa	bar	
Parní sterilizace			
120	200	2	20
134	300	3	10
134	300	3	4*
Horkovzdušná sterilizace			
160			60
170			30
180 a více			20
Formaldehydová sterilizace			
60	10 až 20	0,1 až 0,2	25
80	10 až 20	0,1 až 0,2	15
Etylenoxidová sterilizace			
55	650	6,5	180
Plazmová sterilizace			
50	0,04	0,0004	10

*) platí pouze pro sterilizace některých nebalených předmětů.

2.1 Předsterilizační příprava

Důkladná a svědomitě provedená mechanická očista je základní a nezbytná součást sterilizace. Na její kvalitě totiž závisí úspěšnost celého procesu. Výhodné po ekonomické stránce i z epidemiologického hlediska je spojení dezinfekce a čištění do jednoho pracovního úkonu. Fáze, které tvoří předsterilizační přípravu jsou na obr. 2.



Obr. 2: Předsterilizační příprava [3]

Mezi metody čištění a dezinfekce předmětů určených ke sterilizaci patří strojový postup mytí, kdy čištění probíhá v mycích a dezinfekčních automatech pomocí kyselých, alkalických nebo enzymatických prostředků. Další metodou je čištění ultrazvukem v ultrazvukových čističkách, které pracují na principu kavitace. Nástroje, které obsahují klouby nebo zámky (kleště, nůžky, vrtačky, klouby rigidních endoskopů, atd.) musí být po dekontaminaci ošetřené, aby se zabránilo vzniku koroze. Ošetření se provádí buď ručně, nebo se přípravek ve formě emulze aplikuje strojově v myčce jako poslední krok čištění [3].

2.2 *Metody fyzikální sterilizace*

Mezi metody fyzikální sterilizace patří působení vlhkého tepla, proudícího horkého vzduchu, plazmy a gama záření [1].

2.2.1 **Sterilizace vlhkým teplem v parních sterilizátorech**

Parní sterilizace je sterilizace nasycenou vodní párou pod tlakem v parních sterilizátorech, kde vlastní sterilizační komora musí být dokonale odvzdušněna, aby pára mohla dobře pronikat do materiálů. Sterilizační komora musí být také dokonale utěsněna, jinak by docházelo k přísávání venkovního vzduchu při podtlaku. Doba expozice sterilizace se počítá až od okamžiku, kdy byla v komoře dosažena požadovaná teplota a tlak, do zastavení přívodu páry do přístroje (viz, tab. 2) [1, 6].

Tab. 2: Doba expozice při daných parametrech [6]

Teplota [°C]	Tlak [kPa]	Tlak [bar]	Přetlak [kPa]	Přetlak [bar]	Expozice [min]
115	170	1,7	70	0,7	35
121	200	2,0	100	1,0	20
125	240	2,4	140	1,4	15
134	300	3,0	200	2,0	10

Účinná sterilizace probíhá pouze se sytou vodní párou, která se vyrábí z vody s definovanými limity obsahu chemických látek. Přehřátá nebo mokrá pára je schopná předat podstatně menší množství tepelné energie [1].

Vyráběné parní sterilizátory lze rozlišit na tři skupiny. První jsou stolní maloobjemové sterilizátory s vývinem páry přímo v komoře a bez vývěvy k odsávání vzduchu před sterilizací. Druhou skupinou jsou již větší sterilizátory s vývěvou, manometrem nebo teploměrem s časovým ovladačem. Poslední skupinou jsou velkoobjemové přístroje na operačních sálech, které musí mít vývěvu, plášť, zapisovací zařízení o průběhu tlaku, teploty, automatické řazení cyklu a tiskárnu, která zaznamenává dosažené hodnoty parametrů sterilizace [6].

Parní sterilizace je vhodná pro předměty z kovu, skla, keramiky, porcelánu, gumy, textilu, papíru a dalších materiálů odolných vůči sterilizačním parametrům [6].

2.2.2 Sterilizace proudícím horkým vzduchem

Sterilizace horkým suchým vzduchem se provádí v horkovzdušných sterilizátorech při stanovených parametrech teploty vzduchu a doby sterilizace (viz. Tab. 2). Z důvodu zajištění cirkulace vzduchu a současně stejnoměrného rozložení teploty, jsou přístroje vybaveny ventilátorem. Přístroje o objemu vnitřního prostoru menším než 5 l nucenou cirkulaci mít nemusí, je ovšem nutné tomu přizpůsobit sterilizační dobu a zdvojnásobit ji. Přístroj je možné otevřít až poté, co teplota klesne alespoň na 60 °C. Sterilizací touto metodou je dosahováno přenosem tepelné energie vzduchem na principu vodivosti a sálavosti [2,4,6].

Metoda je vhodná pro předměty z kovu, skla, keramiky, porcelánu či masti v tenké vrstvě. Při použití teploty do 160 °C lze pouze sušit sklo, nikoli ho sterilizovat [6].

Tab. 3: Doba expozice při daných teplotách vzduchu [2]

Teplota [°C]	Expozice [min]
160	60
170	30
180	20

Hodnoty v tab. 3. platí pro přístroje s nucenou cirkulací vzduchu.

2.2.3 Radiační sterilizace

Radiační sterilizace se provádí ve sterilizačních ozařovnách, kde je sterilizační účinek vyvolán gama zářením, produkovaným izotopem ^{60}Co nebo ^{137}Cs v dávce maximálně 25 kGy. Radiační sterilizace zajišťuje usmrcení všech forem mikroorganismů a navíc nezávisí na teplotě, tlaku, vlhkosti, tepelné vodivosti a dalších faktorech, které podstatně ovlivňují jiné sterilizační metody [1,4,6].

Tato sterilizace je vhodná pro lékařské pomůcky a předměty pro jedno použití. Protože některé typy virů tuto dávku záření mohou přežít, je povoleno sterilizovat pouze nový materiál přímo z výroby či nepoužitý materiál s prošlou expirační dobou [2].

2.2.4 Sterilizace plazmou

Poměrně novou technologií je sterilizace plazmou, kdy sterilizační účinek je vyvolán plazmou, vznikající ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli, které ve vysokém vakuu působí na páry peroxidu vodíku či jiné chemické látky. Parametry udávají teplotu 50 °C při tlaku 0,04 kPa a dobu sterilizace 10 minut. Tato metoda je vhodná pro kovové lékařské nástroje či pomůcky z plastů a optiky. Protože jde o suchý proces sterilizace, nedochází ke korozivním účinkům [1,2,4].

2.3 Chemická sterilizace

Chemická sterilizace je určena pro termolabilní materiály, které nelze sterilizovat fyzikálními způsoby. Médium pro sterilizaci jsou plyny předepsaného složení a koncentrace. Sterilizace probíhá v přístrojích za stanoveného přetlaku nebo podtlaku a při teplotě do 80 °C. Zabalený sterilizovaný materiál smí vyplňovat maximálně ¾ objemu komory, nesmí se dotýkat stěn a ukládá se svisle z důvodu usnadnění přístupu sterilizujícího plynu k předmětům. Po sterilizaci je nutné umístit materiál do aerátorů nebo musí být skladován v aseptickém prostoru z důvodu odvětrání. Doba odvětrávání je závislá na délce a kvalitě proplachovací fáze po skončení sterilizace, druhu materiálu či teplotě [2,3,6].

2.3.1 Sterilizace formaldehydem

Metoda je založená na působení plynné směsi formaldehydu s vodní párou při teplotě do 80 °C. Provádí se ve speciálních přístrojích při podtlaku až 90 *kPa* po dobu 15 až 25 minut. Formaldehyd reaguje v bílkovinách a nukleových kyselinách se skupinami – NH₂ a – OH, čímž inaktivuje enzymy v mikrobiálních buňkách. Z důvodu možného karcinogenního účinku jsou přístroje pro sterilizaci instalovány do samostatných místností s větráním [1,2,3].

Formaldehydová sterilizace je vhodná pro termolabilní materiály, jemné kovové nástroje či optické přístroje [6].

2.3.2 Sterilizace etylenoxidem

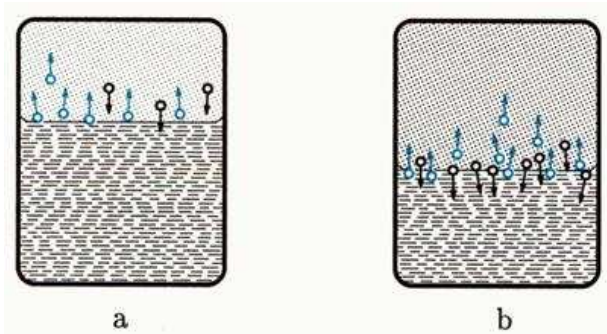
Sterilizace je založena na účincích etylenoxidu působícího v přístrojích. Etylenoxid je bezbarvý, toxický a hořlavý plyn. K potlačení výbušnosti a hořlavosti se používá ve směsi s oxidem uhličitým, čímž se vytvoří protoplazmatický jed, podmíněně mutagenní, karcinogenní a teratogenní. Sterilizované předměty je proto nutné před použitím řádně odvětrat. Sterilizační cyklus probíhá při teplotě 37 °C a 55 °C, při vlhkosti 70% až 90%, podtlaku 50 *kPa* a tlaku 450 *kPa* po dobu 3 hodin [1,2,3,6].

Metoda je opět vhodná pro termolabilní materiály, především optické přístroje, ostré nástroje či porézní materiál jako molitan, papír nebo peří [6].

3 SYTÁ PÁRA

Sytá či nasycená pára vzniká v uzavřeném prostoru při stoupající teplotě úměrně stoupajícímu tlaku. Je v rovnovážném stavu s vodní fází a je s ní v neustálém styku [5].

V počáteční fázi vypařování kapaliny v uzavřené nádobě je počet molekul, které opouštějí kapalinu větší než počet molekul, které se vracejí zpět do kapaliny (viz obr. 3a). Objem kapaliny se zmenšuje a současně roste hustota a tlak získané páry. Po určité době se počty vracejících a opouštějících molekul vyrovnají (viz obr. 3b). Od tohoto okamžiku se objemy páry a kapaliny nemění a tlak a hustota celé soustavy zůstává konstantní. Pokud nedochází ke změnám vnějších podmínek, tak pára i kapalina jsou v rovnovážném stavu. Takto vytvořená pára se nazývá pára sytá [7,8].

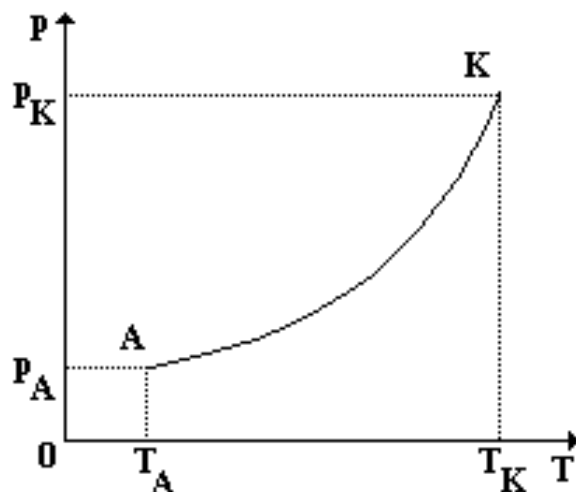


Obr. 3: Vznik syté páry [7]

3.1 Fyzikální parametry syté páry

Při stálé teplotě tlak syté páry nezávisí na objemu páry. Pokud se objem prostoru nad kapalinou izotermicky zvětší, část kapaliny se vypaří a opět se vytvoří rovnovážný vztah. Z tohoto důvodu pro sytou páru neplatí stavová rovnice pro ideální plyn a je zřejmé, že se od něj sytá pára podstatně liší [7,8].

Další důležitou vlastností je růst tlaku syté páry s rostoucí teplotou kapaliny. Pokud dojde ke zvýšení teploty kapaliny a její syté páry, zvětší se vnitřní energie soustavy. Vypaří se další část kapaliny, což má za následek růst hustoty a střední rychlosti molekul syté páry. Tyto změny způsobí vzrůst jejího tlaku. Závislost tlaku syté páry na teplotě lze vidět na grafu 1. Tato závislost se nazývá křivka syté páry, kde každý bod odpovídá jednomu stavu, kdy soustava syté páry a kapaliny jsou v rovnovážném stavu. Závislost je určena teplotou T a tlakem p , není lineární a je pro různé látky různá [7,8].



Graf 1: Křivka syté páry [7]

Počátečnímu bodu A odpovídá nejmenší možná teplota a tlak, při kterých je možná existence syté páry a kapaliny v rovnovážném stavu. Teplota T_A je teplota tuhnutí při tlaku p_A . Při zvyšování teploty soustavy roste hustota páry, zatímco hustota kapaliny klesá, ale rozhraní mezi sytou párou a kapalinou je zcela zřetelné. Ovšem při stálém zvyšování teploty dochází ke kritické teplotě T_K , kdy je hustota syté páry rovna hustotě kapaliny, mezi kapalinou a její sytou párou mizí rozhraní a látka se stává stejnorodou. Při teplotách vyšších než je teplota kritická, látka v kapalném stavu neexistuje. Křivka syté páry tedy končí v bodě K , nazývaném kritický bod, popsán teplotou T_K , tlakem p_K a hustotou ρ_K . Pro vodu jsou tyto hodnoty rovny $647,3 \text{ K}$ ($374,15 \text{ }^\circ\text{C}$), $22,13 \text{ MPa}$ a $315 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [7,8].

Z křivky lze také získat teplotu varu kapaliny při určitém tlaku. Pokud kapalina vře, vytvářejí se uvnitř bubliny syté páry, které zvětšují svůj objem a vystupují k volnému povrchu kapaliny. Tento děj nastane, pokud je tlak syté páry uvnitř bublin roven tlaku vnějšímu. V případě zvýšení vnějšího tlaku dochází k varu až při zvýšení tlaku syté páry [7,8].

3.2 Parametry syté páry pro sterilizační komoru

Užívání syté páry při sterilizaci vede k nejlepším a nejrychlejším výsledkům. Je ovšem nutné dodržet určité parametry, které k těmto výsledkům vedou. Mezi základní parametry patří teplotní charakteristiky. Pásmo sterilizačních teplot musí mít určenou dolní hranici sterilizační teploty a horní hranici $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Během sterilizační expozice nesmí teplota měřená nad standardním zkušebním balíkem překročit teplotu měřenou v referenčním bodě sterilizační komory o více než $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ během prvních 60 s a o více než $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ během zbývající doby. Během doby udržování teploty, teplota měřená v referenčním bodě sterilizační komory, jakákoliv teplota měřená uvnitř balíku a teplota syté páry musí být v pásmu sterilizačních teplot a navzájem se nesmí lišit o více než $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Doba udržování teploty nesmí být kratší než 15 min , 10 min a 3 min pro příslušné sterilizační teploty $121\text{ }^{\circ}\text{C}$, $126\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $134\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota syté páry musí být vypočítaná dle rovnice 1 [9]:

$$T = A + B(\ln P + C)^{-1}, \quad (1)$$

kde T je teplota syté páry v Kelvinech, P je časově zprůměrovaný změřený tlak v MPa , A je rovno $42,6776\text{ K}$, B je rovno $-3892,7\text{ K}$ a C je rovno $-9,48654$.

Mezi další parametry vedoucí k nejlepší možné sterilizaci sytou párou patří její suchost, obsah nečistot či její možné přehřátí. Sytá vodní pára musí obsahovat nejvýše $3,5\%$ nekondenzovatelných plynů a její suchost nesmí být nižší než $0,95$ pro vsázku kovových předmětů a $0,90$ pro ostatní typy vsázek. Když přiváděná pára expanduje na atmosférický tlak, přehřátí páry nesmí převýšit $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pára pro sterilizační komoru nesmí obsahovat nečistoty v takovém množství, aby došlo k narušení sterilizačního procesu či k poškození nebo kontaminace sterilizátoru nebo vsázky (viz tab. 4) [9].

Tab. 4: Znečištění v kondenzátu z vyvíječe páry do sterilizátoru [9]

Rozhodující činitel	Kondenzát
Křemičitany (SiO ₂)	≤0,1 mg/l
Železo	≤0,1 mg/l
Kadmium	≤0,005 mg/l
Olovo	≤0,05 mg/l
Zbytky těžkých kovů, kromě železa, kadmia a olova	≤0,1 mg/l
Chloridy	≤0,1 mg/l
Fosforečnany (P ₂ O ₅)	≤0,1 mg/l
Vodivost (při 25 °C)	≤3 μS/cm
Hodnota pH	5 až 7
Vzhled	bezbarvý, čirý, bez usazenin
Tvrdość	≤0,02 mmol/l

4 ZKOUŠKY KVALITY PÁRY

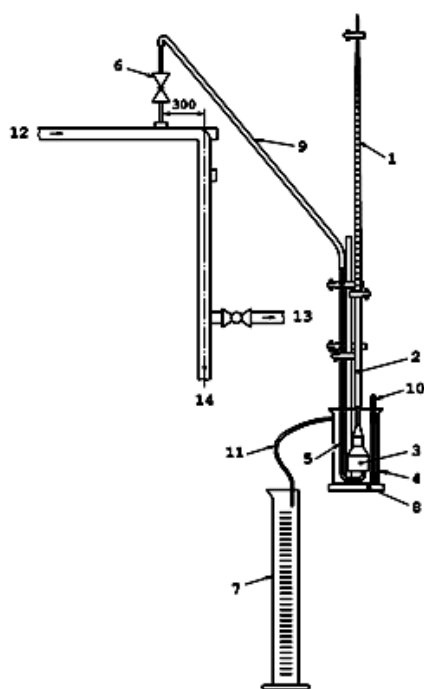
4.1 Nekondenzovatelné plyny

Zkouška páry na obsah nekondenzovatelných plynů se používá k prokázání, že podíl nekondenzovatelných plynů ve vodní nasycené páře nezabraňuje dosažení sterilizačních podmínek v libovolné části sterilizačního řetězce [9].

Nekondenzovatelný plyn je vzduch či jiný plyn, který nekondenzuje v podmínkách parní sterilizace. Jedná se tedy o plyn rozpuštěný již v napájecí vodě vyvíječe páry a odtud se dostanou prakticky beze změny do vytvořené páry a dále do komory sterilizátoru. Jejich vyšší obsah je nevhodný z důvodu blokace přístupu páry ke sterilizovanému materiálu. Pro snížení jejich obsahu se používají úpravy napájecí vody, např. termické odplynění či další chemické a termodynamické úpravy [9].

4.1.1 Postup zkoušky

Základem je měřící a vyhodnocovací aparatura (viz obr. 4), která má přesně dané parametry, detailně popsané v příslušné normě [9].



Legenda

1 byreta 50 ml	6 jehlový ventil	11 přepadová trubička
2 pryžová hadička	7 odměrný válec 250 ml	12 od zdroje páry
3 sběrný zvon/nálevka	8 stojan byrety	13 do sterilizátoru
4 nádoba 2 000 ml	9 pryžová hadička	14 k odváděči kondenzátu
5 vzorkovací trubice	10 systém měření teploty	

Obr. 4: Schéma aparatury pro měření podílu nekondenzovatelných plynů [9]

Nejdříve je nutné otevřít ventil chladící vody a uzavřít ventil páry. Do nádoby začne ze zásobníku proudit, nejlépe pomocí čerpadla, chladící voda, která musí být dokonale odplyněna. Chladící vodou se naplní nádoba tak, aby začala vytékat přepadem. Dále se vodou naplní i byreta, která se následně připojí ke sběrnému dvoru, přičemž se do byrety nesmí dostat během této operace vzduch. Po předchozím vyjmutí vzorkovací trubice z nádoby je nutné otevřít jehlový ventil a vytěsnit z něj veškerý vzduch. Pod přepad nádoby se umístí odměrný válec a výstupní rameno vzorkovací trubice se spojí se sběrným zvonem. Následně je možné otevřít jehlový ventil parního přívodu tak, aby se dosáhlo průtoku kondenzátu s hodnotou 10 až 20 ml/min při teplotě mezi 50 a 95 °C, čímž se nekondenzovatelné plyny shromažďují v byretě [9].

Pokud je odměrný válec prázdný a nádoba naplněna vodou, je možné spustit sterilizační proces opětovným otevřením jehlového ventilu. Vzorek páry ve sběrném zvonu kondenzuje, plyny stoupají k vrcholu byrety. Přebytek vody vznikající vlivem kondenzátu a vody vytlačované nekondenzovatelnými plyny se nechá přetékat do odměrného válce. Zkouška musí skončit ve chvíli, kdy voda v nádobě dosáhne teploty 75 °C [9].

Během testu, který je nutné provádět nejlépe 10x, čímž se vyloučí proměnlivost nekondenzovatelných plynů, se zjistí objem vody vytlačený z byrety a objem nahromaděný v odměrném válci. Jejich podílem lze dostat koncentraci nekondenzovatelných plynů [9].

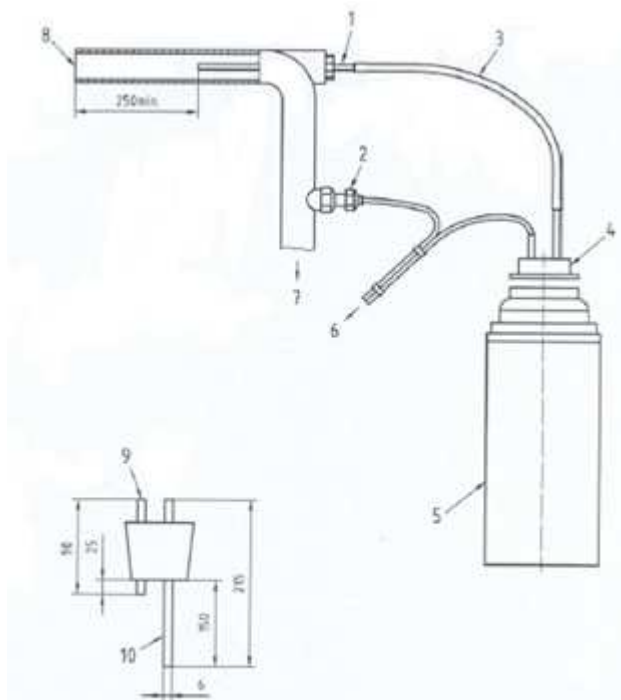
4.2 Suchost páry

Parní sterilizace vyžaduje kontinuální napájení sytou párou. Nadměrně mokrá pára či suchá pára mají negativní účinky na průběh sterilizace. Přesná měření vlhkosti v páře jsou obtížná a tradiční metody, které vyžadují konstantní proudění páry, nejsou pro sterilizátory vhodné. Proto zkouška na suchost páry je pouze způsob, kterým lze prokázat, že pára má přijatelnou kvalitu [9].

Přesný postup zkoušky je opět popsán v příslušné normě [9].

4.3 Přehřátí páry

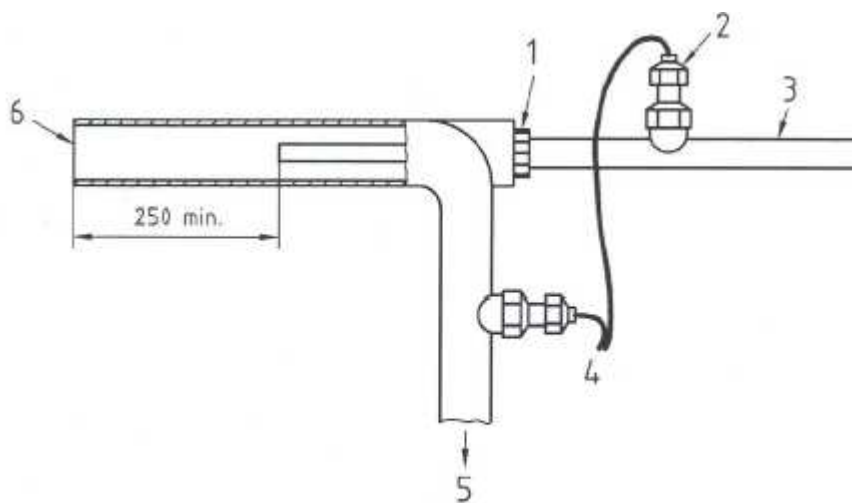
Tato metoda používá maloobjemový zkušební vzorek, který se kontinuálně odebírá ze středu parního napájecího potrubí. Stupeň přehřátí, který se touto metodou určí, se nedá považovat za skutečnou suchost páry, protože kondenzát tekoucí po vnitřním povrchu se nesbírá. Ve sterilizačním systému jsou však zařízení, která slouží k odvádění volného kondenzátu. Proto je stupeň přehřátí reprezentativní pouze pro stav páry, který se ustaví v komoře v době expozice [9].



Legenda

- | | |
|--|--|
| 1 Pitotova trubice | 6 k teploměru |
| 2 šroubení s těsněním pro teplotní čidlo | 7 ke sterilizátoru |
| 3 pryžová hadička | 8 od zdroje páry |
| 4 sestava pryžové zátky | 9 trubička pro termočlánek a odvětrání |
| 5 jednolitrová Dewarova nádoba | 10 vzorkovací trubice |

Obr. 5: Schéma aparatury pro měření hodnoty suchosti páry [9]



Legenda

- | | |
|--|---------------------------|
| 1 Pitotova trubice | 4 k teploměru |
| 2 šroubení s těsněním pro teplotní čidlo | 5 ke sterilizátoru |
| 3 expanzní trubka | 6 od zdroje napájecí páry |

Obr. 6: Schéma aparatury pro měření přehřátí [9]

5 SENZORY PRO MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN

5.1 Měření teploty

Monitorování teploty v systému sterilizační aparatury patří k základní veličině charakterizující jakost páry. Cílem je eliminace turbulentních jevů a zpětnovazební řízení vyvíječe páry [10,11].

5.1.1 Kovové odporové senzory teploty

Principem kovových odporových senzorů teploty je teplotní závislost odporu kovu. Pod pojmem kov si lze představit soubor kladných iontů, které jsou umístěné v mřížkových bodech krystalové mřížky, a elektronového plynu, který je tvořen souborem chaoticky se pohybujících elektronů [10,11].

Pro malé rozsahy teplot (od 0 °C do 100 °C) je závislost odporu na teplotě téměř lineární, ovšem pro větší rozsahy již není možné lineární vztahy použít [10,11].

5.1.2 Polovodičové odporové senzory

Mezi základní polovodičové odporové senzory patří termistory, což jsou prvky, jejichž teplotní závislost je asi desetkrát větší než odporové teploměry, avšak výrazně nelineární. I u těchto senzorů se vyskytují určité problémy. První souvisí s teplotní roztažností materiálů, kdy senzory na bázi platinových a perličkových termistorů včetně polovodičových tenkých vrstev reagují na teplotní šok změnou své geometrie a dochází tedy k tenzometrickému jevu. Odpor termistorů není jen funkcí teploty, ale také dynamického teplotního vývoje (viz rovnice 2) [10,11].

$$R = f\left(\frac{dT}{dt}\right), \quad (2)$$

kde R je odpor, T je teplota a t je čas.

Dalším problémem je schopnost reagovat na rychlé změny teploty, kdy časová konstanta měření je do jisté míry určena vlastní tepelnou kapacitou. Tento problém je možné eliminovat pomocí přístroje, který detekuje vyzařované infračervené záření snímané optickým vláknem. Tento postup je však velmi nákladný [10,11].

Výhodnější je použití platinových termistorů o průměru 0,25 μm a délce přibližně 3 cm , jejichž časová konstanta je 10 μs v plynném prostředí. Komerčně jsou dostupné flexibilní i hermeticky uzavřené senzory s časovou konstantou menší než 200 ms [10,11].

5.1.3 Termoelektrické články

Termoelektrické články jsou založeny na Seebeckově jevu, tj. převodu tepelné energie na elektrickou. Seebeckův jev vzniká tím, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii, a proto prostupují do chladnějších míst ve větším množství než nositelé z chladnějších míst do teplejších. Na rozhraní dvou vodivých nebo i polovodivých materiálů vzniká napětí, které je v malém rozsahu teplot úměrné rozdílu teplot mezi jednotlivými spoji různých materiálů (teplý a studený konec termočlánku) [10,11].

Přestože jsou termočlánky jednoduché, snadno zhotovitelné, mají rychlou odezvu a nepotřebují napájecí zdroj, jejich nevýhodou je podstatně nižší přesnost a nutná kompenzace termoelektrického napětí studeného konce. Proto jsou pro měření teploty ve sterilizátorech vhodnější již zmíněné odporové senzory, především termistory [10,11].

5.2 Měření tlaku

5.2.1 Odporové tenzometry

Odporový tenzometr je senzor, u kterého se využívá piezorezistivní jev. Při mechanickém namáhání v oblasti pružných deformací, zpravidla vyvolané tlakem a tahem, dochází u kovových vodičů či polovodičů ke změnám geometrických rozměrů a krystalografické orientace, které vedou ke změně odporu [12,13].

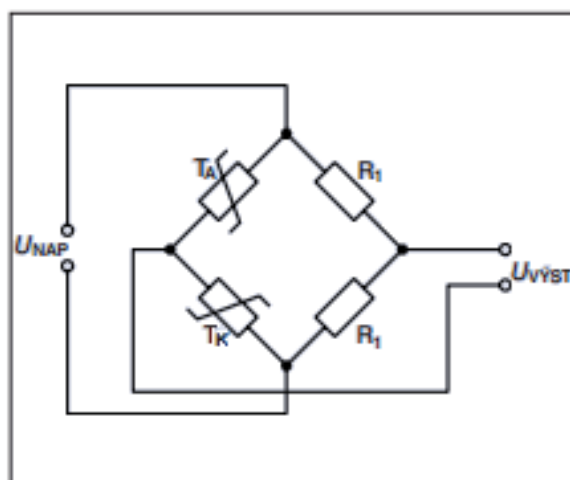
Princip měření pomocí odporového tenzometru je poměrně jednoduchý. Tenká měřicí mřížka tenzometru o známém elektrickém odporu se co nejlépe mechanicky spojí s povrchem měřeného objektu. Pokud na měřený objekt působí zatížení, zdeformuje ho úměrně svojí velikosti a s ním zdeformuje i mřížku, která úměrně změní svůj elektrický odpor [12,13].

Odporové tenzometry měří statické a dynamické deformace o frekvencích do stovek kHz . Největší měřitelná deformace je okolo 20% a měřit lze v poměrně širokém rozmezí teplot, staticky od $-200\text{ }^{\circ}C$ do $500\text{ }^{\circ}C$, dynamicky od $-200\text{ }^{\circ}C$ do $1000\text{ }^{\circ}C$. Závislost elektrického odporu na deformaci je dán vztahem [12]

$$\frac{\Delta R}{R} = C_1 \frac{\Delta l}{l} + C_2 \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 = C_1 \varepsilon + C_2 \varepsilon^2, \quad (2)$$

kde ΔR je změna odporu tenzometru způsobená deformací ε (Ω), R odpor nedeformovaného tenzometru (Ω), Δl změna délky tenzometru v důsledku deformace objektu (m), l délka tenzometru před deformací (m), C_1 , C_2 konstanty deformační rovnice, ε poměrná deformace (m/m).

Odporové tenzometry patří mezi snímače s velkou přesností a velmi dobrými dynamickými vlastnostmi. Ovšem i na ně působí celá řada parazitních vlivů, které mohou mít negativní vliv na přesnost měření. Příkladem je vliv velikosti procházejícího proudu či teploty. Vliv teploty lze však poměrně lehce kompenzovat pomocí můstkového zapojení tenzometrů (viz obr. 7) [12,13].



Obr. 7: Můstkové zapojení tenzometrů [12]

5.2.2 Kapalinové snímače tlaku

Kapalinové tlakoměry jsou založeny na rovnováze měřeného tlaku a tlakových účinků sloupce kapaliny. Svoji konstrukcí a principem jsou vhodné pro měření tlaků a diferenčních tlaků. Protože je hustota kapaliny funkcí teploty, je i údaj hydrostatického tlakoměru závislý na teplotě. Jako kapalinové náplně se používá velké množství látek, především voda, etylalkohol či petrolej [10, 13, 14].

Princip činnosti je založen na účinku hydrostatického tlaku, který vyvozuje sloupec kapaliny dle vzorce [10]

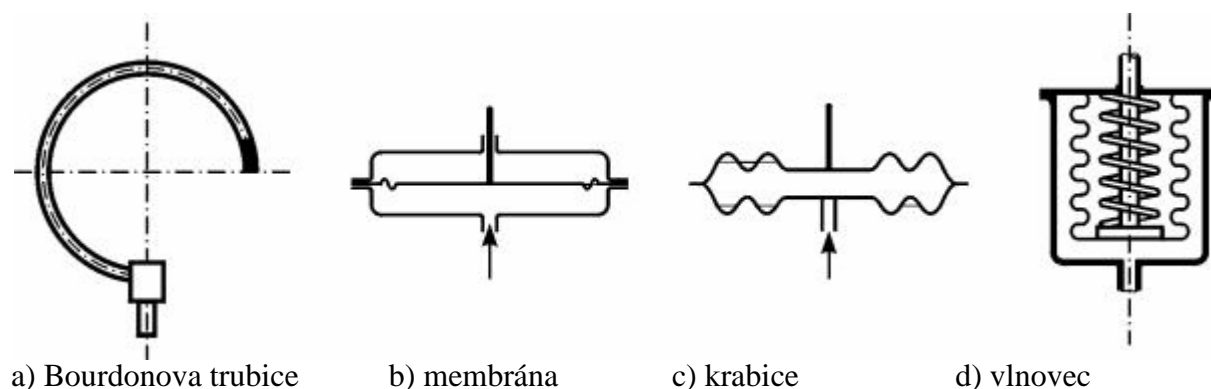
$$p = h\rho g, \quad (3)$$

kde h je výškový rozdíl v obou ramenech manometru, ρ je hustota manometrické kapaliny při teplotě měření a g je lokální gravitační zrychlení.

Hydrostatické tlakoměry jsou poměrně jednoduché, spolehlivé a přesné, jejich nevýhodou je ovšem fakt, že neposkytují signál vhodný pro dálkový přenos a pro další zpracování v řídicích obvodech [10, 13, 14].

5.2.3 Deformační snímače tlaku

Základem deformačních manometrů je pružný element, schopný pružné deformace při zatížení působícím tlakem. Deformační manometry se vzájemně liší konstrukcí a uložením deformačního členu. Deformační prvky se zhotovují z uhlíkových a niklových ocelí, z mosazi, z fosforového a beryliového bronzu a dalších vhodných slitin. Nejčastěji používanými deformačními prvky jsou Bourdonova trubice, membrána, krabice a vlnovec (viz obr. 8) [10, 13, 14].



Obr. 8: Deformační prvky [14]

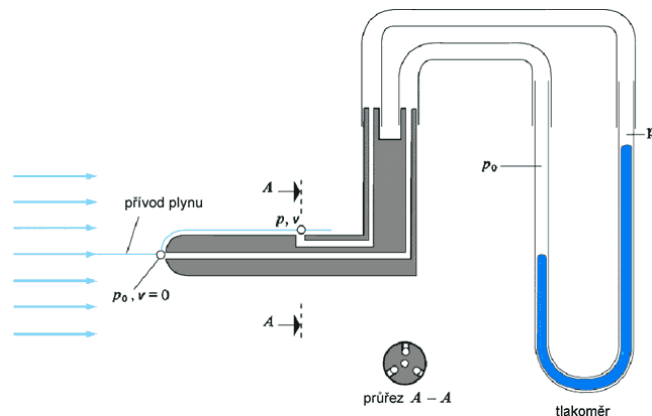
Nejpoužívanějším typem deformačních tlakoměrů jsou trubicové tlakoměry, kde se používá Bourdonova trubice jako deformační element. Trubice je eliptického průřezu a je stočená do kruhového oblouku spirály či šroubovice. Jedním koncem je pevně spojena s tělesem, které je opatřeno závitem pro připojení tlaku, a druhý volný konec je uzavřen a spojen s ukazatelem na stupnici. Při účinku vnitřního přetlaku se trubice snaží změnit průřez na kruhový a v důsledku toho se původní zakřivení mění na kruh o větším poloměru a volný konec trubice vykonává pohyb [13, 14].

Mezi další možné deformační snímače tlaku patří membránový manometr, kde je tlakoměrný element kovová membrána, jejíž pohyb je přenášen na ukazatel. Tento způsob je vhodný pro měření velmi rychle pulsujících tlaků. Další možností jsou krabicové a vlnovcové tlakoměry používaných především při měření barometrického tlaku či v regulační technice (pneumatické vysílače, převodníky, apod.) [13,14].

5.3 Měření průtoku

5.3.1 Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru

Měřidla založena na tomto principu jsou nejvíce vhodnou skupinou pro měření průtoku při sterilizaci. Mezi základní druhy patří rychlostní sondy, které využívají závislosti dynamického tlaku proudícího média na rychlosti proudění. Nejjednodušší je využití Pitotovy trubice, která se umístí v protisměru proudění plynu. Vhodnější možností je ovšem Prandtlova trubice, která snímá tlaky na jednom místě. Válec s kulovitým zakončením proti proudu rozdělí rovinu rovnoběžného proudění a proudění od zdroje. Výsledný tlak je měřen otvorem v přední části sondy. Statický tlak je měřen v bočních částech sondy [13, 15, 16, 18].



Obr. 9: Prandtlova trubice [16]

Mezi další rychlostní sondy patří kulová a válcová sonda či víceotvorová sonda. S tlakovou diferencí pracují i kolenový či plovákový průtokoměr. Dále je možné využít i takové průtokoměry, které využívají pro vytvoření tlakové difference škrtící členy. Mezi ně patří například clony, dýzy či Venturiho trubice [13, 15, 17].

5.3.2 Objemová měřidla

Objemová měření průtoku patří mezi absolutní metody a využívají se pro přesná bilanční měření a jako etalony pro ověřování jiných měřidel průtoku. Jejich principem je odměřování objemu plynu v odměrných prostorách. Objemová měřidla lze rozdělit do dvou skupin. Měřidla s nespojitou funkcí se používají v laboratořích pro kalibrace a ověřování, a jeho měření obsahuje měřící fázi, kdy se vymezený prostor zcela naplní plynem a následně se změří jeho množství. Poté se měření přerušuje a dochází k vyprazdňovací fázi, kdy se měřící prostor vyprázdní a je možné další měření. Další skupinou jsou měřidla s nepřerušovanou činností, která obsahují několik odměrných prostorů, která se postupně plní a vyprazdňují [13, 15, 17].

5.3.3 Rychlostní měřidla

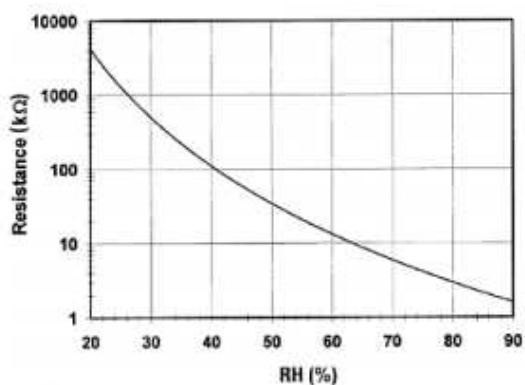
Při měření rychlostního průtoku je výstupní signál snímače typicky přímo úměrný rychlosti proudění (při měření diferenčního tlaku jde o kvadratickou závislost). Tím nedochází k chybě při odmocňování. Do této skupiny patří turbínkové průtokoměry, které obsahují otočný rotor s lopatkami, jenž se vlivem proudění otáčí. Otáčky jsou snímány bezdotykovým indukčním snímačem a výstupy v podobě napěťových impulsů jsou dále zpracovávány [13, 15, 17].

Další možností jsou vírové průtokoměry založené na skutečnosti, že po stranách neaerodynamické překážky dochází ke střídavému vzniku vírů, což je doprovázeno změnou tlaku nebo rychlosti. V neposlední řadě je možné využití i ultrazvukových průtokoměrů, využívajících Dopplerova principu [13, 15, 17].

5.4 Měření vlhkosti

5.4.1 Odporové vlhkoměry

Senzory založené na odporové metodě využívají změnu vodivosti, která u některých hygroskopických materiálů doprovází absorpci vody. Základem je destička opatřená elektrodami, na které je nanesena vrstva roztoku iontové soli. Příkladem je Dunmoreovo provedení využívající polyvinylalkohol s přidavkem chloridu či bromidu lithného a platinových elektrod, které jsou vytvářeny do dvojité spirály na válci z izolantu. Velikost odporu závisí nejen na relativní vlhkosti, ale i na teplotě, a proto je nutné teplotu měřit a soustavu teplotně stabilizovat. Závislost odporu na relativní vlhkosti je přibližně exponenciální (viz obr. 10) [18, 19].



Obr. 10: Typy a charakteristika odporových senzorů vlhkosti [18]

Odporové vlhkoměry jsou citlivé na orosení, a přestože jsou velmi přesné a stabilní, není vhodné je používat při vysokých teplotách [18, 19].

5.4.2 Kapacitní vlhkoměry

Principem kapacitních vlhkoměrů je kondenzátor, jehož dielektrikum tvoří tenká vrstva materiálu sorbujícího vlhkost z prostředí, čímž se mění kapacita čidla. Dielektrikum je film polymeru nebo kovového oxidu. Jedna z elektrod je děrovaná a umožňuje dielektriku kontakt se vzduchem v okolí. Senzory je navíc možné vyrobit s integrovaným zpracováním signálu tak, že výstupem je elektrické napětí místo kapacity [13, 18, 19].

Kapacitní senzory jsou výhodné díky své malé závislosti kapacity na teplotě, rychlou dobou odezvy, odolnosti proti chemikáliím či kondenzaci. Problém nastává s vyšší pracovní teplotou, kdy je nutné pracovat se senzorem samostatně a elektronikou, která je uchovávána v chladnějším prostředí [13, 18, 19].

5.4.3 Vlhkoměry s vyhříváními termistory

Senzory, využívající závislost tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti, obsahují dva stejné termistory. Jeden je hermeticky uzavřen v suchém dusíku, druhý je v okolním prostředí. Tyto termistory jsou zapojené do série, tvořící jednu větev můstku, a průchodem proudu se zahřívají. Dosažená teplota závisí na stupni jejich ochlazování, tedy tepelné vodivosti okolního plynu. Můstek se při umístění do suchého vzduchu vynuluje a přítomnost vodní páry způsobí jeho rozvážení. Tyto senzory jsou vhodné pro svoji chemickou odolnost a schopnost práce při vysokých teplotách, avšak jeho citlivost nedosahuje kvalit senzorů předešlých [18, 19].

5.5 Měření rosného bodu

Podstatou měření rosného bodu je stanovení teploty rosného bodu a určuje se orosením ochlazené plošky. Zrcadlo odráží paprsek z LED diody do snímače, a pokud se zrcadlo orosí, dochází ke snížení světelného toku, který je vyhodnocován elektronickým obvodem. Další možností je odraz světelného paprsku od tmavé plochy, kdy při orosení dochází ke zvýšení množství světla dopadajícího na snímač.

Alternativou k optickému sledování zrcadla je využití krystalu jako rezonátoru, na jehož rezonanční frekvenci má vliv kondenzace vodní páry na jeho povrchu. [13, 18, 19].

5.6 Měření elektrické vodivosti vody

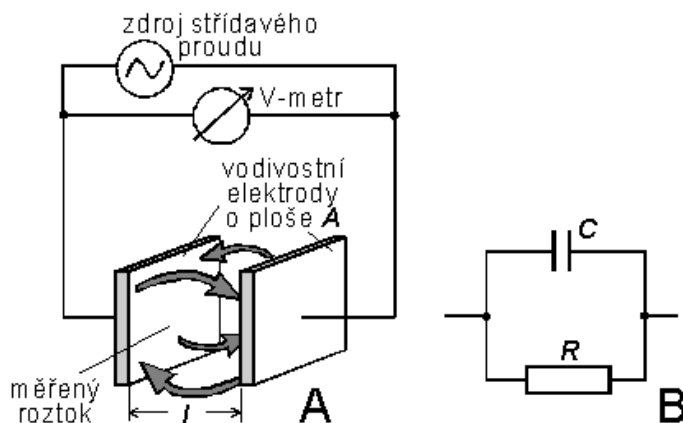
Metoda, která měří elektrickou vodivost vody, sloužící k výrobě syté páry, se nazývá konduktometrie. Tuto vlastnost ovlivňují všechny látky v analyzovaném roztoku a jejich jednotlivé příspěvky nelze odlišit. Proto je také konduktometrie neselektivní analytická metoda, která poskytuje informace pouze o totálním obsahu látek v roztoku. Stanovení výsledku není založeno na elektrochemické reakci, ale na měření vlastností celého objemu roztoku mezi elektrodami [20].

Principem měření elektrické vodivosti je umístění roztoku do vodivostní nádoby mezi dvě elektrody, kterými prochází střídavý elektrický proud. Vodivostní nádobku lze znázornit elektrickým obvodem, kde R je odpor nádoby a C je kapacita mezi elektrodami. Průchod střídavého proudu nádobkou bude charakterizován impedancí Z , která je rovna vzorci (4) [20]

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \quad (4)$$

kde R je ohmický odpor nádoby a X_C je kapacitní reaktance.

Princip měření vodivosti i s náhradním elektrickým obvodem jsou na obr. 11.



Obr. 11: Schéma měření vodivosti roztoku (A) a zjednodušený elektrický náhradní obvod (B) [20]

Při používání nízkých frekvencí střídavého proudu je změna impedance určena především ohmickým odporem, takže je málo závislá na frekvenci. Metoda, která používá nízké frekvence, se nazývá nf konduktometrie [20].

Naopak při používání vysoké frekvence střídavého proudu se na celkovou impedanci podílí jako ohmický odpor, tak i reaktance srovnatelně. Vodivost roztoku má komplexní charakter a značně závisí na frekvenci proudu. Tato metoda se nazývá vf konduktometrie [20].

6 ZAPOJENÍ SYSTÉMU

6.1 Vybraná čidla pro měření fyzikálních parametrů

Pro měření elektrické vodivosti jsou použita čidla od firmy JUMO, série T20.2924. Tato čidla jsou vyrobena z nerezové oceli. Dvouelektrodový systém slouží pro detekování rozsahu od $0,05 \mu S/cm$ do $1 mS/c$. Použití tohoto čidla je vhodné do teploty $200 \text{ }^\circ C$ a tlaku 17 bar . V systému jsou umístěné tři čidla pro vodivost v různých hladinách vyvíječe páry. Jako převodník pro vodivostní čidlo je použitý převodník JUMO, série T20.2731. Převodník pracuje na principu proudové smyčky ($4 - 20 \text{ mA}$) [23].

Jako teplotní čidla jsou vybraná čidla pro průmyslové aplikace JUMO ze série T90.2020. Pt100 – 3 vodičové zapojení je vhodný pro měření rozsahů od $-50 \text{ }^\circ C$ do $400 \text{ }^\circ C$. V systému je celkově zapojeno 7 čidel, z nichž 4 kusy mají délku 80 mm a zbylé 3 mají délku 160 mm . Tato čidla jsou již zapojená s převodníky, které fungují opět na principu proudové smyčky ($4 - 20 \text{ mA}$). V systému jsou ještě čtyři Pt100 JUMO, ze série T90.2150, které je možné přemísťovat z důvodů možného přeměňování na různých místech systému. Tato čidla pracují opět v rozsahu $-50 \text{ }^\circ C$ až $400 \text{ }^\circ C$. Převodníky pro tato čidla jsou STI a STID od firmy Sensit, které také pracují na principu proudové smyčky ($4 - 20 \text{ mA}$) [23, 24].

Pro snímání tlaku je využíván tlakový senzor JUMO, T40.3025. Rozsah jeho detekce je od 1 bar do 6 bar a může pracovat až do teploty $200 \text{ }^\circ C$. Základem je křemíkový senzor s membránou z nerezové oceli. V systému jsou umístěny tři tlakové senzory a opět jsou spojeny s převodníkem, který je také založen na principu proudové smyčky ($4 - 20 \text{ mA}$) [23].

Posledním snímaným parametrem je vlhkost, která je zaznamenávána pomocí senzoru EE31 od firmy E+E. Základem tohoto senzoru je nerezová ocel, pokrytá polykarbonátovým nebo silným kovovým pláštěm. Také tento senzor je založený na principu proudové smyčky ($4 - 20 \text{ mA}$). Použití tohoto senzoru a snímání vlhkosti celkově je pouze doplňkové měření, protože senzor není kalibrován na tak vysokou teplotu, jaká se nachází v systému. Jeho hodnoty jsou tedy pouze orientační a spíše než přesné hodnoty, ukazuje změnu vlhkosti v systému. Navíc vlhkost čisté páry proudící do sterilizátorů je minimální [25].

6.2 Schéma zapojení čisté páry

Systém začíná přiváděním demineralizované vody pomocí čerpadla a zpětné klapky. Měření průtoku vody je zajištěno připojením vodoměru. Po této části systému následuje umístění tlakové expanzní nádoby, která má za úkol v případě poklesu průtoku demineralizované vody tento průtok zvýšit. Pro kontrolu přesného průtoku demineralizované vody je do systému po tlakové nádobě umístěn manometr, který je od systému oddělen ručním uzavíracím ventilem. Pro případné korekce průtoku je po manometru umístěn regulační ventil s potrubními

redukce. Následně je do systému situován deskový výměník tepla Alfa-LAVAL, který má za úkol předeřhřívát demineralizovanou vodu, proudící do separátoru páry. Předeřhřev je zajištěn teplejším technickým kondenzátem, který je naopak odváděn ze systému pryč.

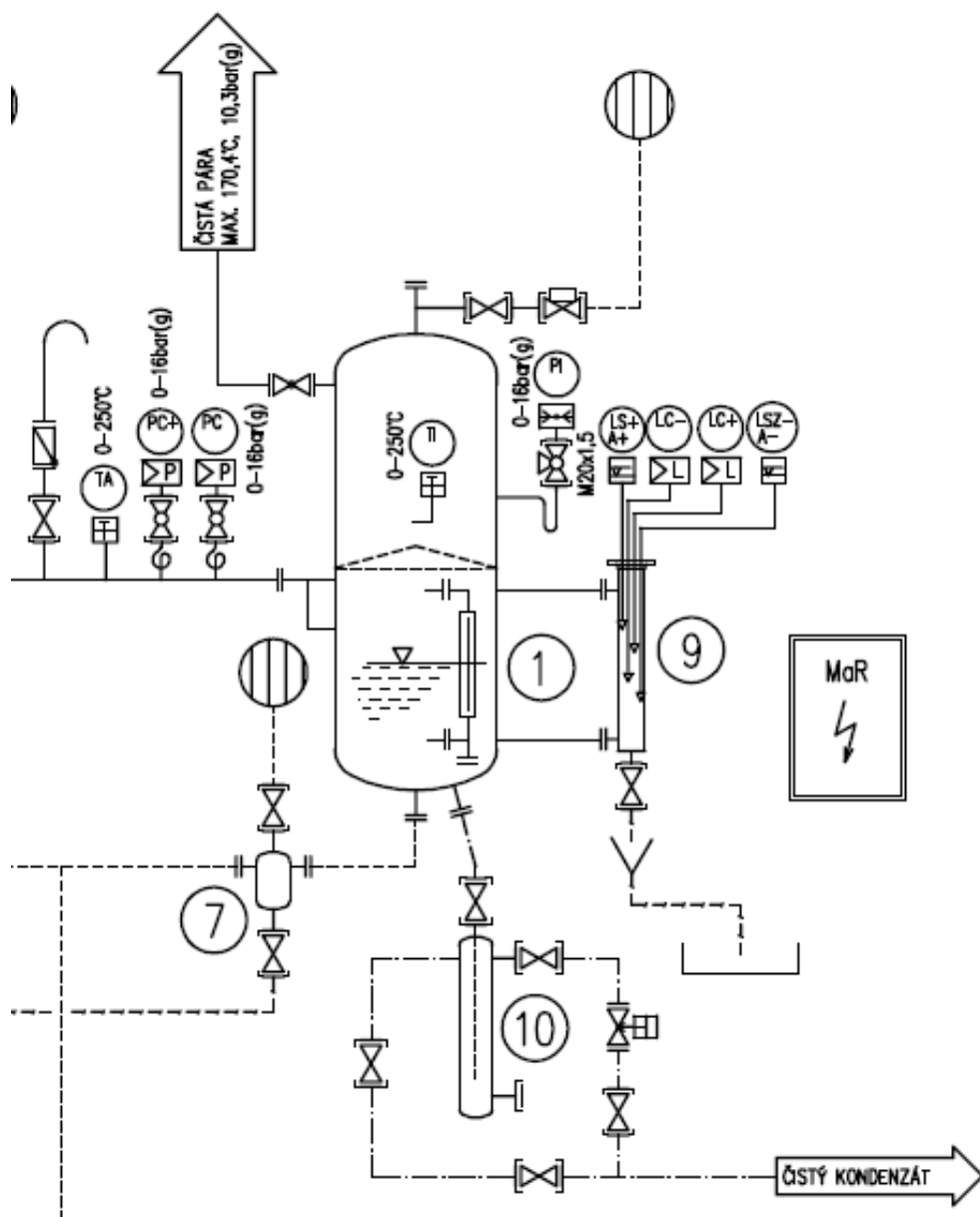
Část demineralizované vody je následně vedena do separátoru páry a část je vedena přes deskový výměník, kde je ohřívána. V separátoru páry jsou ve třech různých hladinách demineralizované vody umístěny tři snímače pro měření vodivosti. Umístění těchto snímačů je zvoleno za účelem analýzy různých čistot vody v celém objemu separátoru.

Data získaná pomocí těchto snímačů se budou nadále v rámci diplomové práce zpracovávat. Aby hladina vody nepřesáhla maximální možnou úroveň, je k separátoru připojena komora regulace hladiny. V této komoře jsou umístěny dva regulátory úrovně hladiny vody v kotli, omezovač nejnižší úrovně hladiny vody a omezovač nejvyšší hladiny vody (obr. 12). Tyto regulátory jsou spojené s regulačním ventilem na začátku celého systému, který v případě potřeby průtok zesílí či ztlumí. Přebytkové množství demineralizované vody je z komory regulace hladiny odváděno přímo do odpadu. Ze separátoru páry je také vzniklý čistý kondenzát odváděn do komory odluhu, kde je umístěn snímač pro případné měření elektrické vodivosti kondenzátu. Dále je čistý kondenzát odváděn ze systému přes regulační ventil a kohout pryč.

Uvnitř separátoru páry je umístěn ukazatel teploty pro okamžitou kontrolu teploty páry a ukazatel tlaku páry pro kontrolu tlaku. Z vrchní části separátoru je přes manuální uzavírací ventil odváděna čistá pára. Tato pára je měřena snímačem tlaku, vlhkosti a teploty. Pára dále proudí potrubní redukcí, regulačním ventilem a druhou potrubní redukcí. Po této části je opět umístěna trojice snímačů na tlak, vlhkost a teplotu pro případ, že by regulační ventil a potrubní redukce měli vliv na měřené parametry páry a pro případné korekce průtoku páry. Naměřené hodnoty, získané z obou trojic snímačů, budou dále v diplomové práci zpracovávány a vyhodnocovány. Těsně před samotným prouděním čisté páry do jednotlivých sterilizátorů, je do systému zapojen ukazatel teploty a regulátor tlaku, který je spojen se zmíněným regulačním ventilem (obr. 12).

Do systému je také přiváděna technická pára, jejíž průtok je regulován regulátorem tlaku a kontrolován ukazatelem tlaku a teploty. Technická pára proudí filtrem, za kterým následuje dvojice ukazatelů tlaku páry. Mezi tyto ukazatele je umístěn regulační ventil pro korekce průtoku páry. Za regulátory je umístěn deskový výměník tepla Alfa-LAVAL, kde dochází k předeřhřátí části demineralizované vody pomocí horké technické páry za vzniku páry proudící do separátoru.

Z technické páry následně vzniká kondenzát, jehož jedna část je přímo odváděna do odpadu. Zbýlá část kondenzátu je pomocí odvaděče kondenzátu směřována do vyrovnávače kondenzátu. Technický kondenzát je následně využitý k ohřevu demineralizované vody, proudící do systému. Před odvedením technického kondenzátu ze systému je samotný kondenzát tlakově a teplotně snímán (viz. Příloha A).



Obr. 12: Schéma zapojení čisté páry (výřez)

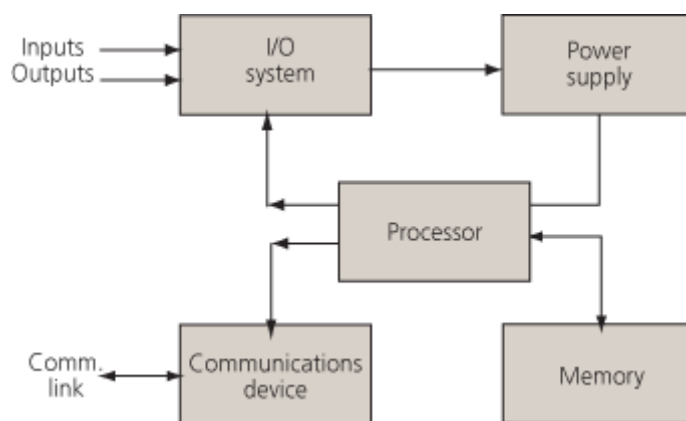


Obr. 13: Separátor páry

6.3 Řízení systému a sběr dat

Pro řízení systému a sběr dat ze všech snímačů je využitý PLC (Programovatelný logický automat). PLC je relativně malý průmyslový počítač, který se využívá při automatizaci procesů v reálném čase. V automatizační technice jsou využívány již zhruba 30 let. Jejich typickou vlastností je programovatelnost na úrovni blízké mentalitě konstruktéra nebo projektanta. Programem PLC lze realizovat vazby a ošetřit logické souvislosti, které jsou při použití specializovaných (uzavřených) přístrojů nedostupné. Takto lze například řešit vazby mezi regulací různých veličin (třeba teploty a vlhkosti, teploty a kvality spalování, teploty a dodržení sjednané spotřeby) nebo optimalizovat proces a přizpůsobovat jej měnícím se podmínkám, minimalizovat spotřebu, náklady nebo ztráty [21, 22, 26, 28].

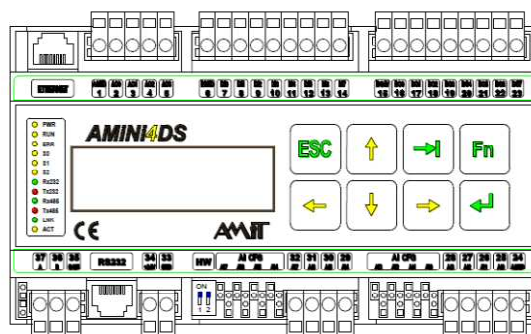
V případě této diplomové práce, systém PLC slouží pro sběr dat a komunikaci s nadřazeným PC, ve kterém jsou změřená data uložena. Blokové schéma běžného PLC je uvedeno na obr. 14.



Obr. 14: Blokový diagram PLC [26]

Jako neoptimálnější řešení byl pro skenování měřených fyzikálních veličin zvolen systém AMiT AMiNi4Ds. Jedná se o kompaktní řídicí systém s parametry, které jsou rozepsané na obr. 15.

- 8 × GO číslicový výstup 24 V/0,3 A ss.
- 8 × GO číslicový vstup 24 V ss./stř.
- 8 × analogový vstup U/I/Ni1000/Pt1000
- 4 × analogový výstup 0 V až 10 V
- RS232, RS485 GO, Ethernet 10 Mbps
- Montáž na DIN lištu 35 mm
- LCD displej 122 × 32 bodů, klávesnice



Obr. 15: Kompaktní řídicí systém s parametry (AMiT AMiNi4Ds) [27]

PLC je ještě rozšířeno o dva VV moduly, které umožňují sběr dostatečného množství dat od všech navržených senzorů. K PLC jsou ze systému připojeny všechny snímače, ovládané ventily apod. PLC je odlišné od běžných počítačů také tím, že pracuje cyklicky. Přečte si tedy najednou všechny vstupy, podle uživatelského programu spočítá všechny podmínky, které určují, jaké budou výstupy, a pak je najednou přepíše do výstupních obvodů. Vyřeší všechny požadavky na komunikace s ostatními zařízeními a opět si jde přečíst stav na vstupech [21, 22, 26, 28].

Na následujícím obrázku (obr. 16) je zobrazený náhled PLC obrazovky.



Obr. 16: Náhled PLC obrazovky

Další odlišností PLC od běžných počítačů je fakt, že jejich periferie jsou přímo uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy. Převážnou část periferií tvoří digitální vstupy a digitální výstupy. Pro další zpracování signálů a napojení na technologii jsou určeny analogové vstupy a analogové výstupy pro zpracování spojitých signálů. S rozvojem automatizace došlo i na používání dalších modulů periferních jednotek, které je možné připojit k PLC. Tyto moduly se nazývají funkčními moduly a slouží například pro komunikační procesy pro sběr a přenos dat [21, 22, 26].

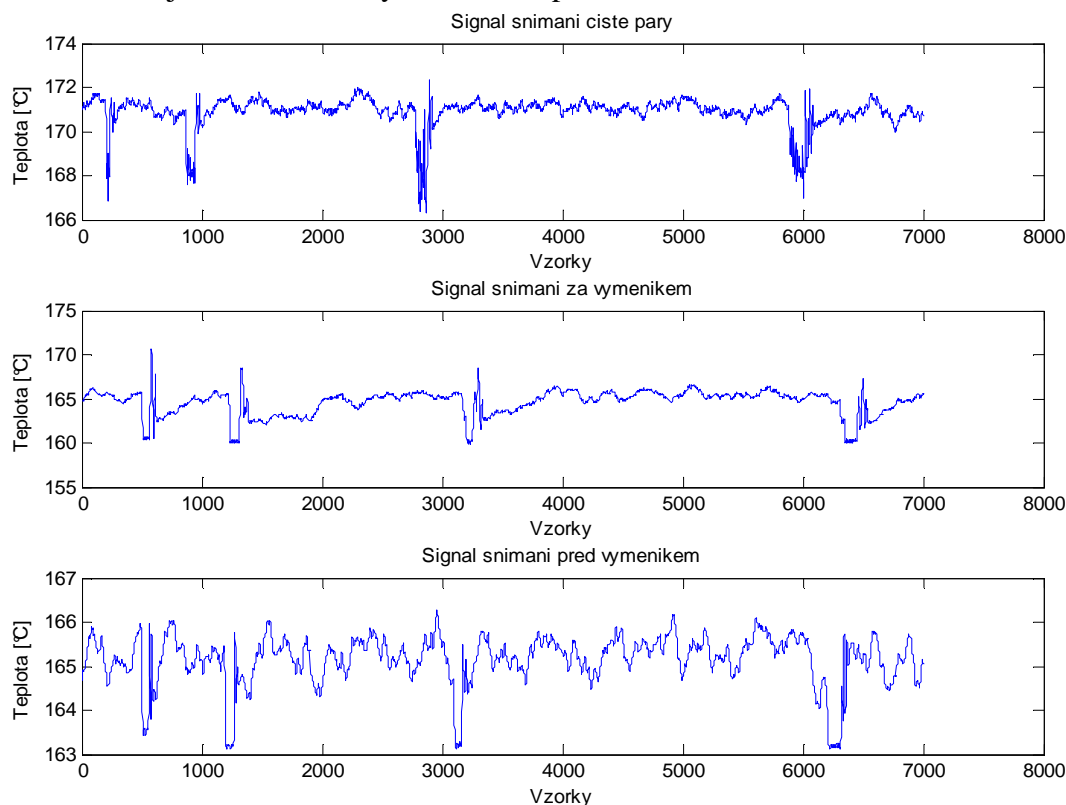
7 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH PARAMETRŮ STERILIZAČNÍ PÁRY

7.1 Měření fyzikálních parametrů sterilizační páry stabilního systému

7.1.1 Měření teploty sterilizační páry stabilního systému

Teplota je jeden z nejdůležitějších parametrů pro získání kvalitní sterilizační páry. Je měřena pomocí platinových čidel těsně po vyvíječi páry, kdy již proudí čistá pára do sterilizátorů. Několik čidel je umístěno také v dalších částech systému, abychom lépe porozuměli dějům, které ve vyvíječi probíhají. Pro rozšíření měření jsou ještě použita data z čidel, která jsou umístěná před deskovým tepelným výměníkem a po něm. Dochází tedy k měření technické páry a páry vzniklé z demineralizované vody ve výměníku. Tato data byla poskytnuta spolupracující firmou.

Měření probíhalo při ustáleném systému, kdy bylo vypnuto odvádění odluhu a kondenzátů a též dopouštění vody bylo nastavené na minimum. Nejedná se o reálný provozní režim, ovšem pro vyhodnocení celého systému bylo nutné minimalizovat faktory, které by komplikovaly analýzu celého systému. Při tomto režimu systému není vyvíjení páry zcela zautomatizované a jsou nutné zásahy člověka do procesu.



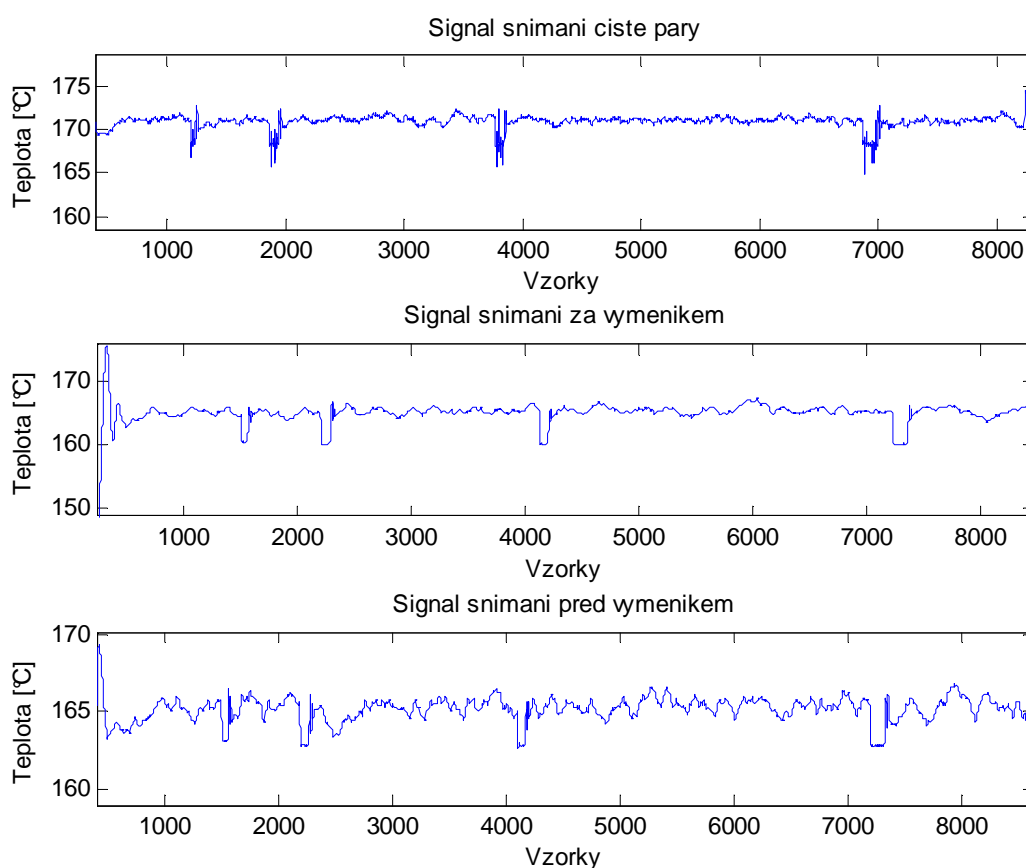
Obr. 17: Průběhy měření páry

Na obr. 17 jsou vykreslená měření teploty pro čistou páru i pro páru před tepelným výměníkem a za ním.

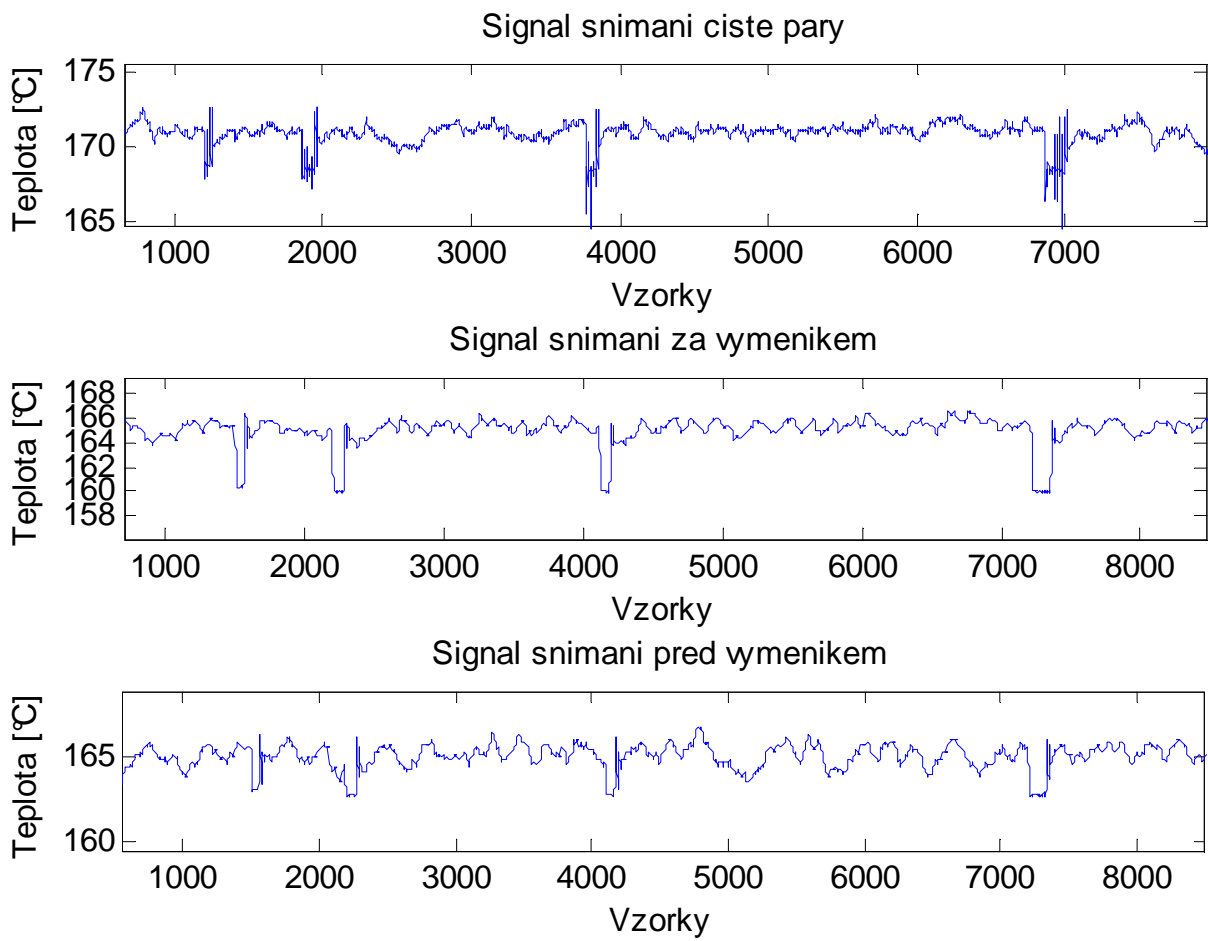
Systém sběru dat byl rozdělen do dvou kategorií. První byla pro režim vyvíječe páry bez připojených zátěží, druhá pak byla s připojenými zátěžemi. Měření s připojenými zátěžemi bylo prováděné snímáním 2 vzorků za sekundu. V normálním běhu (bez připojených zátěží) byl snímán jeden vzorek za sekundu. Při měření s připojenými zátěžemi začalo snímání dvou vzorků za sekundu 10 sekund před spuštěním proudění do sterilizátoru, pokračovalo po celou dobu proudění a skončilo 2 minuty po ukončení proudění do sterilizátoru

Na obr. 17 jsou patrné skoky k nižším teplotním hodnotám způsobené spuštěním proudění čisté páry do sterilizátorů. První skok značí zapnutí jednoho sterilizátoru, další dva skoky jsou vzniklé zapnutím dvou sterilizátorů zároveň a poslední skok je způsobený zapnutím tří sterilizátorů.

Z obrázku je rovněž patrné posouvání jednotlivých skoků, kdy ke změně teploty čisté páry dochází podstatně dříve než ke změnám teplot páry před a po výměníku. Na následujících obrázcích jsou vykreslené průběhy pro další měření (obr. 18 a obr. 19).

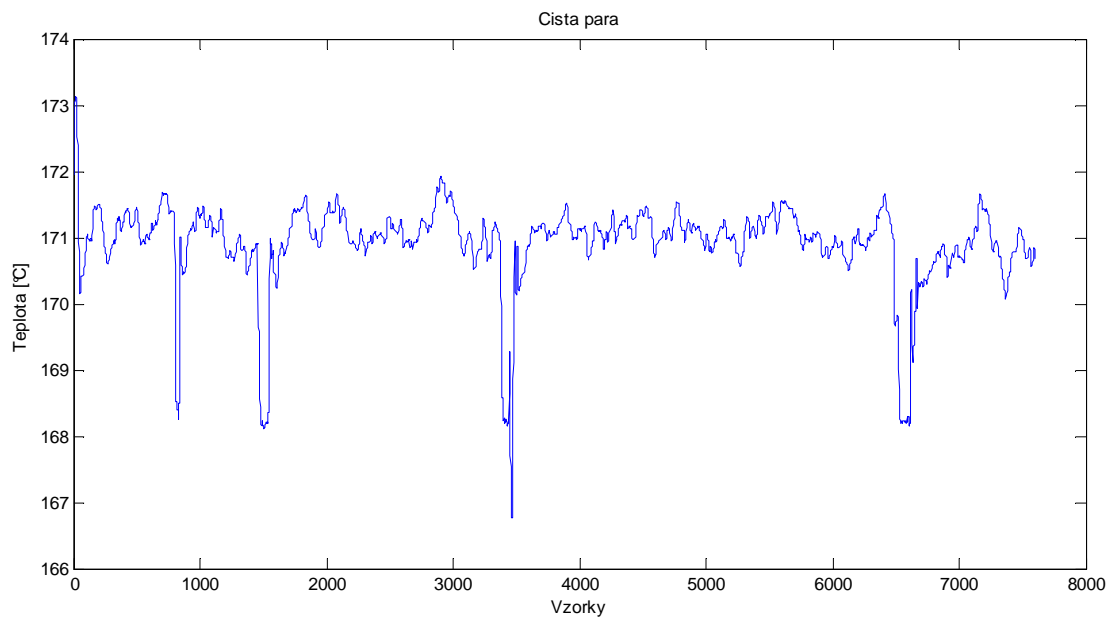


Obr. 18: Průběhy měření páry 2

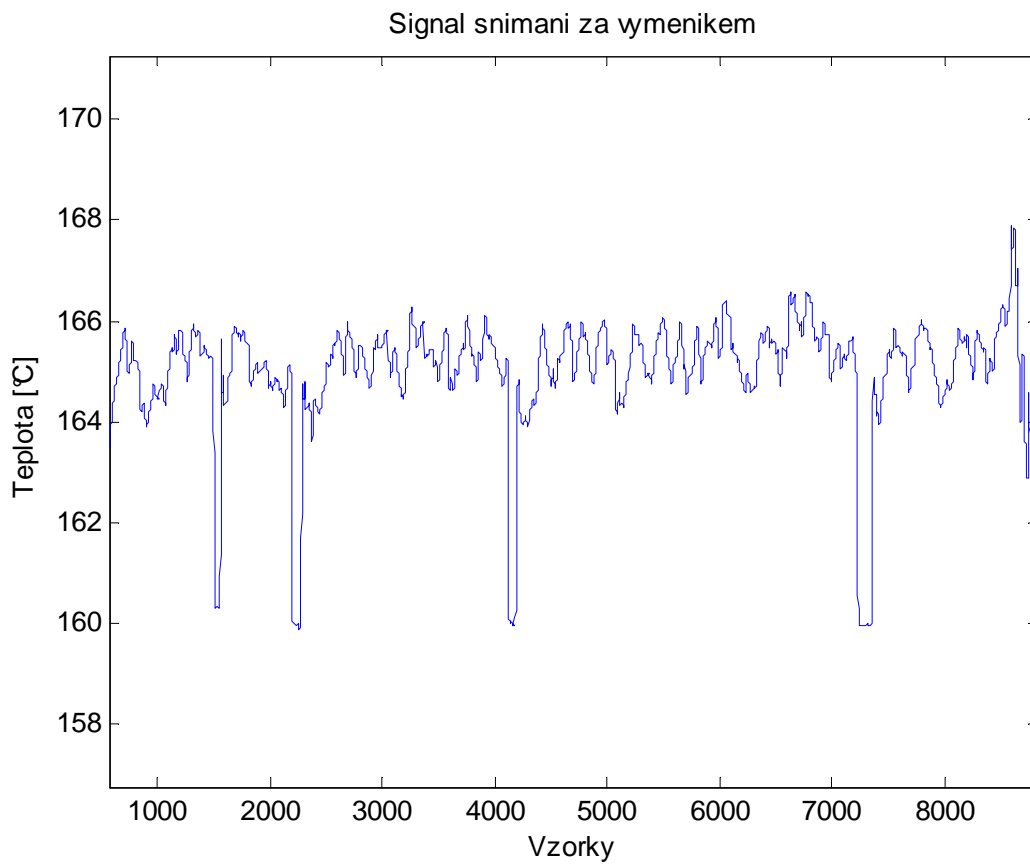


Obr. 19: Průběhy měření páry 3

Na následujících obrázcích (obr. 20 a obr. 21) jsou detailněji znázorněny průběhy měření čisté páry a páry za tepelným výměníkem, vyhlazené pomocí mediánového filtru.

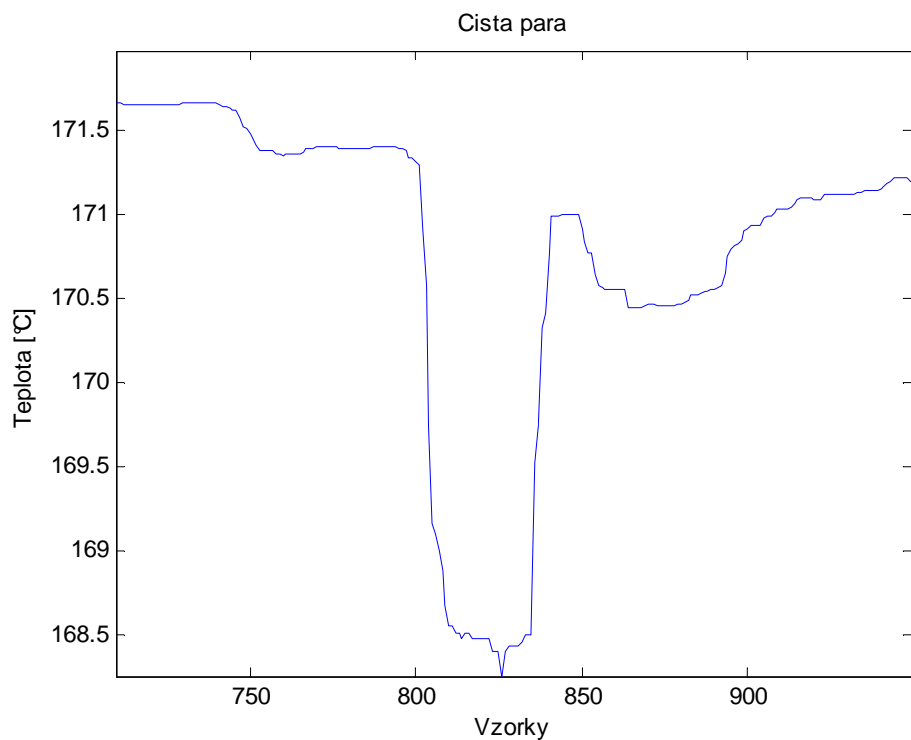


Obr. 20: Průběh měření čisté páry

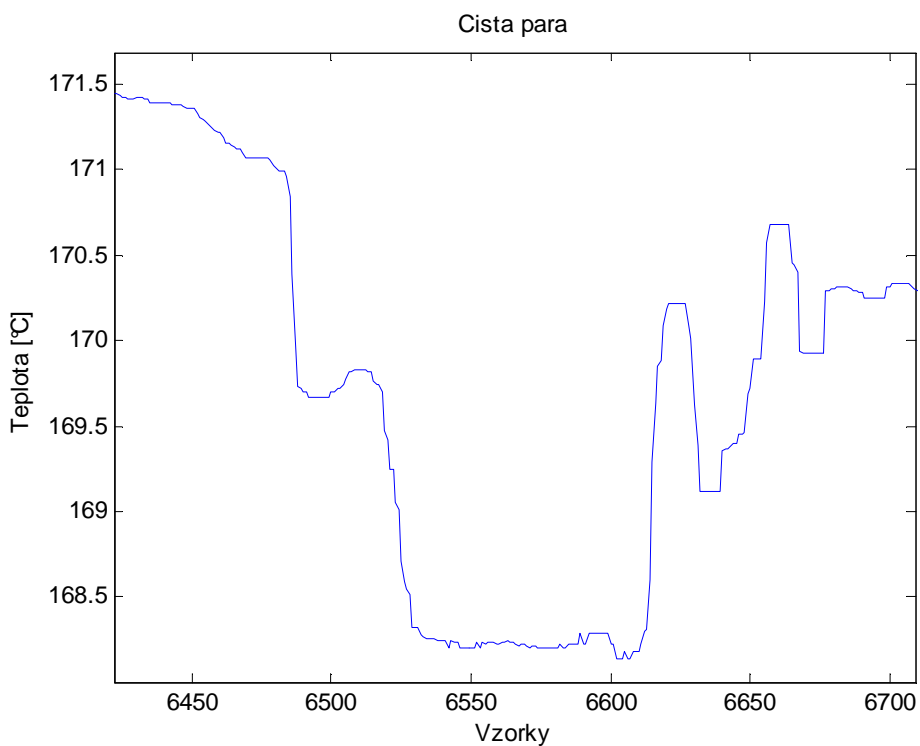


Obr. 21: Průběh měření páry za tepelným výměníkem

Na dalších obrázcích (obr. 22 a obr. 23) jsou znázorněné skoky hodnoty teploty čisté páry při spuštění jednoho a tří sterilizátorů. Již z obrázku je patrné, že nejnižší teplota skoku se téměř nemění, ale šířka skoku bude záviset na počtu zároveň spuštěných sterilizátorů.

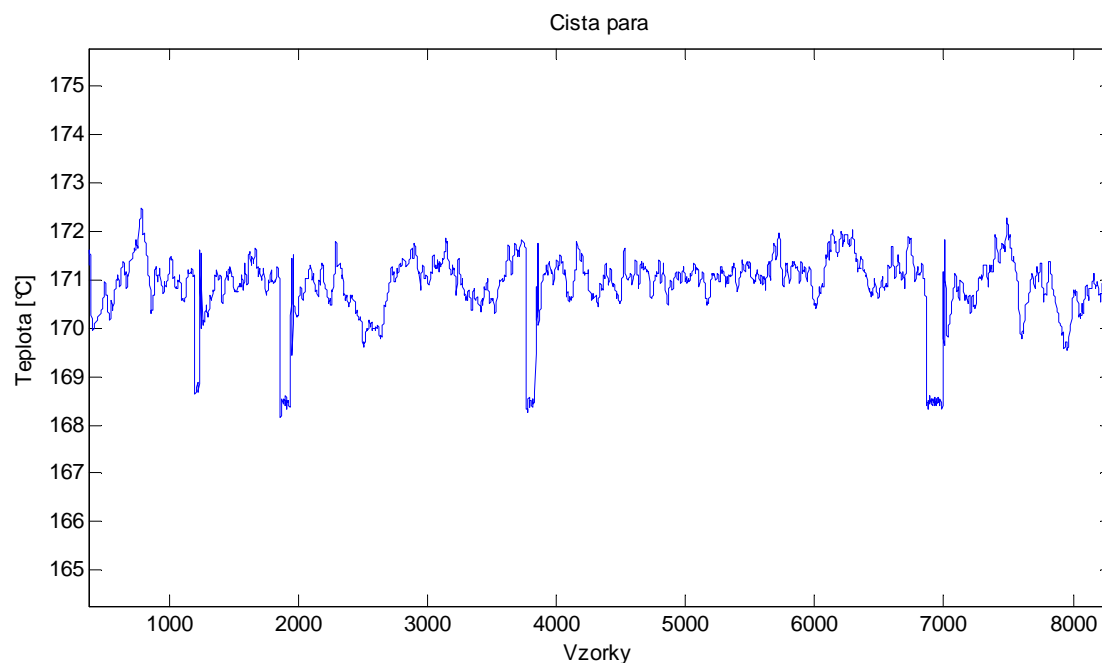


Obr. 22: Detail pro skok teploty páry při spuštění jednoho sterilizátoru

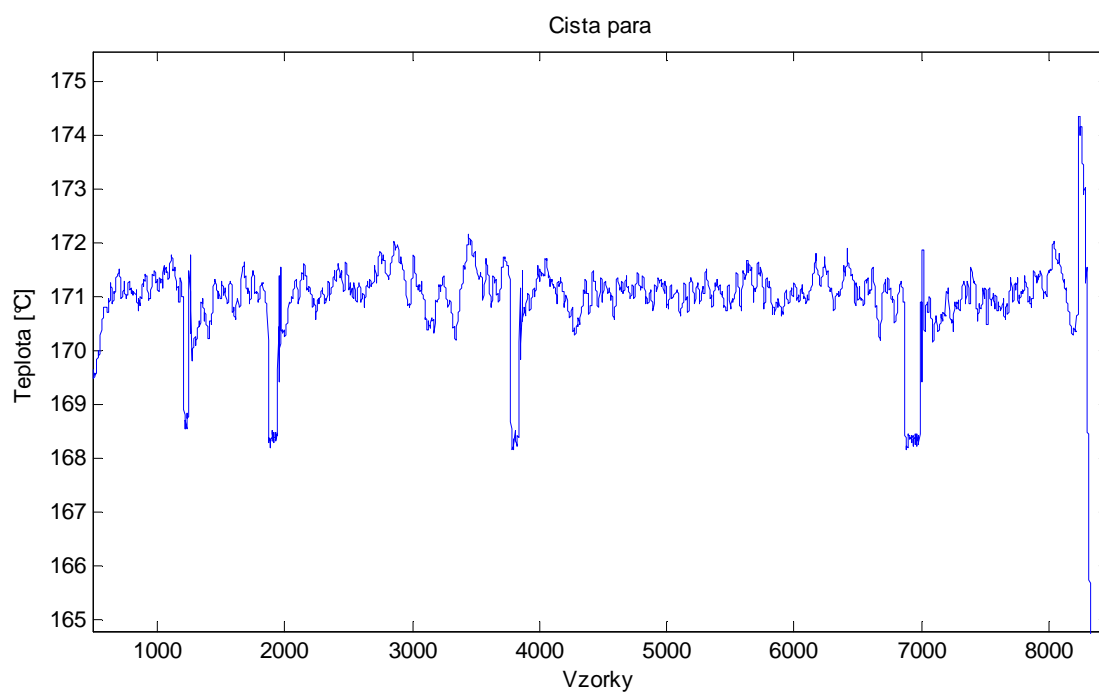


Obr. 23: Detail pro skok teploty páry při spuštění tří sterilizátorů

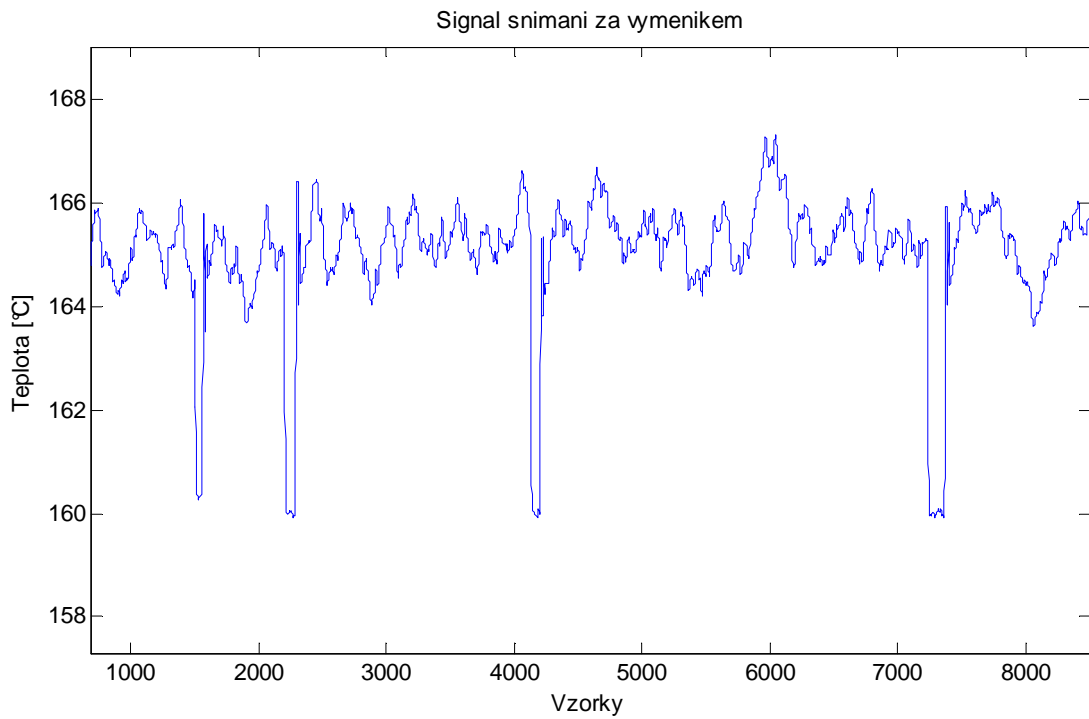
Na následujících obrázcích (obr. 24, obr. 25, obr. 26 a obr. 27) jsou vykreslené další průběhy měření čisté páry a páry před výměníkem a za ním. Skoky v signálu jsou opět způsobené spuštěním proudění do 1 sterilizátoru, dvakrát do 2 sterilizátorů a poslední skok je pro 3 sterilizátory.



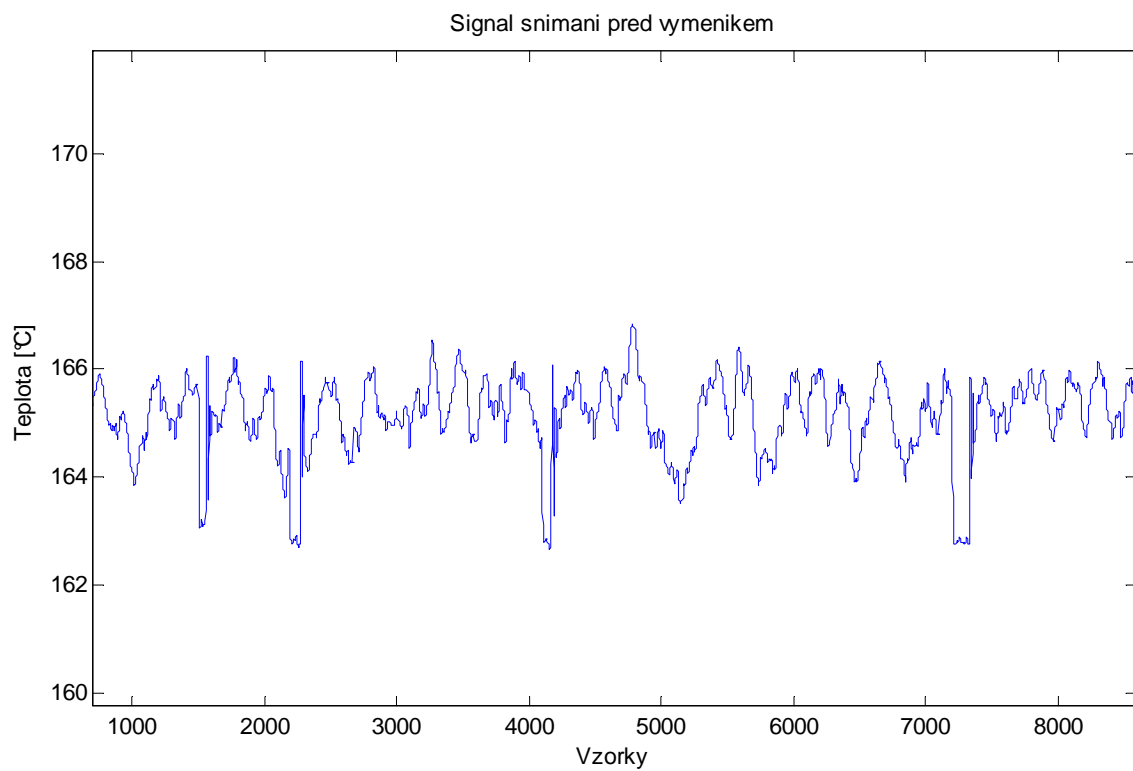
Obr. 24: Průběh měření čisté páry 2



Obr. 25: Průběh měření čisté páry 3



Obr. 26: Průběh měření páry za výměníkem 2

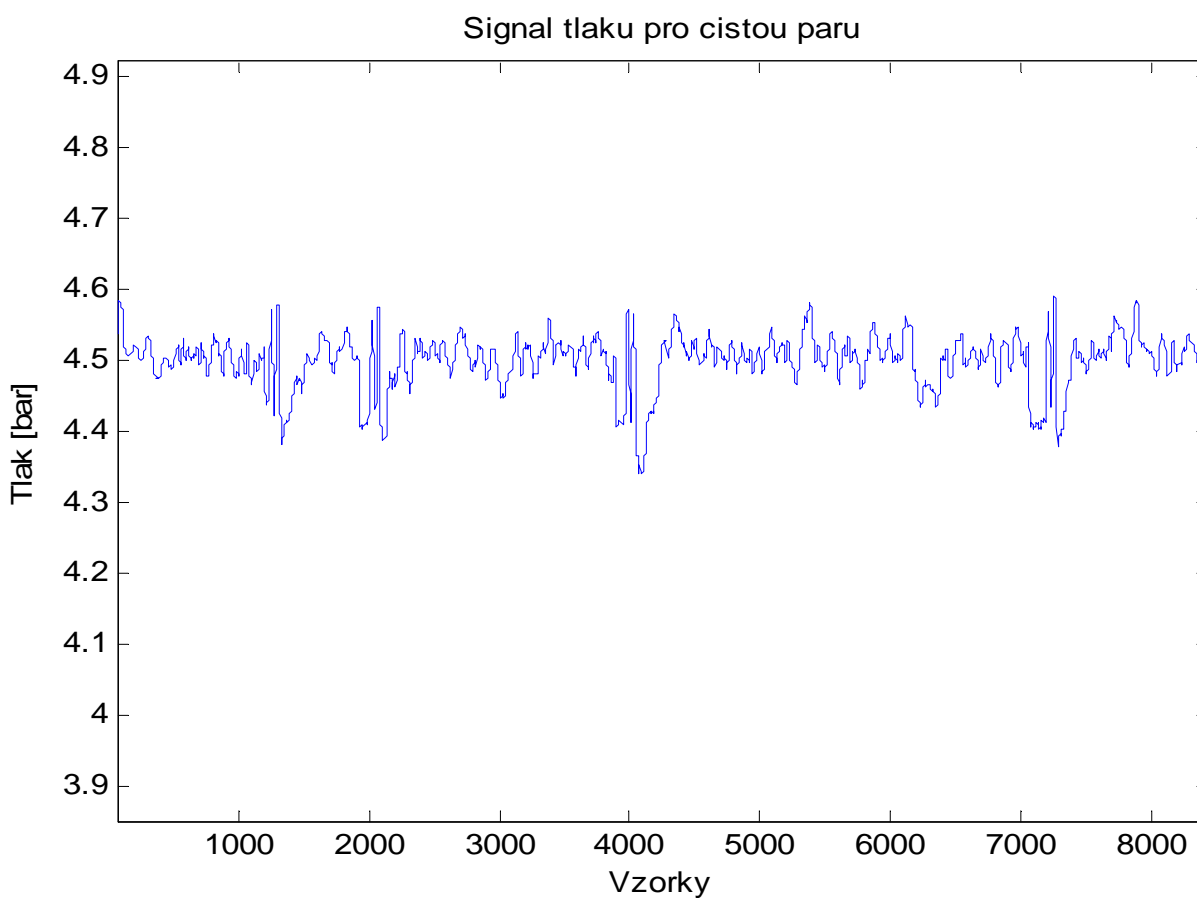


Obr. 27: Průběh měření páry před výměníkem 2

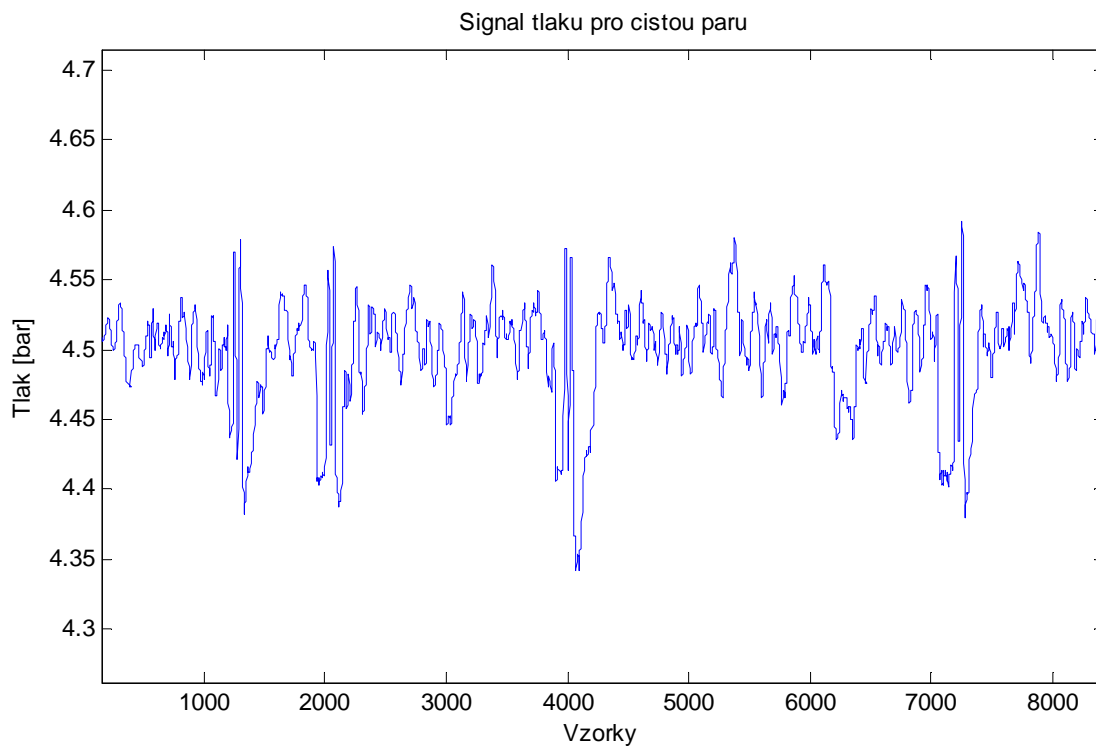
7.1.2 Měření tlaku sterilizační páry stabilního systému

Dalším měřeným parametrem byl tlak páry, který je snímán opět ve stabilním systému. Tlak je zaznamenáván nejen pro čistou páru, ale také pro páru před tepelným výměníkem a za ním. Stejně jako v případě teploty páry se snímá jeden vzorek za sekundu. Deset sekund před spuštěním proudění páry do sterilizátorů až do dvou minut po ukončení proudění, jsou zaznamenávány dva vzorky za sekundu.

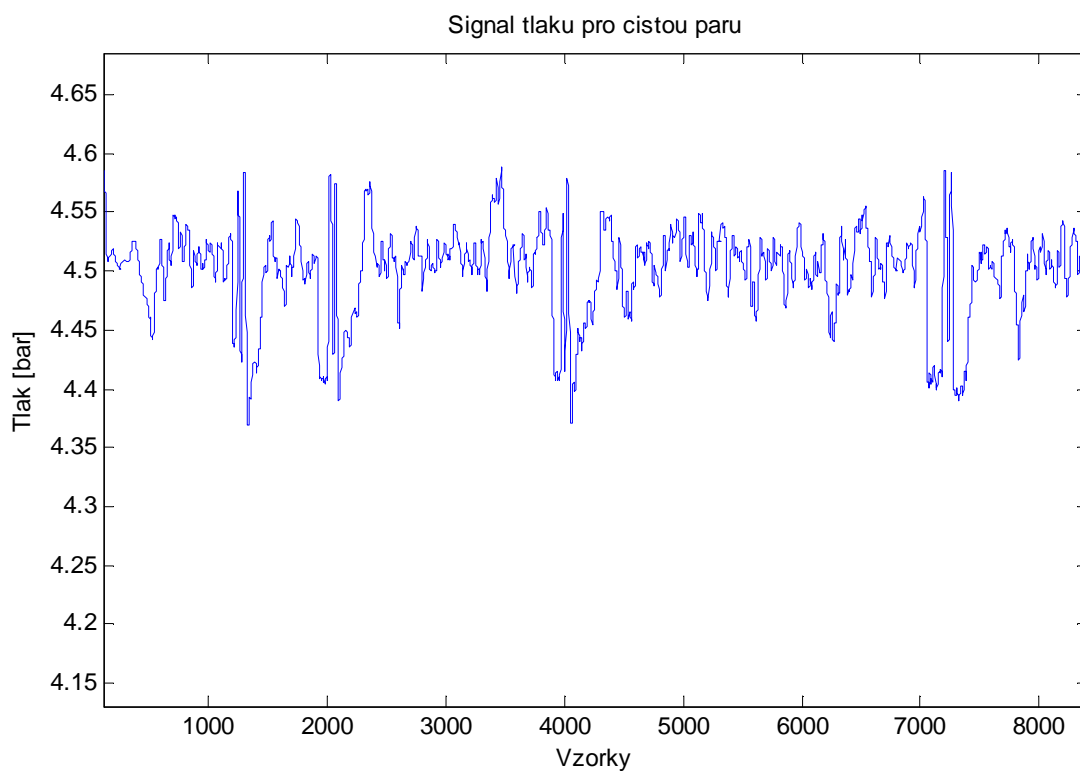
Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy tlaku při měření čisté páry (obr. 28, obr. 29, obr. 30 a obr. 31).



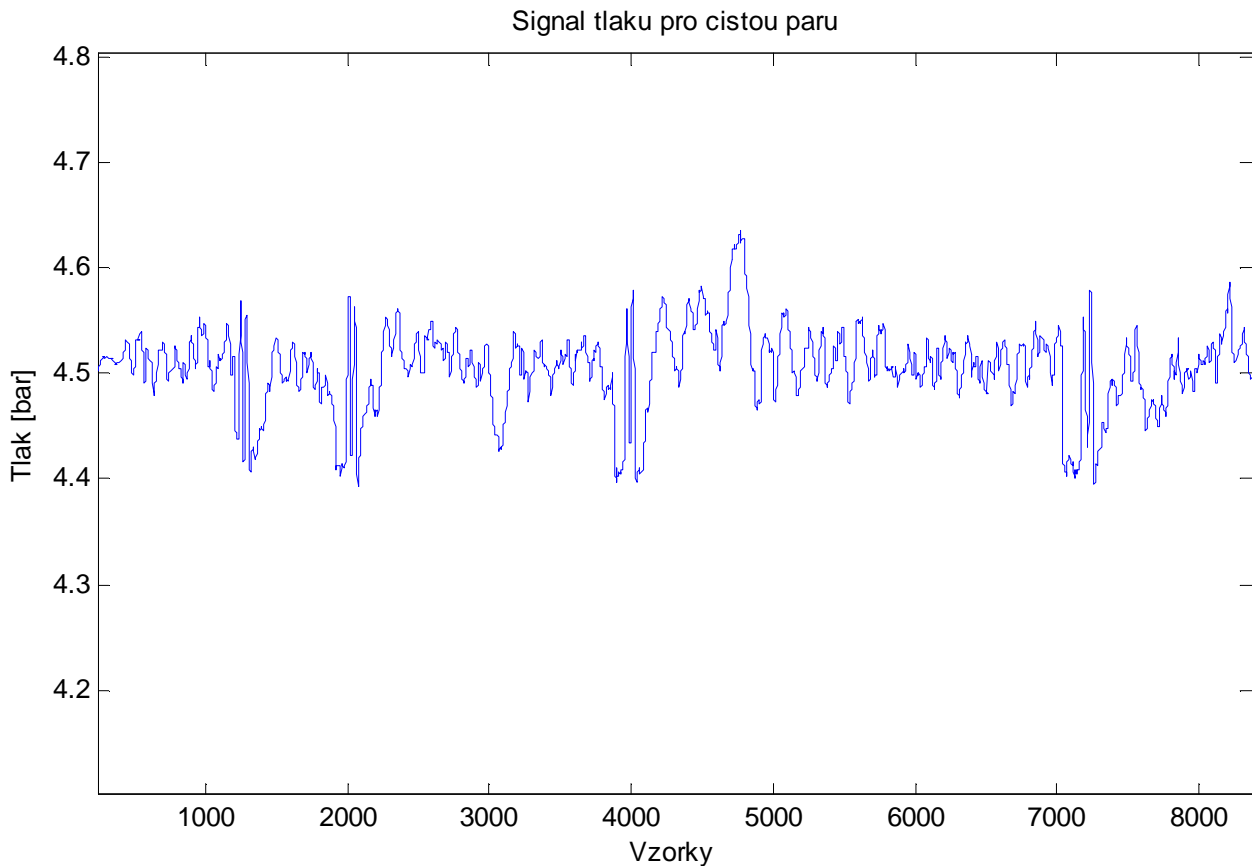
Obr. 28: Průběh měření tlaku čisté páry



Obr. 29: Detailní průběh měření tlaku pro čistou páru



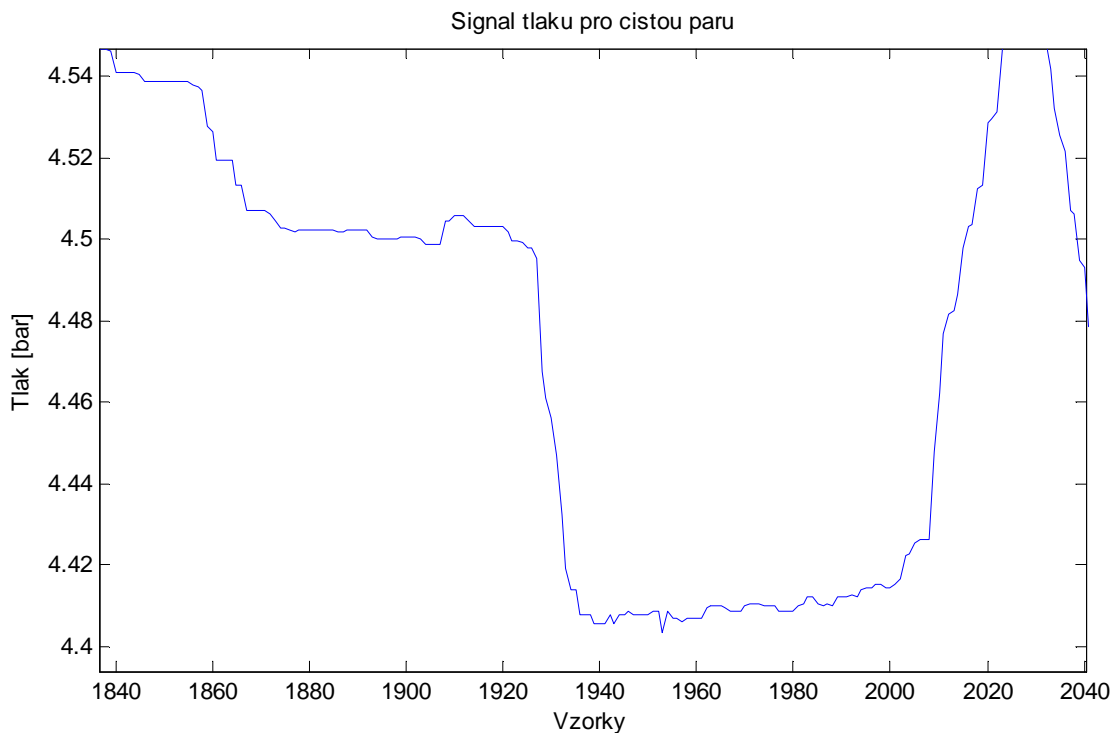
Obr. 30: Průběh měření tlaku pro čistou páru 2



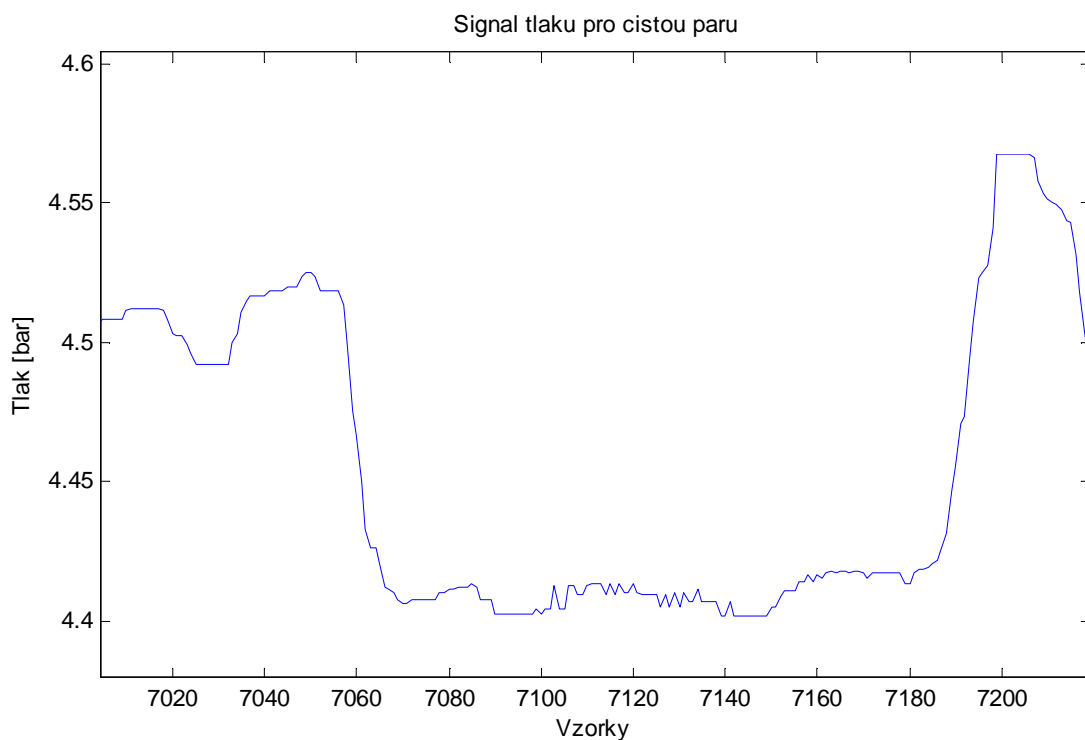
Obr. 31: Průběh měření tlaku pro čistou páru 3

Z předchozích obrázků je opět patrné, že při spuštění proudění čisté páry do sterilizátorů, dochází ke změnám v hodnotě tlaku a vytvoření skoků v grafech. Tyto skoky již ale nejsou tak znatelné, jako tomu bylo u teploty, a jejich přesné nalezení a identifikování je obtížnější. První skok náleží spuštění proudění do jednoho sterilizátoru, následné dva skoky patří ke spuštění dvou sterilizátorů a poslední skok je vytvoření spuštěním proudění čisté páry do tří sterilizátorů zároveň.

Na následujících obrázcích (obr. 32 a obr. 33) jsou detailně znázorněné skoky pro spuštění dvou a tří sterilizátorů.

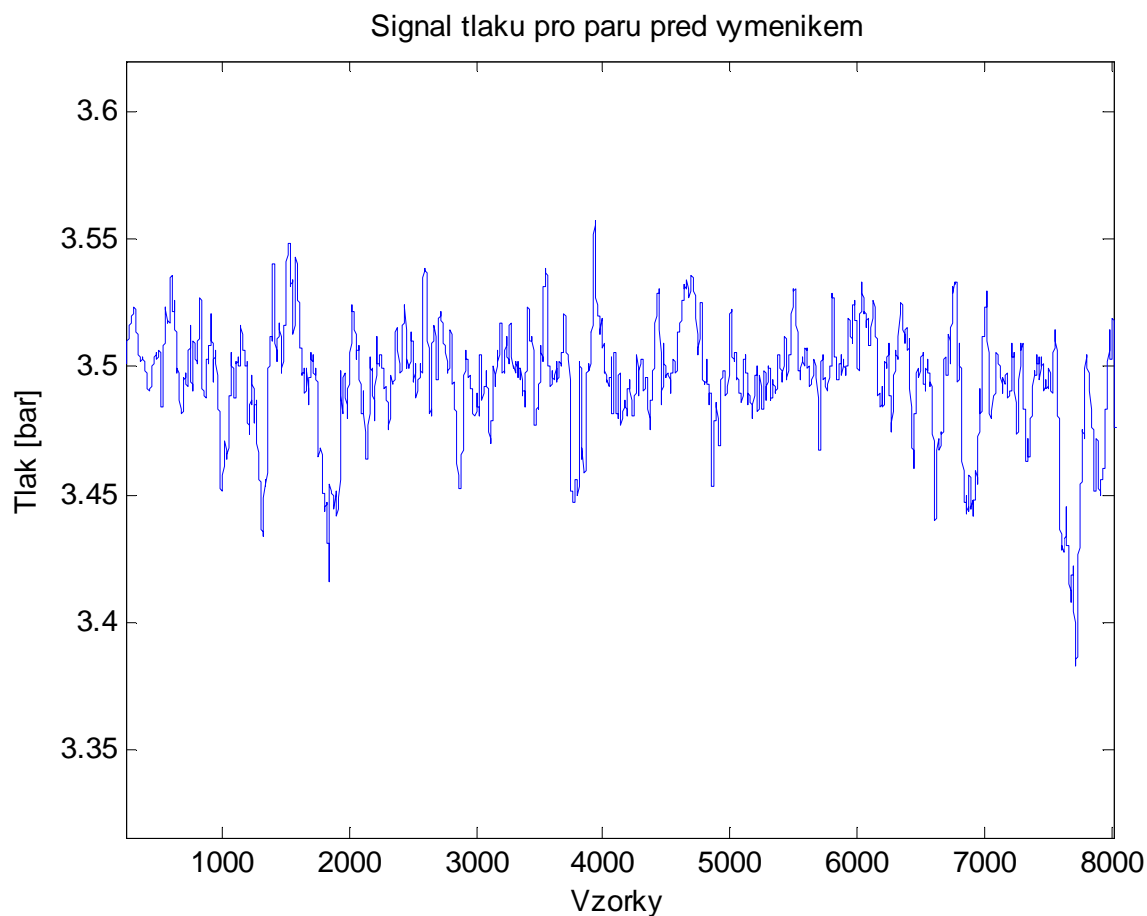


Obr. 32: Detail pro skok tlaku čisté páry při spuštění dvou sterilizátorů



Obr. 33: Detail pro skok tlaku čisté páry při spuštění tří sterilizátorů

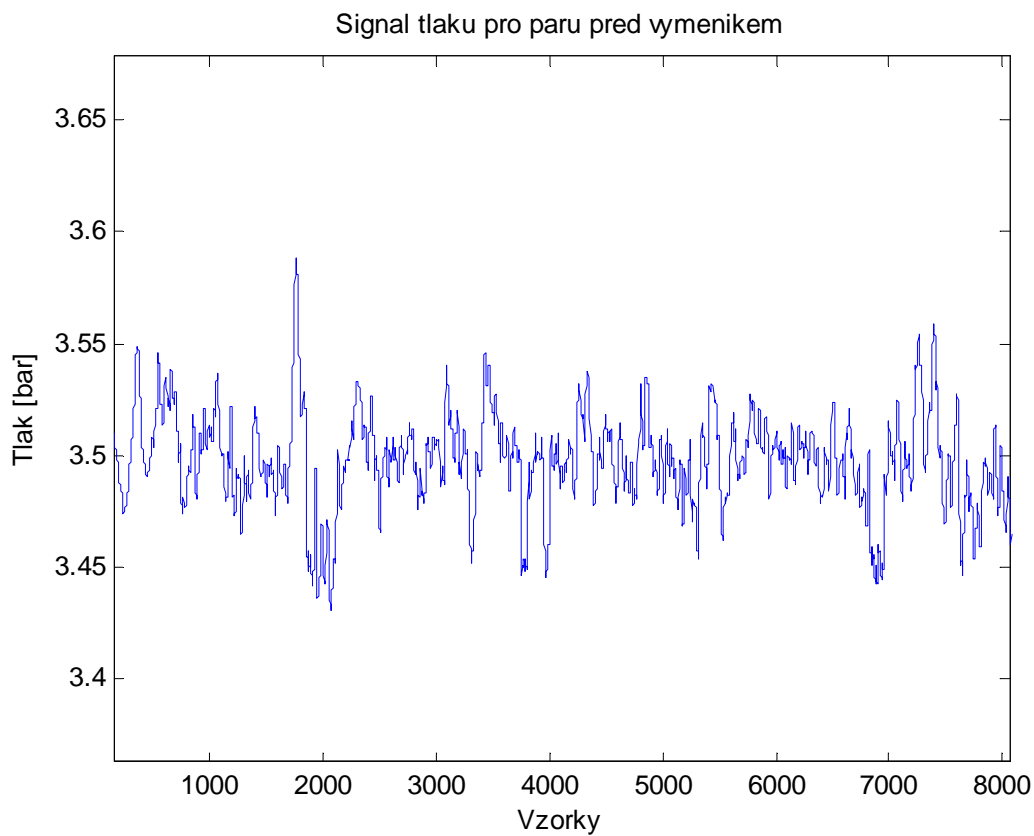
Dále se změny tlaku měřily i čidlem před tepelným výměníkem. Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy některých měření.



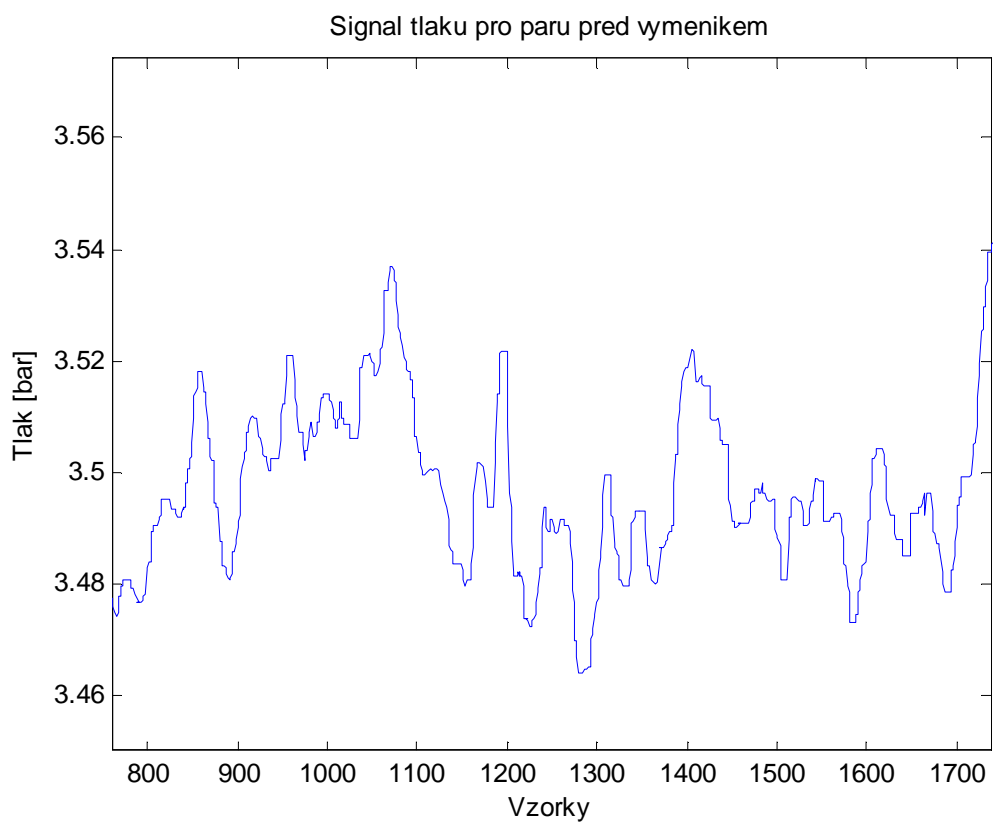
Obr. 34: Průběh měření tlaku pro páru před výměníkem

Z obrázku je zřejmé, že již nedochází k tvoření jednoznačných skoků při spuštění proudění páry do sterilizátorů. Celkové kolísání je velmi malé a patrné píky na obrázcích nesouhlasí s místy, kde došlo k spuštění proudění, nebo není možná jejich přesná identifikace.

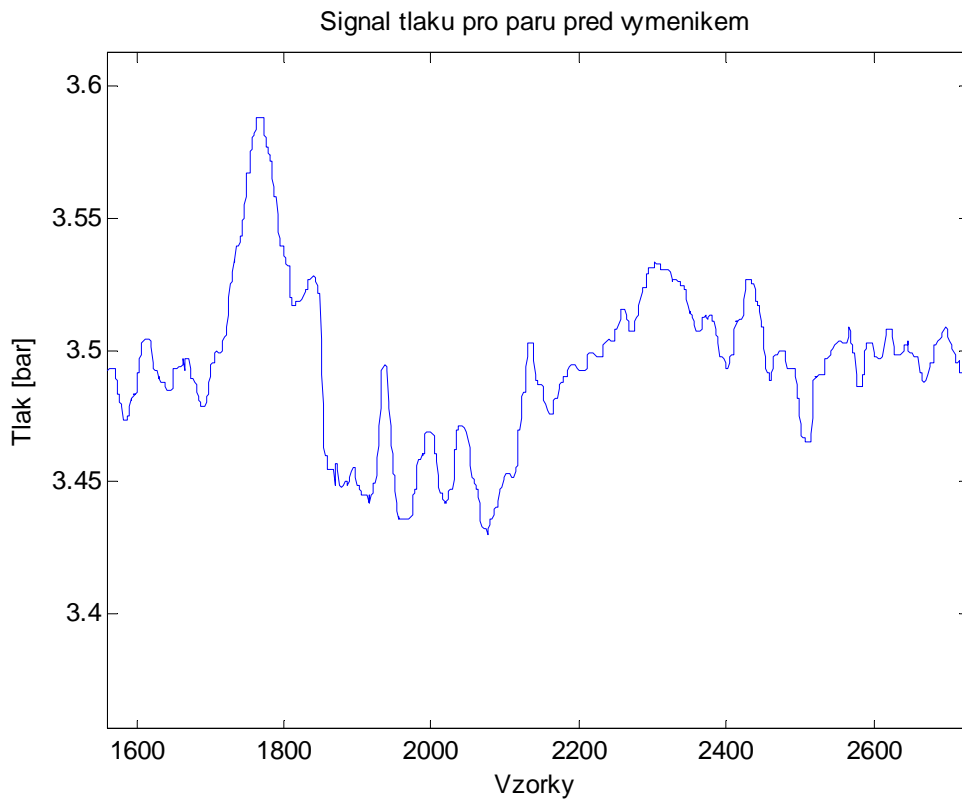
Na následujících obrázcích je znázorněn další průběh měření změn tlaku páry před tepelným výměníkem a detailní ukázky částí signálu, kde by mělo dojít k vytvoření skoků.



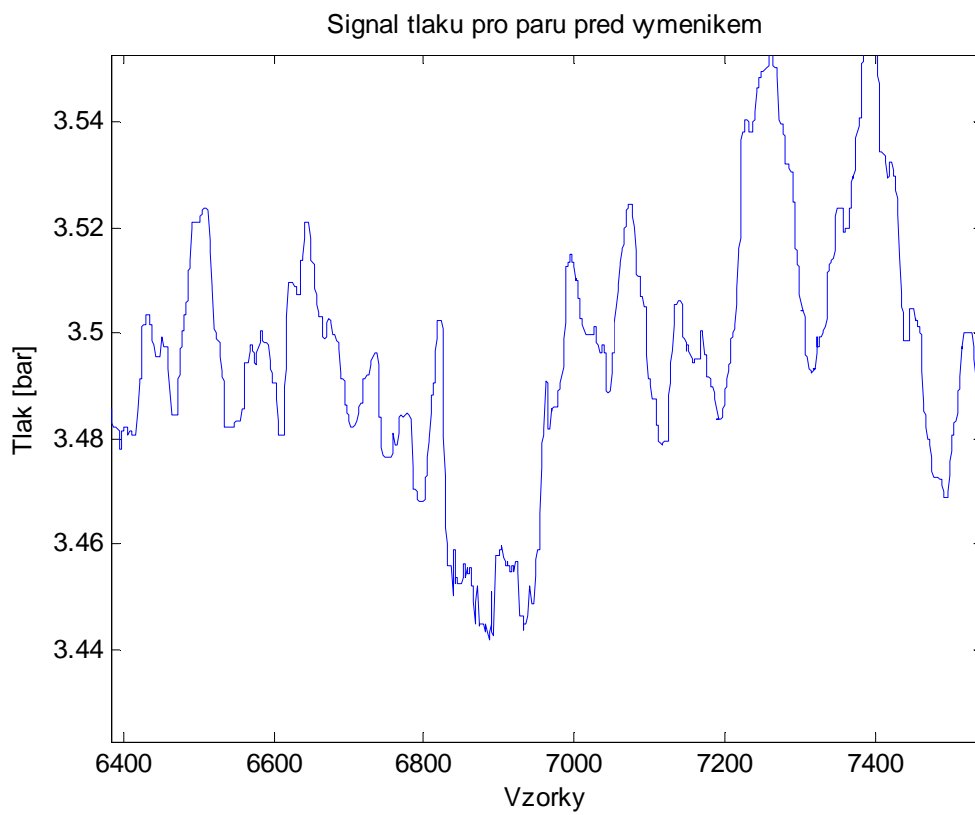
Obr. 35: Průběh měření tlaku pro páru před výměníkem 2



Obr. 36: Detail části signálu při spuštění proudění do 1 sterilizátoru



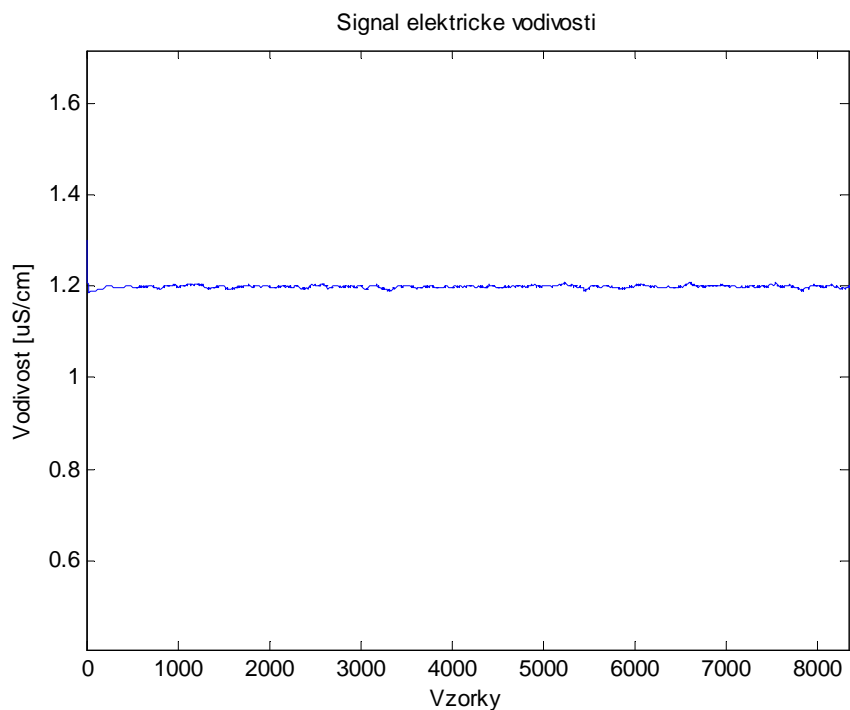
Obr. 37: Detail části signálu při spuštění proudění do 2 sterilizátorů



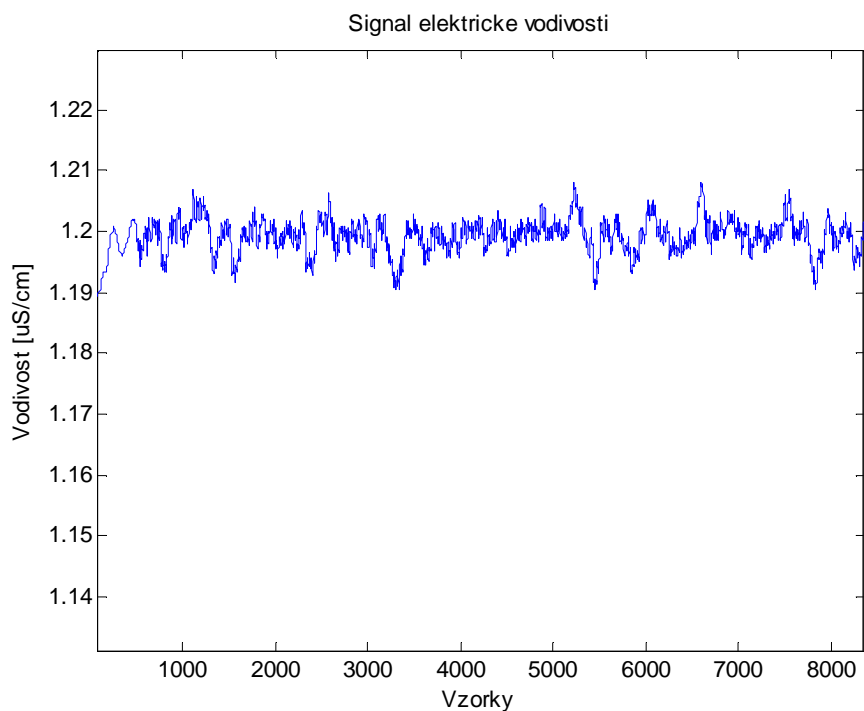
Obr. 38: Detail části signálu při spuštění proudění do 3 sterilizátorů

7.1.3 Měření elektrické vodivosti demineralizované vody stabilního systému

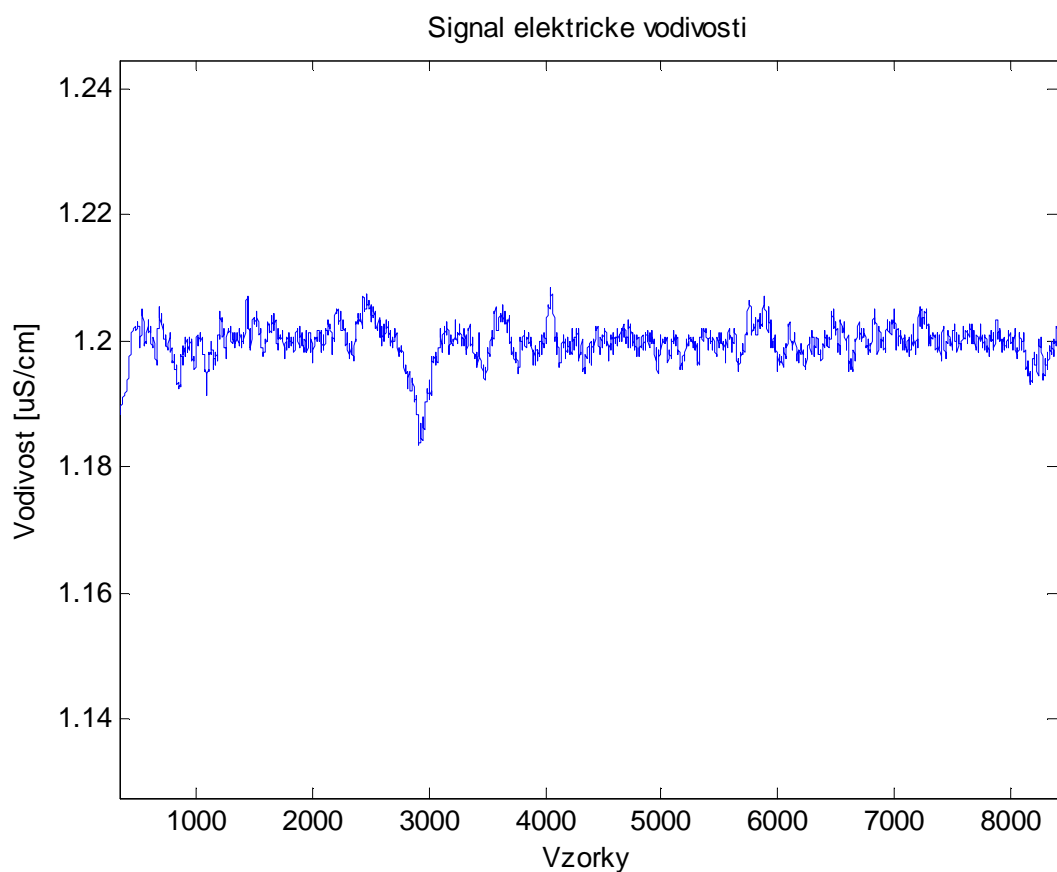
Jako poslední parametr byla měřena elektrická vodivost demineralizované vody v separátoru páry. Na obrázcích jsou znázorněné průběhy měření.



Obr. 39: Průběh měření elektrické vodivosti



Obr. 40: Detailní průběh měření elektrické vodivosti



Obr. 41: Detailní průběh měření elektrické vodivosti 2

Z předchozích obrázků je patrné, že spouštění různého počtu sterilizátorů nemá vliv na elektrickou vodivost demineralizované vody v separátoru páry. Po celou dobu měření zůstávaly hodnoty vodivosti vody stabilního systému téměř stejné, pouze s občasnými malými výkyvy.

7.2 Vyhodnocení získaných výsledků stabilního systému

7.2.1 Vyhodnocení teploty sterilizační páry stabilního systému

Parametr, při kterém docházelo k největším změnám v průběhu měření, byla teplota páry. V následujících tabulkách (tab. 5, tab. 6 a tab. 7) jsou zpracované a zanalyzované rozdíly skoků teploty čisté páry z hlediska jejich výšky a šířky.

Tab. 5: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru

	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [°C]	171.4	170.9	171.1	171.3
Výška při proudění do sterilizátoru [°C]	168.5	168.2	168.2	168.2
Rozdíl výšek [°C]	2.9	2.7	2.9	3.1
Začátek píku [vzorek]	803	1464	3380	6486
Konec píku [vzorek]	840	1550	3475	6620
Šířka [počet vzorků]	37	86	95	134

Tab. 6: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru 2

	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [°C]	171.2	171.1	171.7	171.4
Výška při proudění do sterilizátoru [°C]	168.7	168.5	168.5	168.5
Rozdíl výšek [°C]	2.5	2.6	3.2	2.9
Začátek píku [vzorek]	1202	1865	3770	6862
Konec píku [vzorek]	1238	1945	3840	6993
Šířka [počet vzorků]	36	80	70	131

Tab. 7: Analýza výšky a šířky skoků pro čistou páru 3

	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [°C]	171.3	171.1	171.5	171.1
Výška při proudění do sterilizátoru [°C]	168.7	168.4	168.3	168.4
Rozdíl výšek [°C]	2.6	2.7	3.2	2.7
Začátek píku [vzorek]	1205	1865	3774	6865
Konec píku [vzorek]	1240	1947	3845	6997
Šířka [počet vzorků]	35	82	71	132

Z výsledků lze odvodit, že spuštění rozdílného počtu sterilizátorů nemá vliv na změnu teploty čisté páry. I při spuštění 3 sterilizátorů zároveň docházelo k poklesu na velmi podobnou hodnotu teploty jako při spuštění 1 či 2 sterilizátorů. Ve všech měřeních teploty čisté páry jsou hodnoty poklesu téměř stejné, a proto se práce dále bude zabývat především šířkou skoků, které jsou závislé na počtu spuštěných sterilizátorů.

Pro úplnost analýzy jsou ještě v následujících tabulkách (tab. 8 a tab. 9) vypsány hodnoty měřených parametrů pro páru před a za výměníkem pro druhé měření.

Tab. 8: Analýza výšky a šířky skoků pro páru za výměníkem

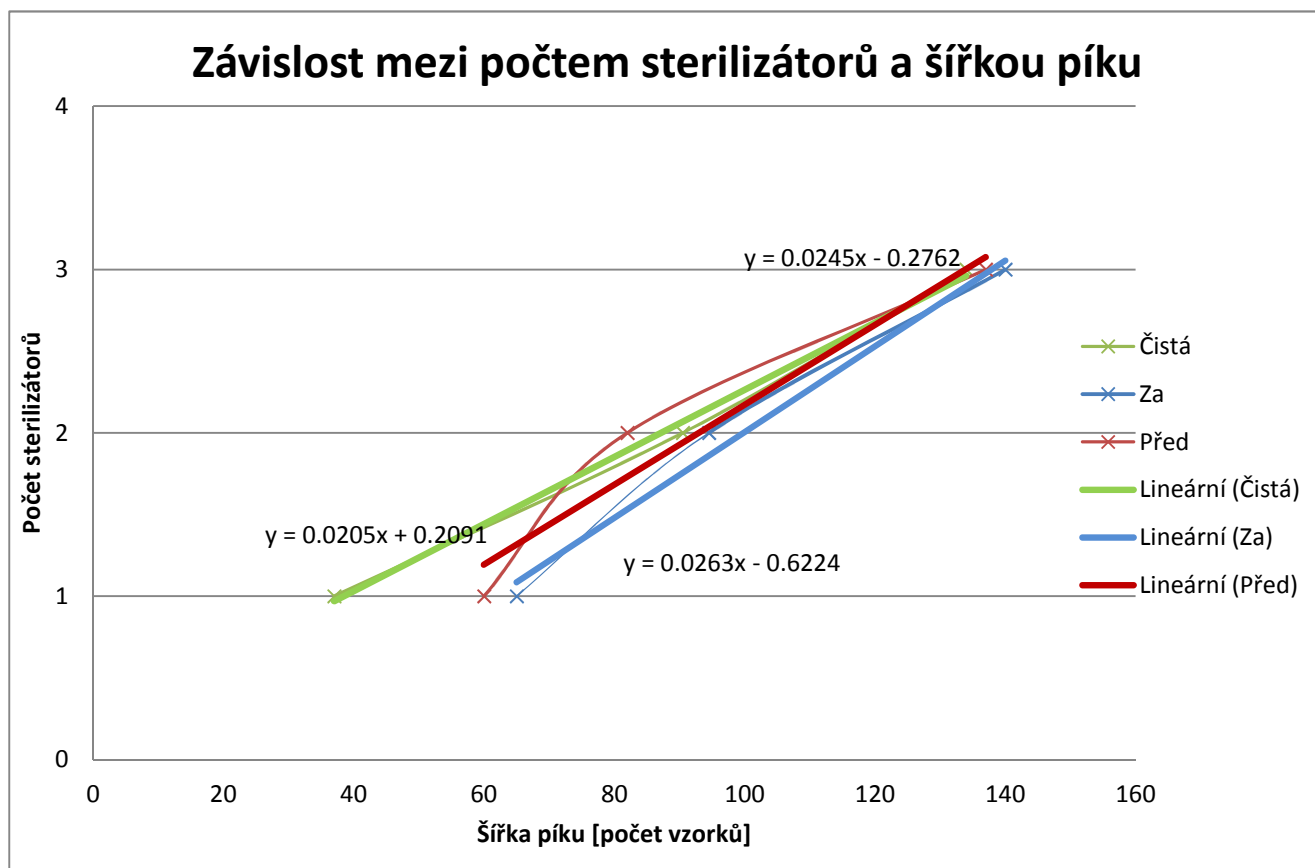
	Pára za výměníkem			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [°C]	165.4	164.8	165.1	165.2
Výška při proudění do sterilizátoru [°C]	160.3	160	160.1	160
Rozdíl výšek [°C]	5.1	4.8	5	5.2
Začátek píku [vzorek]	1503	2190	4105	7210
Konec píku [vzorek]	1563	2280	4190	7350
Šířka [počet vzorků]	60	90	85	140

Tab. 9: Analýza výšky a šířky skoků pro páru před výměníkem

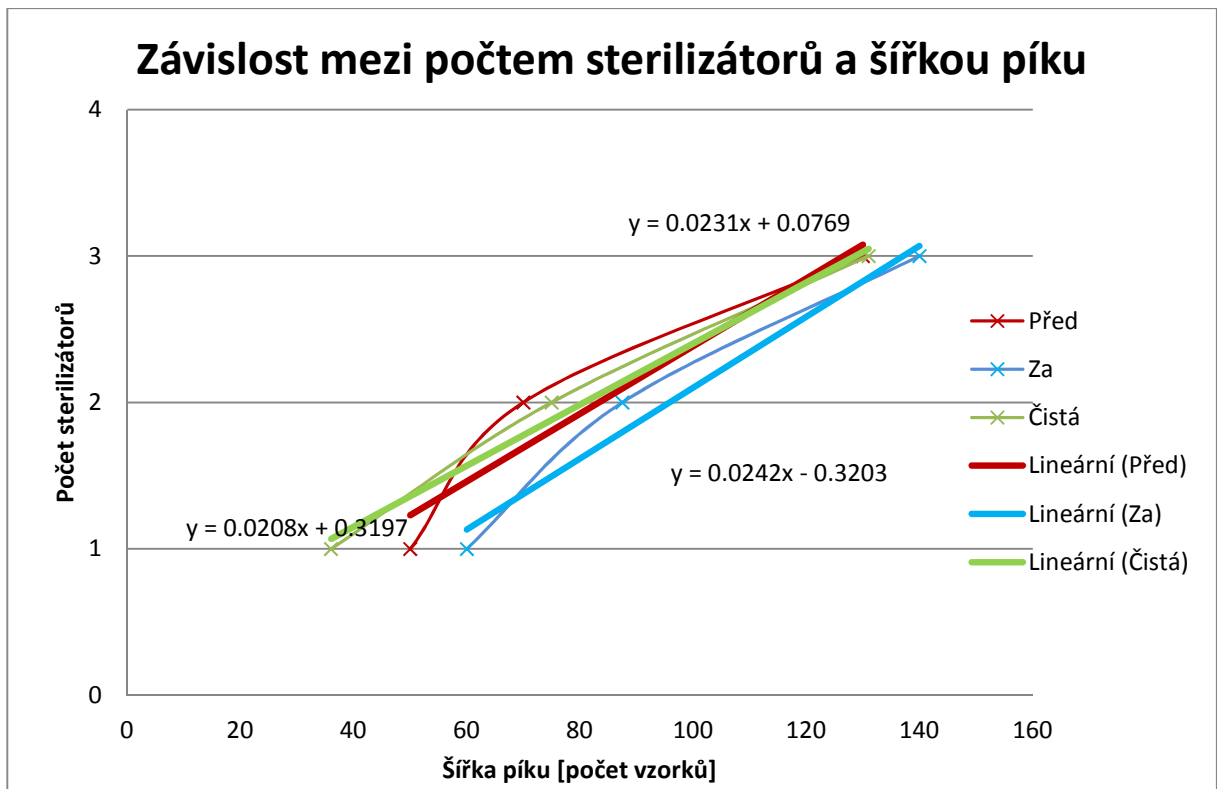
	Pára před výměníkem			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [°C]	165.5	164.3	164.7	165.5
Výška při proudění do sterilizátoru [°C]	163.1	162.8	162.8	162.8
Rozdíl výšek [°C]	2.4	1.5	1.9	2.7
Začátek píku [vzorek]	1505	2195	4110	7215
Konec píku [vzorek]	1555	2270	4175	7345
Šířka [počet vzorků]	50	75	65	130

Z výsledků je opět patrné, že počet spuštěných sterilizátorů nemá vliv na změnu teploty. Rozdíl výšek je pro čistou páru a pro páru před výměníkem téměř srovnatelný, pro páru za výměníkem je tento rozdíl větší, ale opět nedochází k velkému kolísání minimální teploty pro různý počet sterilizátorů.

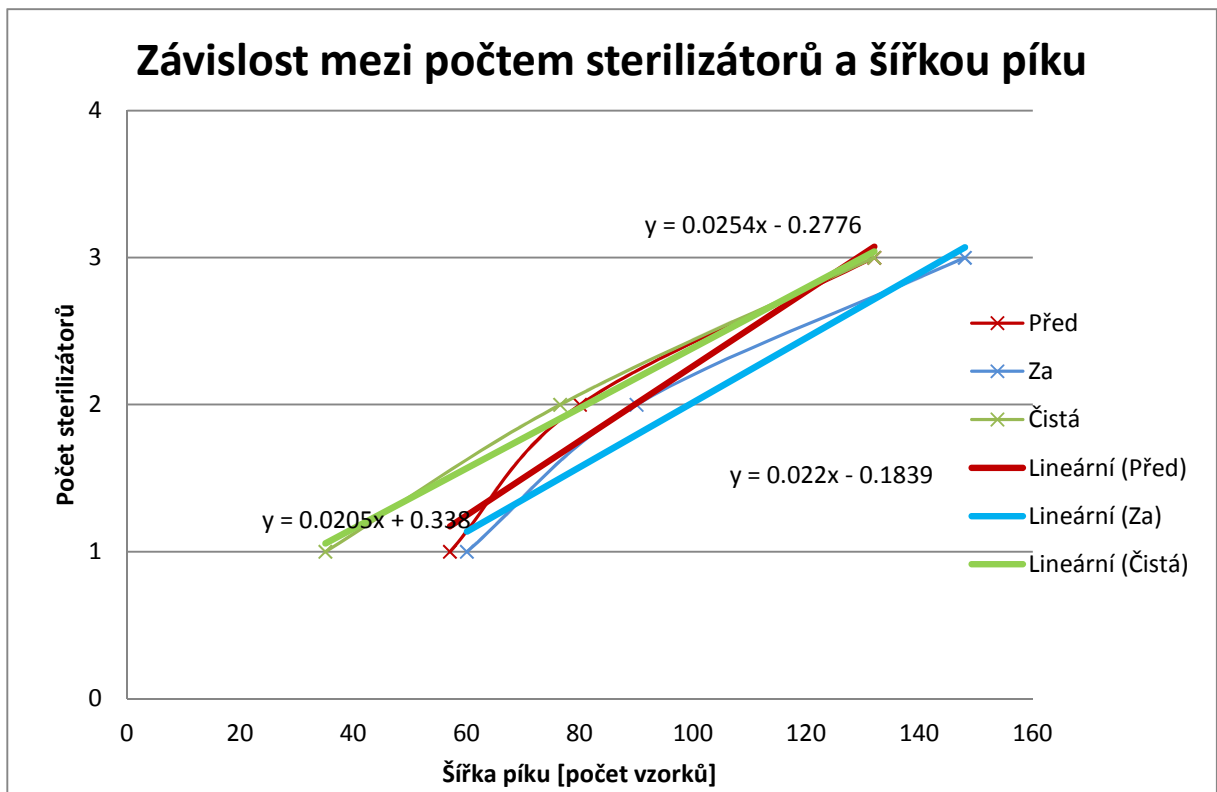
Na následujících grafech (graf 1, graf 2 a graf 3) jsou vyneseny závislosti mezi počtem spuštěných sterilizátorů a šířkou píku pro čistou páru a pro páru před výměníkem a za ním. Výsledné křivky jsou proloženy lineární regresní přímkou s vypsanou rovnicí regrese.



Graf 2: Závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku pro teplotu

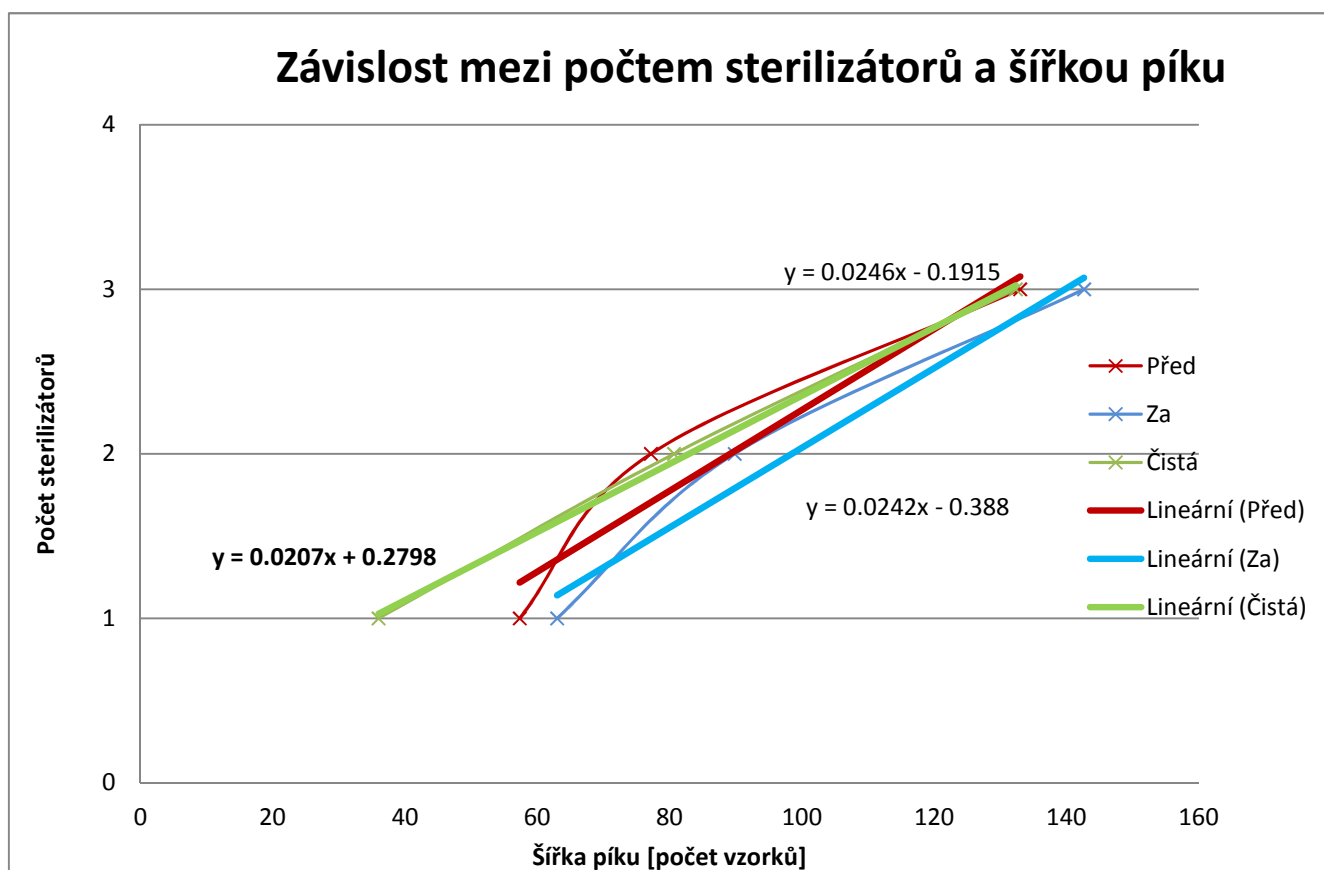


Graf 3: Závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku pro teplotu 2



Graf 4: Závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku pro teplotu 3

Pro lepší orientaci jsou všechny výsledné hodnoty zprůměrované a vloženy do grafu 5.



Graf 5: Průměrná závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku pro teplotu

Z výsledků regresní rovnice pro čistou páru vyplývá, že pro nulový skok teploty je nutné do sterilizátoru nechat konstantně proudit 0.2798 jeho objemu za 1 s. Objem používaných sterilizátorů je 245 l, z čehož vyplývá, že výsledný vhodný objem proudění činí 68,551 l čisté páry za 1 s. Při větších objemech již bude docházet k tvorbě nežádoucích píků, které jsou nežádoucím jevem a potenciálním tvůrcem patogenních bakterií při proces sterilizace materiálu.

Vzhledem k tomu, že v rovnicích regrese pro páru před a za výměníkem je posunutí přímky záporné, bude docházet i při minimálním proudění páry ke vzniku píků.

Další informací, kterou lze z výsledného grafu vyčíst, je skutečnost, že separátor páry je schopen tlumit vliv spuštěných sterilizátorů na snímané parametry. Směrnice čisté páry je o 0,004 nižší a přímka tedy není tak strmá jako v případě páry před tepelným výměníkem a za ním. Proto změna šířky píku pro větší počet sterilizátorů roste pro čistou páru pomaleji.

7.2.2 Vyhodnocení tlaku sterilizační páry stabilního systému

Při měření tlaku docházelo k jednoznačné tvorbě skoků pouze v případě čisté páry. Při měření tlaku páry před výměníkem a za ním, nebyly píky přesně identifikovatelné, a pokud v měření nějaké píky byly, neodpovídaly místům, kde došlo ke spuštění proudění do sterilizátorů. Z tohoto důvodu se práce zabývá pouze analýzou skoků hodnoty tlaku čisté páry. V následujících tabulkách jsou opět zanalyzovány jak šířky píků, tak i změna tlaku.

Tab. 10: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru

	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [bar]	4.51	4.5	4.53	4.52
Výška při proudění do sterilizátoru [bar]	4.37	4.41	4.41	4.41
Rozdíl výšek [bar]	0.14	0.09	0.12	0.11
Začátek píku [vzorek]	1210	1920	3898	7035
Konec píku [vzorek]	1250	2010	3980	7197
Šířka [počet vzorků]	40	90	82	162

Tab. 11: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru 2

	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [bar]	4.5	4.5	4.51	4.51
Výška při proudění do sterilizátoru [bar]	4.44	4.41	4.41	4.41
Rozdíl výšek [bar]	0.06	0.09	0.1	0.1
Začátek píku [vzorek]	1200	1925	3897	7057
Konec píku [vzorek]	1245	2020	3977	7200
Šířka [počet vzorků]	45	95	80	143

Tab. 12: Analýza výšky a šířky skoků tlaku pro čistou páru 3

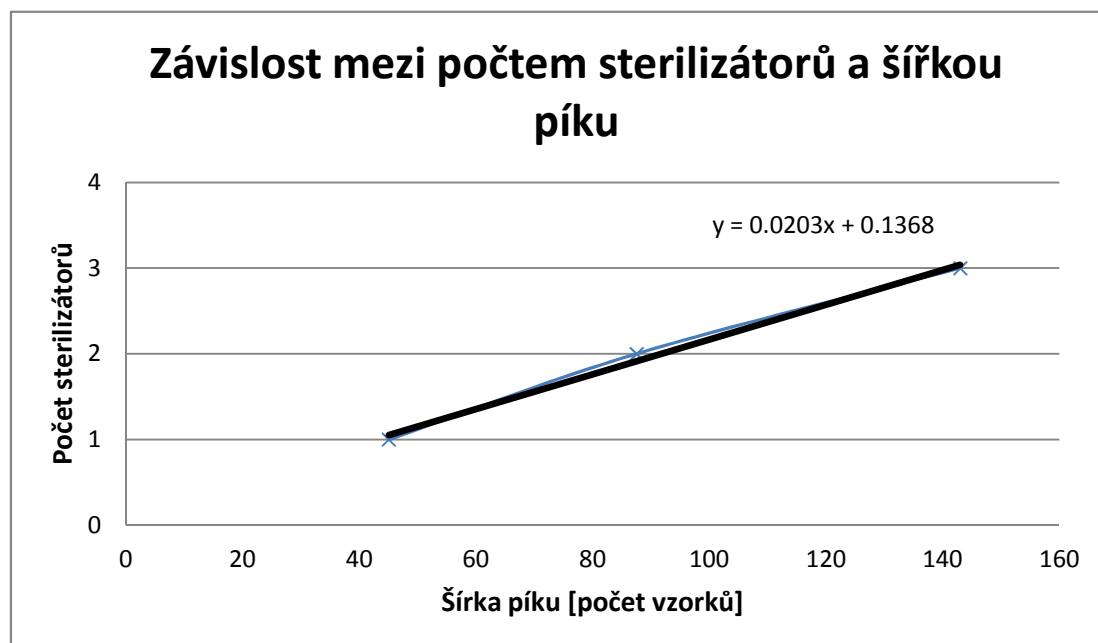
	Čistá pára			
	1 sterilizátor	2 sterilizátory	2 sterilizátory	3 sterilizátory
Původní výška [bar]	4.5	4.48	4.49	4.52
Výška při proudění do sterilizátoru [bar]	4.44	4.41	4.40	4.41
Rozdíl výšek [bar]	0.06	0.07	0.09	0.11
Začátek píku [vzorek]	1203	1902	3872	7030
Konec píku [vzorek]	1243	1995	3960	7175
Šířka [počet vzorků]	40	93	88	145

Z předchozích tabulek lze opět vyčíst závislost mezi počtem zároveň spuštěných sterilizátorů a šířkou skoku. Ovšem v případě minimální hodnoty tlaku, je výsledek stejný jako při teplotě. Při spuštění libovolného počtu sterilizátorů nedochází ke větším změnám minimální hodnoty tlaku.

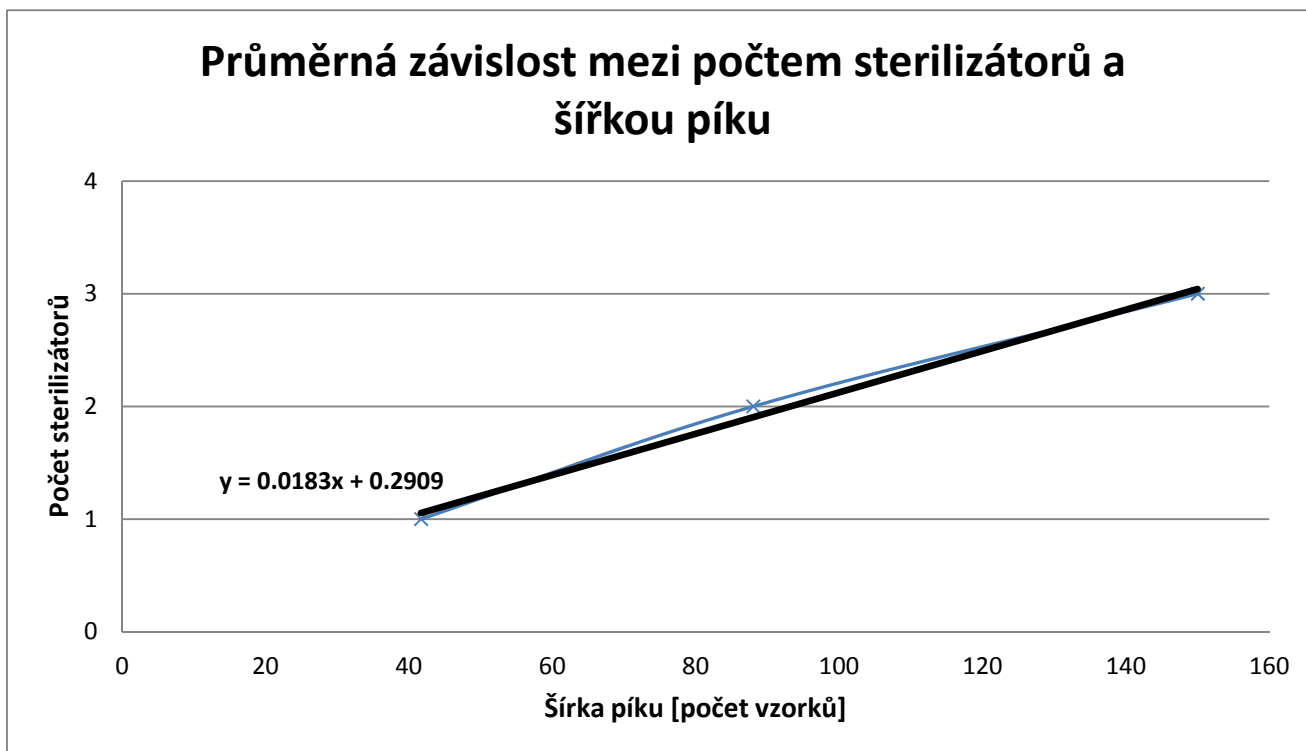
Na následujících grafech jsou vykreslené závislosti mezi šířkou píku a počtem zároveň spuštěných sterilizátorů.



Graf 6: Závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku čistě páry pro tlak



Graf 7: Závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku čistě páry pro tlak 2



Graf 8: Průměrná závislost mezi počtem sterilizátorů a šířkou píku čisté páry pro tlak

Z výsledků regresní rovnice vyplývá, že pro nulový skok tlaku je nutné do sterilizátoru nechat konstantně proudit 0.2909 jeho objemu za 1 s, což činí 71,2705 l za 1 s. V případě teploty byl objem pro nulový skok teploty roven 68,551 l za 1 s. Při proudění objemu blízkého zmíněným hodnotám, bude docházet k nejmenším možným změnám v parametrech čisté páry.

7.3 Měření parametrů pro nestabilní systém

Všechny předchozí měření byly snímány ve stabilním systému, tedy systému, který nebyl zcela automatizovaný a kde muselo docházet k zásahům člověka. V takovém případě bylo vypnuté proudění odluhu a kondenzátů ze separátoru páry, a také dopouštění demineralizované vody bylo nastaveno na minimální možnou hodnotu.

V případě nestabilního systému je již systém plně automatizován. Proudění odluhu i kondenzátu ze separátoru páry je povolené a zautomatizované, proudění demineralizované vody je také řízené počítačem a dle potřeby vedené do separátoru. V tomto případě docházelo k velkým změnám ve všech parametrech. Hladina demineralizované vody v separátoru nebyla ve svém správném rozmezí a navíc byla velmi rozbouřená. Žádný z parametrů nebyl stabilní, a proto budou měření a vyhodnocování dále pokračovat za účelem zlepšení stability parametrů pro automatizovaný systém. V současné době jsou realizovány úpravy na celém prototypovém zařízení za účelem instalace dalších komponent a realizaci úprav, které vzešly z doposud provedených měření.

8 CELKOVÉ SHRNU TÍ

Většina měření, která probíhala, byla uskutečněna ve stabilním systému pro vytváření čisté páry. Docházelo k měření tří základních parametrů, což byla teplota a tlak sterilizační páry a také elektrická vodivost demineralizované vody v separátoru páry. Dále byla orientačně měřena i vlhkost, jejíž hodnoty ovšem neukazovaly přesné hodnoty nejen z důvodu, že vlhkost sterilizační páry je minimální, ale především z důvodu, že použité vlhkostní senzory nebyly kalibrovány na tak vysokou teplotu. Získané hodnoty byly snímány pouze proto, aby ukázaly případnou velkou změnu vlhkosti.

Základem měření bylo spouštění jednoho či více sterilizátorů zároveň a snímání jednotlivých parametrů během tohoto měření. Vždy nejdříve došlo ke spuštění jednoho sterilizátoru, dále dvakrát po dvou sterilizátorech zároveň a nakonec se spustily tři sterilizátory.

Parametrem, při kterém docházelo k největším změnám a tvorbě největších skoků v průběhu měření, byla teplota páry. Z naměřených a vypočtených hodnot bylo zjištěno, že pro tvorbu nulového skoku je třeba nechat proudit do sterilizátoru 0,2798 jeho objemu. Objem použitých sterilizátorů je 245 l, z čehož vyplývá, že by bylo třeba nechat do sterilizátoru proudit 68,551 l za 1 s. Tímto průtokem by se ovšem sterilizátor naplnil pomaleji, než je žádoucí, protože nutný průtok činí přibližně 98 l za 1 s. V případě pomalejšího plnění sterilizátoru čistou párou by v něm mohlo docházet k nevhodným vlivům. Řešením tohoto problému by mohlo být využití sekundárního separátoru páry, který by podporoval funkci primárního separátoru. Pracovník by poté už jen zadal požadavek, na kolika sterilizátorech bude probíhat sterilizace a její začátek. Požadavek stačí zadat i půl minutu dopředu, protože i za tuto dobu je separátor schopen vytvořit dostatečné množství páry. Systém by vyhodnotil potřebné množství čisté sterilizační páry a automaticky zapnul její tvorbu jak v primárním, tak i sekundárním vyvíječi. Do sterilizátorů by poté proudila pára z obou separátorů pod vhodným objemem, ale rychlost naplnění by nebyla změněná.

Druhým parametrem, kde docházelo ke změnám v průběhu měření, byl tlak. Tlak byl vyhodnocen pouze pro čistou páru, protože při měření páry před výměníkem a za ním nebylo možné píky přesně identifikovat a zpracovat. Z výsledků pro čistou páru opět vyšel vhodný objem pro proudění do sterilizátoru, který činil 0,2909 objemu, tedy 71,2705 l za 1 s.

Posledním zpracovávaným parametrem byla elektrická vodivost demineralizované vody v separátoru páry. Tento parametr neprojevil žádnou závislost na spouštění různého počtu sterilizátorů a po celou dobu si udržoval téměř stálou hodnotu.

Z výsledných vypočtených objemů pro teplotu a tlak vyplývá, že pokud bude do sterilizátoru proudit objem páry podobný zmíněným hodnotám, eliminují se skoky parametrů na minimum.

ZÁVĚR

Hlavní náplní diplomové práce bylo nalezení a měření vhodných fyzikálních parametrů pro analýzu kvality syté sterilizační páry dle normy ČSN EN 285+A2. Tento prvek tvoří základ pro nahrazení zastaralých procesů analýzy nekondenzovaných plynů. Používané procesy totiž mají množství nedostatků, mezi které patří především nemožnost automatizace systému a velmi velká časová i finanční náročnost. Nalezení vhodných parametrů a způsoby jejich kontinuálního měření určí informace pro vytvoření moderních automatizovaných systémů.

Teoretická část diplomové práce se zabývá popisem fyzikální sterilizace sytou párou a dalších metod fyzikální a chemické dezinfekce a sterilizace, jejich principy, parametry pro správnou funkčnost, možnosti využití pro různé materiály a jejich výhody a nevýhody. V další části se práce věnuje popisu vzniku syté páry a jejím vlastnostem a parametrům, které je nezbytné dodržet pro funkční sterilizaci ve sterilizačních komorách, a metodám pro kontrolu kvality sterilizační páry. Tyto metody ovšem vykazují velké množství nedostatků a jsou v rámci diplomové práce nahrazeny senzory, které parametry sterilizační páry snímají.

V poslední kapitole teoretické části práce popisuje senzory, které by bylo možné využít pro zaznamenávání fyzikálních parametrů. U každé veličiny je vybráno několik druhů senzorů, které jsou vhodné pro měření vlastností sterilizační páry. Práce rozebírá jejich princip a výhody a nevýhody při využití v procesu sterilizace.

Praktická část popisuje návrh a realizaci celého systému měření, klíčové měřicí body, vybrané měřené parametry a senzory pro jejich měření. Jako nejdůležitější parametry byly vybrány teplota, tlak, vlhkost a elektrická vodivost demineralizované vody v separátoru páry. Další kapitolou je popis systému vyvíjení sterilizační páry i s umístěným vybraných senzorů. Tyto senzory snímají fyzikální parametry, které práce dále zpracovává a hodnotí. Součástí této kapitoly je popis automatizovaného měřicího systému postaveného na PLC (AMiNi4Ds).

Z výsledků je patrné, že největší změny v průběhu měření se vyskytovaly u teploty páry. Po vyhodnocení veškerých měření bylo určeno, že nejvhodnější objem páry, který proudí za jednotku času do sterilizátoru, je 68,551 l. V případě tlaku je tento objem 71,2705 l. Vzhledem k tomu, že je třeba, aby byl celý sterilizátor naplněn párou co nejrychleji, a vhodný průtok činí přibližně 98 l za 1 s, bylo by vhodné výše uvedené objemy dorovnat použitím sekundárního vyvíječe páry. Výše zmíněné výsledky platí pouze pro stabilní systém, kde bylo vypnuto odvádění odluhu a kondenzátu ze separátoru páry a přívod demineralizované vody byl minimální. Tento systém ovšem není zcela automatizovaný. V případě nestabilního, zcela automatizovaného systému, kde je proudění odluhu a kondenzátu zapnuté a demineralizovaná voda proudí do separátoru dle potřeby, docházelo k velmi velkým výkyvům u všech parametrů. V rámci dalšího studia a vývoje budou zkoumány možnosti pro ustálení měřených fyzikálních parametrů sterilizační páry, aby mohlo dojít k používání zcela automatických

systemů.

V průběhu analýz a měření byly zjištěny i nedostatky v konstrukci separátorů zejména při automatizovaném provozu. Proto byly navrženy drobné úpravy, které se týkají rychlosti odluhu, rychlosti dopuštění demí vody a omezení nárazů odběrů užitné páry. Všechny tyto kroky vedou k náhradě analýzy páry pomocí měření nekondenzovaných plynů automatizovaným měřicím systémem s kontinuálním vyhodnocením.

LITERATURA

- [1] MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Ochranná dezinfekce*. Vydání první. Praha: Sdružení DDD a Společenstvo drobného podnikání, 2003. ISBN 80-02-01559-2.
- [2] PODSTATOVÁ, Hana. *Hygiena provozu zdravotnických zařízení a nová legislativa*. Vydání první. Olomouc: EPAVA, 2002. ISBN 80-86297-10-1.
- [3] MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Sterilizace a dezinfekce ve zdravotnictví*. Vydání první Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., 1998. ISBN 80-7169-442-8.
- [4] MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Dezinfekce a sterilizace ve zdravotnictví: Aktuální přehled*. Praha: Grada Avicenum, 1994. ISBN 80-7169-095-3.
- [5] SVOBODA, Karel. *Dezinfekce a sterilizace v prevenci nozokomiálních nákaz*. Vydání druhé. Praha: Avicen -Zdravotnické nakladatelství, 1975.
- [6] ŠVÁB, Jan. *Dezinfekce a sterilizace v souvislosti s invazivními vyšetřovacími zákroky a chirurgickými a invazivními výkony* [online]. 2003 [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2003/12/03.pdf>
- [7] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Sytá pára* [online]. 2006 [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/654-syta-para>
- [8] VLACHOVÁ, Magda. *Sytá a přehřátá pára* [online]. 2008 [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d6f6c656b756c6f76e12066797a696b61h&key=611
- [9] ČSN EN 285+A2. *Sterilizace - Parní sterilizátory - Velké sterilizátory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologie a státní zkušebnictví, 2009.
- [10] CIBULKA, Ivan, Lubomír HNĚDKOVSKÝ a Vladimír HYNEK. *Základní fyzikálně-chemické veličiny a jejich měření*. Praha, 2006. Dostupné z: http://www.vscht.cz/fch/cz/pomucky/FCHV_all_7.pdf
- [11] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [12] HRUBANT, Ladislav a Jan HRUBANT. *Odporové tenzometry z pohledu využití v automatizovaných soustavách*. Automa [online]. 2004, č. 7 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070427.pdf>
- [13] MIKAN, Jaroslav. *Měření plynu*. Říčany u Prahy: GAS s.r.o., 2003. ISBN 80-7328-053-1.
- [14] KADLEC, Karel. *Snímače tlaku - principy, vlastnosti a použití (část 1)*. Automa [online]. 2007, č. 2 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au020728.pdf>
- [15] KADLEC, Karel. *Snímače průtoku- principy, vlastnosti a použití (část 1)*. Automa [online]. 2006, č. 10 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100605.pdf>

- [16] *Proudění, rychlost a průtok plynů*. Průtoky.cz [online]. [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.prutoky.cz/plyny/prandtlovy-trubice/>
- [17] ORLÍKOVÁ, Soňa. *Měření průtoku tekutin - principy průtokoměrů*. Elektrotechnika [online]. 2001, č. 49 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: http://www.elektrotechnika.cz/clanky/01049/index.html#_Měření_rychlosti_proudění
- [18] *Měření vlhkosti vzduchu*. [online]. 2006 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>
- [19] MAREŠ, Luděk. *Vlhkost vzduchu a její měření*. [online]. 2006 [cit. 2012-11-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [20] OPEKAR, František. *Konduktometrie a dk-metrie*. Eurochem.cz [online]. 2006 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z: http://www.eurochem.cz/polavolt/obecne/elchem_metody/konduktometrie/oekar/konduktometrie.htm
- [21] Základní charakteristiky PLC a srovnání s PC. *Teco: Advanced Automation* [online]. 2009 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: http://www.tecomat.com/clanek_674_zakladni-charakteristiky-plc-a-srovnani-s-pc.html
- [22] *PLCtutor.com* [online]. 2004, 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.plctutor.com/>
- [23] *JUMO: Produkty* [online]. 2000, 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.jumo.cz/>
- [24] Převodníky teplota - proud. *Sensit* [online]. 2010 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.sensit.cz/sortiment/prevodniky-teplota-proud.php>
- [25] EE31: Humidity transmitter for accurate measurement up to 180°C. *E+E* [online]. 2003 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.epluse.com/en/products/humidity-instruments/industrial-humidity-transmitters/ee31/>
- [26] HUGHES, Thomas A. Primer on programmable controllers. *InTech* [online]. 2007 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?Section=Departments4&template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=65743>
- [27] Kompaktní řídicí systém s rozhraním Ethernet: Návod na obsluhu. *AMiT* [online]. 2009 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.amit.cz/docs/cz/amini/amini4ds_g_cz_100.pdf
- [28] DAY, John. How signal chains and PLCs impact our lives. *John Day's Automotive Electronics* [online]. 2012 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://johndayautomotiveelectronics.com/how-signal-chains-and-plcs-impact-our-lives/>

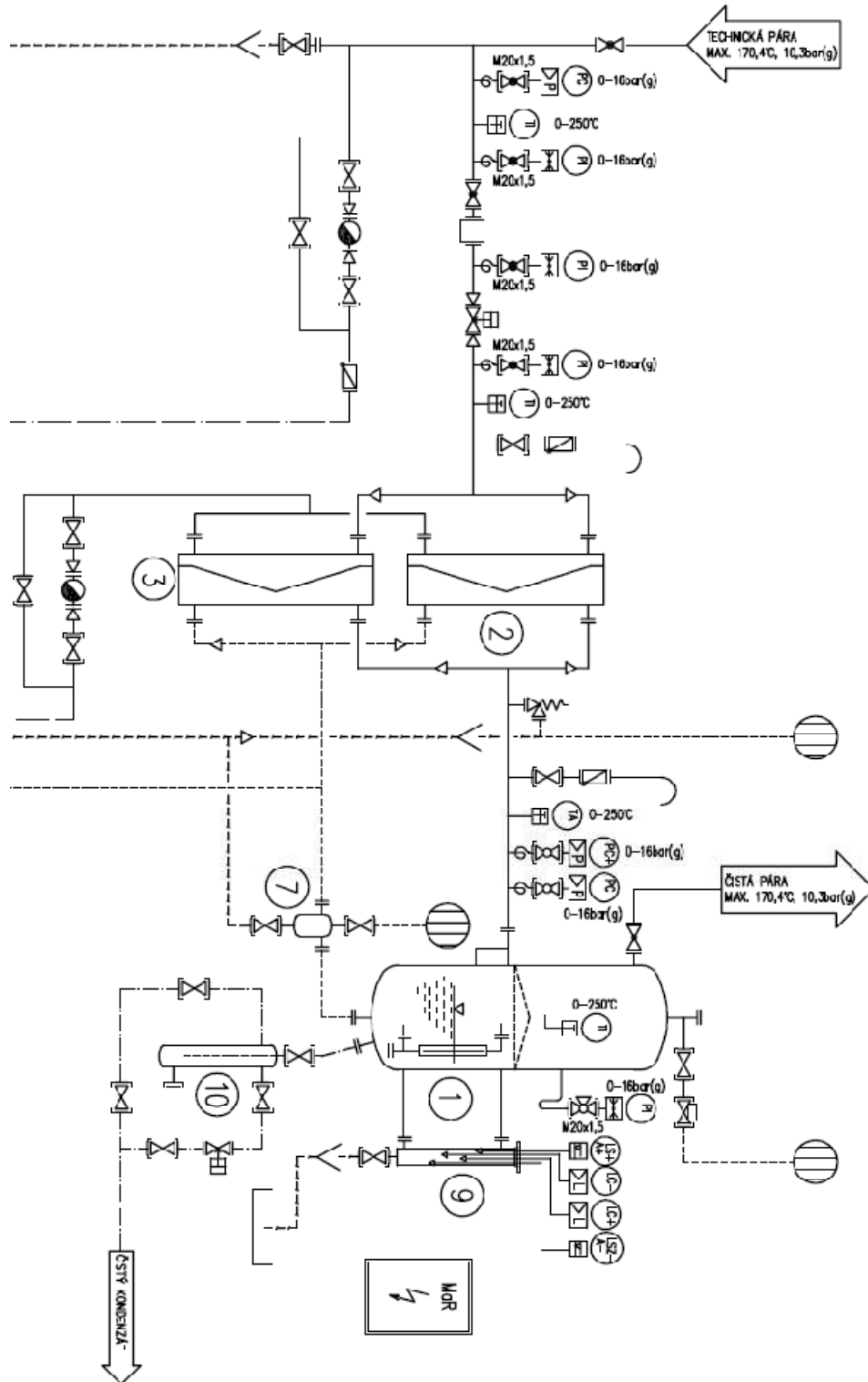
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ VELIČIN

ČSN	České technické normy
SÚKL	Státní ústav pro kontrolu léčiv
Co	Kobalt
Cs	Cesium
-NH ₂	Amidová skupina
-OH	Hydroxylová skupina
SiO ₂	Křemičitany
P ₂ O ₅	Fosforečnany
LED	Dioda emitující světlo
PLC	Programovatelný logický automat
<i>T</i>	Teplota [<i>K</i>]
<i>p</i>	Tlak [<i>Pa</i>]
<i>T_A</i>	Teplota tuhnutí syté páry [<i>K</i>]
<i>p_A</i>	Tlak tuhnutí syté páry [<i>Pa</i>]
<i>K</i>	Kritický bod
<i>T_K</i>	Kritická teplota syté páry [<i>K</i>]
<i>p_K</i>	Kritický tlak syté páry [<i>Pa</i>]
<i>ρ_K</i>	Kritická hustota syté páry [<i>kg.m⁻³</i>]
<i>A</i>	Konstanta, její hodnota činí 42,6776
<i>B</i>	Konstanta, její hodnota činí -3892,7
<i>C</i>	Konstanta, její hodnota činí -9,48654
<i>R</i>	Elektrický odpor [<i>Ω</i>]
<i>t</i>	Čas [<i>s</i>]
<i>ΔR</i>	Změna odporu [<i>Ω</i>]
<i>ε</i>	Poměrná deformace [<i>m/m</i>]
<i>l</i>	Délka [<i>m</i>]
<i>Δl</i>	Změna délky [<i>m</i>]
<i>C1, C2</i>	Konstanty deformační rovnice
<i>h</i>	Výška [<i>m</i>]
<i>ρ</i>	Hustota [<i>kg.m⁻³</i>]
<i>g</i>	Gravitační zrychlení [<i>m.s⁻²</i>]

C	Elektrická kapacita [F]
Z	Impedance [Ω]
X_C	Kapacitní reaktance [Ω]
G	Elektrická vodivost [S]

PŘÍLOHY

A Schéma zapojení čisté páry



Obr. 42: Schéma zapojení čisté páry

Celý technický výkres i s legendou je umístěn jako příloha na přiloženém CD.