



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

**NÁVRH NOVÉHO KONTINUÁLNÍHO SYSTÉMU MĚŘENÍ
JAKOSTI PÁRY**

PROPOSAL FOR A NEW SYSTEM OF CONTINUOUS QUALITY MEASUREMENT PAIRS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Anežka Foltová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

BRNO 2016

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Bc. Anežka Foltová

ID: 147479

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Návrh nového kontinuálního systému měření jakosti 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 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) Navrhněte vhodné postupy pro zvýšení efektivity sterilizace zdravotnického materiálu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] MELICHERČIKOVÁ V. Ochranná dezinfekce. Sdružení pracovníků dezinfekce, Dezinsekce 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: 8.2.2016

Termín odevzdání: 20.5.2016

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

Konzultant 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

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nového kontinuálního systému měření jakosti sterilizační páry. Na začátku se seznámíme s procesem sterilizace, jejími metodami a postupy. Poté s pojmem sytá pára, jejími parametry pro sterilizaci a senzory, kterými se parametry měří. Poté je zde popsán postup současného měření kvality sterilizační páry a následně návrh nového měření kvality páry. Po návrhu proběhlo měření dat, jejich analýza a vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

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

ABSTRACT

This paper deals with proposal of new continual system for quality measurement of sterilization steam. At the begining the process of sterilization is introduced. Then the concept of saturated streams, parameters for sterilization and sensors for measurement are described. Then the current process of measurement of steam quality is described and in the last part the proposal of the new system is introduced. After the draft was the measurement data, analysis and evaluation.

KEYWORDS

Sterilization, saturated steam, parameters af steam steriilization, steam quality measurement

FOLTOVÁ, A. *Návrh nového kontinuálního systému měření jakosti páry*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 58 + 1 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Holcman, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Návrh nového kontinuálního systému měření jakosti 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 autorka 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 následujících 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

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Holcmanovi Ph.D. za účinnou odbornou pomoc a poskytnutí cenných rad při zpracování mé diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině a partnerovi za psychickou podporu a pevné nervy.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 Dezinfekce a sterilizace	2
1.1 Dezinfekce	2
1.1.1 Fyzikální metody dezinfekce	3
1.1.2 Chemické metody dezinfekce	3
1.1.3 Fyzikálně – chemické metody dezinfekce	3
1.2 Vyšší stupeň dezinfekce.....	3
1.3 Sterilizace.....	4
1.3.1 Předsterilizační příprava	4
1.3.2 Fyzikální sterilizace	5
1.3.3 Chemická sterilizace	6
1.3.4 Centralizovaná sterilizace	7
1.3.5 Obalové materiály	7
1.3.6 Kontrola sterilizace	8
2 Suchá přehřátá pára	9
2.1 Požadavky na sterilizační páru	9
3 Senzory páry	12
3.1 Senzory tlaku	12
3.1.1 Deformační senzory	12
3.1.2 Hydrostatické senzory.....	13
3.1.3 Kapacitní senzory	14
3.1.4 Senzory s odporovými tenzometry	14
3.2 Senzory teploty	16

3.2.1	Odporové kovové senzory teploty	16
3.2.2	Polovodičové odporové senzory teploty.....	17
3.2.3	Termoelektrické články	17
3.3	Senzory vlhkosti	17
3.3.1	Kapacitní senzory	18
3.3.2	Odporové senzory	18
3.3.3	Komparační senzory	19
3.3.4	Kondenzační senzory.....	19
3.3.5	Psychrometr	20
3.4	Senzory průtoku.....	20
3.4.1	Objemové senzory	20
3.4.2	Rychlostní senzory.....	21
4	Měření kvality páry	22
4.1	Zkouška suchosti páry	22
4.2	Zkouška přehřátí páry	23
4.3	Zkouška na nekondenzovatelné plyny.....	23
5	Návrh nové metody měření	25
5.1	Použité senzory	25
5.2	Schéma zapojení	26
5.3	Řízení systému a sběr dat ze senzorů.....	28
5.3.1	Elektronický řídicí systém vyvíječe čisté páry s deskovým výměníkem	28
		29
5.3.2	Elektronický systém sběru dat z jednotlivých měřících fyzikálních	
	senzorů	29
6	Vlastní měření	32
6.1	Měření teploty.....	33
6.2	Měření tlaku.....	39

6.3	Měření vodivosti	42
7	Vyhodnocení	44
7.1	Analýza teploty	44
7.1.1	Měření bez ustálení	44
7.1.2	Měření s ustálením	48
7.1.3	Kombinovaná analýza	51
7.2	Analýza tlaku	52
8	Závěr	55
	Literatura	57
	Příloha	59
	Schéma zapojení čisté páry	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Základní tvary deformačních tlakoměrů – Bourdova trubice, membrána, krabice, vlnovec [2]	13
Obr. 2.: Schéma hydrostatického senzoru [10]	14
Obr. 3.: Kapacitní senzor tlaku s rovinným připojením [11]	14
Obr. 4.: Odporový kovový senzor teploty	16
Obr. 5.: Typy termistorů	17
Obr. 6.: Typy kapacitních senzorů vlhkosti	18
Obr. 7.: Typy odporových senzorů [16]	18
Obr. 8.: Typy a charakteristiky kondenzačních senzorů [16]	19
Obr. 9.: Psychrometr	20
Obr. 10.: Membránový objemový senzor, části I, II, III a IV jsou odměrné prostory [17]	21
Obr. 11.: Tlakové poměry v okolí škrťacího orgánu [18]	21
Obr. 12.: Schéma aparatury pro měření suchosti sterilizační páry [9]	22
Obr. 13.: Schéma aparatury pro měření přehřátí sterilizační páry [9]	23
Obr. 14.: Schéma aparatury pro měření přítomnosti nekondenzovatelných plynů [9]	24
Obr. 15.: Dva prototypové vyvíječe	26
Obr. 16.: Detail schématu s označenými měřicími body	27
Obr. 17.: Systém s centrální procesorovou jednotkou AD-CPUW2 (AMIT)	29
Obr. 18.: Komunikační možnosti centrální jednotky CCPU-03	30
Obr. 19.: Universální analogový modul CAIO12	31
Obr. 20.: Vizualizace měřených dat	31
Obr. 21.: Znázornění postupu měření	33
Obr. 22.: Naměřená data z 2 uzlu měření	34
Obr. 23.: Přiblížená naměřená data z 2. uzlu měření	34
Obr. 24.: Ukázka naměřených dat ze všech tří měřených uzlů	35
Obr. 25.: Detail 2 události, průměrovací filtr s nastavením velikosti okna 5, 25 a 65	36
Obr. 26.: Detail 2 událost, mediánový filtr s nastavením velikosti okna 5, 25 a 65	36
Obr. 27.: Data z 3 uzlu měření s detailem na zapojení 1, 3 a 4 sterilizátorů (1, 3 a 4 pík)	37
Obr. 28.: Ukázka měření události (čtvrtá událost 3 uzlu měření)	38
Obr. 29.: Detaily jednotlivých událostí s proložením obdélníku, 3 postup měření	38

Obr. 30.: Naměřená data z 3 uzlu měření.....	39
Obr. 31.: Přiblížená naměřená data z 3 uzlu měření	40
Obr. 32.: Porovnání různých průměrovacích oken na naměřený signál	40
Obr. 33.: Detail třetí události vyfiltrovaných dat	41
Obr. 34.: Detail třetí události vyfiltrovaného signálu po odstranění zákmitu	41
Obr. 35.: Naměřená data z 3 uzlu měření.....	42
Obr. 36.: Přiblížená naměřená data z 3 uzlu měření	43
Obr. 37.: Vyfiltrovaná naměřená data z 3 uzlu měření	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.: Parametry sterilizace v přístrojích [1].....	7
Tab. 2.: Hraniční hodnoty znečištění pro napájecí vodu a páru [8]	10
Tab. 3.: Přehled hodnot podle normy [8]	10
Tab. 4.: Parametry základních senzorů tlaku [10].....	15
Tab. 5.: Naměřená velikost jednotlivých událostí.....	45
Tab. 6.: Zprůměrovaná naměřená data se směrodatnými odchylkami.....	45
Tab. 7.: Naměřená velikost jednotlivých událostí.....	48
Tab. 8.: Zprůměrovaná naměřená data se směrodatnými odchylkami.....	49
Tab. 9.: Obsahy jednotlivých událostí pro 3 uzel měření.....	51
Tab. 10.: Naměřené velikosti jednotlivých událostí.....	53
Tab. 11.: Zprůměrované naměřené hodnoty událostí se směrodatnými odchylkami	53

ÚVOD

Aby nedocházelo k přenosu mikroorganismů na pacienta, čímž by se zabránilo tvorbě infekcí, je nutná dezinfekce a sterilizace všech používaných nástrojů a ploch. Aby bylo zaručeno, že proces dezinfekce a sterilizace proběhnou správně, a nástroj bude správně vyčištěn, je potřeba kontrolovat průběhy procesů. Tato práce se bude zabývat procesem sterilizace a jejími metodami pro kontrolu správného průběhu.

Na začátku práce bude seznámeno se základními procesy a metodami dezinfekce a sterilizace. Dále bude řešeno, jaké parametry musí splňovat sterilizační pára, a také voda, ze které se pára tvoří. Tyto parametry jsou obsaženy v normě ČSN EN 285 + A2 a musí být splněny. Jedná se o kalorimetrickou metodu, která je zdlouhavá a nedá se jakkoli automatizovat. Primárním cílem předložené práce je najít měřitelné fyzikální parametry a senzory tak, aby mohly nahradit stávající ruční metodu. V práci se podrobně budeme zabývat jednotlivými fyzikálními senzory, které budou vhodné pro dostatečně přesné posouzení fyzikálních parametrů sterilizační páry. Následně bude rozebrán celý systém vyvíječe sterilizační páry, specifikovány klíčové měřicí body pro vyhodnocení a popsány systémy, využívající se pro zajištění chodu celého systému a zajištění sběru měřených dat z jednotlivých senzorů.

Po návrhu bude tento systém podroben testování na různé fyzikální parametry pomocí předem specifikovaných zkoušek, které budou mít za cíl otestovat stabilitu celého systému a vhodnost použitých senzorů. Následně budou naměřená data zpracována, vyhodnocena a proběhne zhodnocení celého navrženého systému.

1 DEZINFEKCE A STERILIZACE

Člověk je v rámci svého života neustále obklopen různými vnějšími faktory. Jedním z velmi výrazných faktorů je každodenní střet s miliardami mikroorganismů. Převážná většina nemá na člověka výrazný vliv. Některé jsou potřebné a jsou nezbytnou součástí lidských orgánů, např. pohlavních orgánů, trávicího traktu. Avšak další skupinou jsou mikroorganismy, které jsou pro lidské tělo patogenní. Tyto mikroorganismy mohou způsobit i infekční onemocnění. Aby se zabránilo škodlivému působení mikroorganismů, je využíváno dezinfekce a sterilizace. Prostředky a postupy dezinfekce a sterilizace musí být schváleny hlavním hygienikem České republiky. Ještě než jsou postupy a prostředky schváleny a uvedeny do praxe jsou testovány standardními metodami v laboratoři i v reálných podmínkách. [1],[2]

1.1 Dezinfekce

Dezinfekce je soubor opatření, zneškodňujících mikroorganismy pomocí fyzikálních, chemických nebo kombinovaných postupů, díky kterým se přeruší cesta nákazy od znečištěného zdroje k vnímavé osobě. [3]

Pomocí dezinfekce lze dosáhnout usmrcení mikroorganismů, které jsou na neživých předmětech, ve vnějším prostředí nebo na neporušené pokožce. Cílem je, aby na předmětech a v prostředí nebyly mikroorganismy, které by mohly vést k infekci jedince. Dezinfekční prostředky nemusí působit na organismy jen toxicky. Některé typy dezinfekčních prostředků jsou schopny ovlivnit metabolismus mikroorganismů. [1]

V praxi se využívají různé způsoby provádění dezinfekce. Provedení záleží hlavně na předmětu, který se dezinfikuje a na prostředcích, které dané pracoviště má. Mezi základní způsoby patří

- Ponoření - předměty se zcela ponoří do dezinfekčních roztoků na přesně stanovenou dobu.
- Otření - dezinfekční prostředek se pomocí pomůcky (hadr, mop) aplikuje na požadovaná místa.
- Postřik - dezinfekční prostředek je ve formě aerosolu nebo pěnou, přípravky se aplikují pěnotvorným zařízením.

Dále se metody dezinfekce rozdělují podle principu metody na fyzikální, chemické nebo kombinované. [1]

1.1.1 Fyzikální metody dezinfekce

Tyto postupy využívají různých forem tepla (suché a vlhké) a záření (ultrafialové a radiační). Jednou z výhod je, že ekologicky neznečišťují okolí. Hlavní fyzikální metody jsou:

- var v atmosférickém tlaku po dobu 30 minut,
- var v přetlakových hrncích po dobu 20 minut,
- dezinfekce v mycích, pracích a parních přístrojích při teplotě vyšší než 90°C,
- proudící horký vzduch při teplotě 110 °C po dobu 30 minut,
- pasterizace, UV záření. [3]

1.1.2 Chemické metody dezinfekce

Při tomto dezinfekčním procesu jsou mikroorganismy likvidovány aplikací chemických prostředků v podobě roztoku či aerosolu o stanovené koncentraci dezinfekční látky. Mikroorganismy jsou látkami buďto usmrceny nebo je zastaven jejich růst. Dezinfekční prostředky mají buď široké spektrum dezinfekční účinnosti, nebo naopak úzké spektrum dezinfekční účinnosti. Je zásadní, aby byla použita správná technika a prostředky. Nerespektování vlivu vnějších a vnitřních faktorů, které působí na vývoj mikroorganismu, může velmi ovlivnit výsledný efekt dezinfekce. Přesto je chemická dezinfekce v praxi používanější než fyzikální metody. [1], [3]

1.1.3 Fyzikálně – chemické metody dezinfekce

Při těchto metodách jsou využívány fyzikální a chemické metody současně. Nejčastějšími používanými metodami jsou Paroformaldehydová dezinfekční komora. Ta využívá kombinace vodní páry při teplotě 45 – 75°C a páry formaldehydu. Další využití je u přístrojů určených k praní, mytí a čištění, kde dezinfekce probíhá při teplotě do 60°C s kombinací s chemickými dezinfekčními prostředky. Výhodou těchto metod je nižší spotřeba energie při zahřívání páry, ale na druhou stranu je potřeba nakoupit a skladovat chemikálie a řešit jejich ekologické likvidování. [1], [3]

1.2 Vyšší stupeň dezinfekce

Vyšší stupeň dezinfekce jsou postupy, které zaručují, usmrcení většiny mikroorganismů – bakterií, mikroskopických hub, virů a některých bakteriálních spor. Avšak nezaručují usmrcení vysoce rezistentních spor a vývojových stádií zdravotně významných červů a jejich vajíček. Tato metoda se používá pro přístroje s optikou a pro

prostředky zdravotnické techniky, tj. výrobky, nástroje, přístroje, pomůcky a materiály používané samostatně či v kombinaci, které jsou výrobcem určeny pro použití na člověka, ale které nelze sterilizovat v přístrojích. [1], [3]

1.3 Sterilizace

Sterilizace je nejdokonalejší metoda pro odstranění všech mikroorganismů. Je schopna zlikvidovat všechny životaschopné mikroorganismy včetně spor, inaktivace virů a usmrcení zdravotně významných červů a jejich vajíček. Všechny nástroje a pomůcky, které porušují celistvost pokožky a sliznic musí být sterilní. [1], [3]

Aby byla sterilizace úspěšná, je potřeba dosáhnout bezpečné úrovně sterility (SAL – Sterility Assurance Level) 10^{-6} . Ta zaručuje, že na 1 milion sterilizovaných předmětů po správně proběhnutém procesu sterilizace bude méně než 1 nesterilní předmět. [1], [2]

Správné provedení sterilizace je závislé už na předsterilizační přípravě. Průběh sterilizace je potřeba monitorovat a sledovat základní faktory sterilizačního procesu zda probíhá podle požadavků. Po ukončení sterilizace se zkontroluje kvalita pomocí biologických a nebiologických indikátorů sterilizace. Celkově lze sterilizace chápat jako proces složený ze tří částí – předsterilizační příprava, vlastní sterilizace a poslední uložení a expedice. Samotná sterilizace lze provést dvěma způsoby – fyzikální a chemickou. [1]

1.3.1 Předsterilizační příprava

Aby byla sterilizace účinná, je nutné, aby předměty byly předem mechanicky očištěny a dezinfikovány. Pokud nástroje nejsou kontaminované biologickým materiálem, krok dezinfekce je přeskočen a probíhá jen mechanická očista. Nejčastějšími metodami předsterilizační přípravy jsou strojový postup mytí či čištění ultrazvukem. Ve strojovém postupu mytí probíhá čištění pomocí alkalických, enzymatických a kyselých prostředků v mycích a dezinfekčních automatech. Dezinfekce je prováděna termodynamickým nebo chemotermickým procesem. Aby předměty byly suché a nebyly na nich žádné zbytky chemických látek, jsou používány mezioplachy, závěrečný oplach a sušení. Po funkční a technické kontrole jsou předměty ošetřeny, zabaleny a připraveny na sterilizaci. [1]

Čištění nástrojů pomocí ultrazvuku probíhá v ultrazvukových čističkách. Ty využívají princip kavitace. Pomocí ultrazvuku lze odstranit také anorganické povlaky

na nástrojích. Nástroje, které je nutné očistit, se vkládají do sít, které nebrání působení ultrazvuku a zároveň musejí být zcela ponořeny do připravených roztoků. Jen díky tomu bude proces čištění kvalitní. Samotné čištění probíhá při působení ultrazvukových vln o frekvenci 35 kHz po dobu 2 - 5 minut. V těchto čističkách nelze čistit endoskopy s optikou, stomatologické nástroje, elastické pomůcky či části dýchacích přístrojů a jiné. Ty nástroje, které lze čistit jsou určeny výrobcem. [1]

Aby se po dezinfekci a čištění zabránilo korozi, jsou nástroje s klouby ošetřeny prostředky s obsahem parafinového oleje. Toto ošetření probíhá buď ručně, nebo v myčce jako poslední krok čištění. [1]

1.3.2 Fyzikální sterilizace

Fyzikální sterilizace má několik typů – sterilizace vlhkým teplem, suchým teplem, radiační a plazmová.

U sterilizace vlhkým vzduchem je základem pára. Sterilizuje se nasycenou vodní párou pod tlakem v parních sterilizátorech. Kondenzací vody na sterilizovaných předmětech a mikroorganismech dochází k předání velkého množství energie ve formě tepla, k denaturaci bílkovin a likvidaci mikroorganismů. Sterilizační pára se vyrábí z čisté, demineralizované vody definovaných vlastností. Výsledná pára nesmí obsahovat víc než 3,5 % nekondenzovaných plynů vznikajících při úpravě vody z karbonátů. [1]

Důležitým časovým údajem u parní sterilizace je sterilizační expozice, která se počítá od dosažení požadovaného tlaku a teploty do zastavení přívodu páry do sterilizačního prostoru. Po uplynuté expozice se uzavírá přívod páry a nastává sušení. [1]

Parní sterilizace se využívá pro předměty z kovu, skla, porcelánu, papíru, keramiky, textilu, gumy a další. Nelze ovšem takto sterilizovat termolabilní plasty, vlnu, kůži či předměty obsahující tyto látky. [1]

Sterilizace suchým teplem, neboli horkovzdušná se provádí v horkovzdušných sterilizátorech. Pokud je sterilizační komora větší než 5 litrů, musí mít cirkulaci vzduchu. Jinak by bylo nutné zdvojnásobit sterilizační dobu expozice. K přenosu teple energie vzduchem dochází díky principu vodivosti a sálavosti. Ventilátor zajišťuje stejnosměrné rozložení teplot v komoře a přesné nahřátí sterilizační náplně na danou teplotu po celou dobu expozice. Sterilizátory mají vlastní systém ochrany obsluhy – lze je otevřít až po poklesu teploty na 60°C. Při tomto procesu sterilizace chybí hydratace a hydrolýza molekul, avšak sterilizace probíhá denurací molekul v buňce. Proto je nutné dodat více tepla než při vlhké sterilizaci. [1], [4]

Tento typ sterilizace je používán na nástroje z kovu, porcelánu, skla, keramiky, pro masti a prášky v tenké vrstvě. Nelze sterilizovat porézní materiály (textilie, obvazy, vatu), dřevo, papír a plastické hmoty. [1]

Radiační sterilizaci je nutné provádět ve sterilizačních ozařovnách. Sterilizace je vyvolána gama zářením o minimální dávce 25 kGy. Tato metoda se používá u materiálů z průmyslové výroby, kde je správně provedena výroba nástroje. Často se radiačně sterilizují předměty na jedno použití z plastických hmot, textilie, pryže, šicí materiál, léčiva, některé transplantáty. Použité materiály či materiály kontaminované biologickým odpadem nelze radiačně sterilizovat. Takto sterilizované předměty mají zvláštní označení. Radiační sterilizace není závislá na teplotě, tlaku, vlhkosti a tepelné vodivosti. [1]

Sterilizace pomocí plazmy probíhá pomocí nízkoteplotní plazmy plynu, který vzniká v elektromagnetickém poli ve sterilizační komoře vlivem energie vysokofrekvenčních vln působících na vhodný prekursor (např. peroxid vodíku) při tlaku 0,04 kPa. Teplota sterilizace je kolem 50 °C. Tato technologie by měla být schopna sterilizovat většinu lékařských nástrojů. Proces nemá korozivní účinky a nedochází k fyzikálním změnám na povrchu. Nelze sterilizovat předměty vlhké, bavlnu, papír, prádlo, roušky, gázu, dřevo apod. [1]

1.3.3 Chemická sterilizace

Tento způsob je určen zvláště pro termolabilní materiál, který nevydrží vysoké teploty, které se využívají při fyzikální sterilizaci. Médium sterilizace jsou plyny, které musí být přesné koncentrace a složení. Při sterilizačním procesu je v komoře nastavený určitý podtlak či přetlak a teplota do 80 °C. Základními chemikáliemi používanými při sterilizaci jsou formaldehyd a etylenoxidem. [1]

Sterilizace formaldehydem je prováděna za působení plynné směsi formaldehydu s vodní párou při teplotě do 80 °C a podtlaku až 90 kPa. Využívá se formaldehydu odpařovaného z formalínu. Proto je potřeba větší opatrnosti při uskladnění. Tento postup se využívá u jemných kovových přístrojů, některých optických přístrojů a gumy. [1], [2]

Sterilizace etylenoxidem může probíhat jak v podtlaku tak přetlaku a pracuje při studených (37 °C) i teplých (55 °C) programech. Tento postup je určen pro sterilizaci ostrých nástrojů, papíru, porézních materiálů (militan, peří, matrace). Sterilizátor musí být zabezpečen, aby neunikl etylenoxid do okolního prostředí. Jelikož etylenoxid je prudký jed a může být i karcinogenní, je potřeba mít důkladné technické zabezpečení.

V ČR se tento typ sterilizátoru nevyrábí. [1], [2]

V Tab. 1 lze vidět srovnání jednotlivých metod sterilizace v rámci použité teploty, tlaku a doby sterilizační expozice. U většiny metod lze říci, že čím vyšší teplota tím kratší čas. Proto je potřeba určit co je finančně výhodnější a jaká metoda je nejvhodnější pro používané materiály.

Tab. 1.: Parametry sterilizace v přístrojích [1]

Metoda	Teplota [°C]	Tlak		Sterilizační expozice [min]
		[kPa]	[bar]	
Parní ster. – vlhké teplo	120	200	2	20
	134	300	3	10
	134	300	3	4
Horkovzdušná ster.	160			60
	170			30
	180 <			20
Formaldehydová ster.	60	10 – 20	0,1 – 0,2	25
	80	10 – 20	0,1 – 0,2	15
Etylenoxidová ster.	55	650	6,5	180
Plazmová ster.	50	0,04	0,0004	10

1.3.4 Centralizovaná sterilizace

Sterilizace je komplexní děj, a je potřeba kvalitního vybavení, prostoru a klasifikovaného personálu, což může být u malých ordinací problém. Proto je ekonomicky jednodušší využít centrální sterilizace. Ta zaručuje využití moderních sterilizačních postupů, metod i jednotlivých kontrol. Díky tomu je zaručena vysoká kvalita sterilizace za nízkou cenu. [1], [2]

1.3.5 Obalové materiály

Obalové materiály se využívají pro ochranu vysterilizovaných předmětů před sekundární kontaminací a poškozením. Sterilizační obaly jsou na jedno použití tak na opakované používání a jsou určeny pro určitý typ sterilizace. [1]

V praxi se využívá 3 typů obalů – sterilizačního, jednotkového a transportního. K převozu jsou určeny transportní, po sterilizaci se vkládají do sterilizačního a jednotkového. Obaly se uzavírají pomocí tavičky či lepením vodoodpudivým lepidlem. Po otevření obalu je nutno materiál spotřebovat do 24 hodin. [1]

1.3.6 Kontrola sterilizace

Kontrola účinnosti sterilizace je nutným krokem. Musí být o ní vedena dokumentace a provádí ji jen kvalifikovaní pracovníci. Je třeba kontrolovat sterilizační cyklus, účinnosti přístrojů a výslednou sterilitu materiálů. Účinnost sterilizačních přístrojů se kontroluje pomocí fyzikálních, chemických a biologických testů. [1],[2]

Fyzikální indikátory podávají informace o technickém stavu zařízení. Jsou poskytovány informace o parametrech sterilizace. Chemické indikátory informují, zda bylo uvnitř zkoušeného sterilizačního přístroje dosaženo sterilizačních podmínek, které by vyvolaly změnu v chemickém testu. Jedná se o nepřímý důkaz. Ani jedna tato metoda neurčuje sterilitu přístrojů, ale kontrolují, zda bylo dosaženo technických podmínek sterilizace. Biologické indikátory (bioindikátory) měří usmrcení spor testovaných mikroorganismů, což vede k určení účinnosti sterilizačního procesu. [1]

2 SUCHÁ PŘEHŘÁTÁ PÁRA

Pro zajištění kvalitní sterilizace je kvalita páry základním předpokladem. Pára musí splňovat podmínky čistoty a postup výroby dané předpisy.

Pára vzniká procesem odpařování a vypařování, pokud je nad kapalinou volný prostor. Kapalina se samovolně odpařuje za každé teploty, ale pouze na hladině. V tomto procesu klesá teplota kapaliny. Pokud teplota kapaliny dosáhne bodu varu, nastane vypařování. To neprobíhá jen na povrchu, jako odpařování, ale také uvnitř a u stěn nádoby. Při tomto procesu se nemění teplota ani tlak kapaliny. Zmenšuje-li se objem kapaliny, současně se zvětšuje hustota a tlak páry nad hladinou. Když dosáhne bodu varu, neboli sytosti, kapalina se označuje jako sytá kapalina. Pokud se sytá kapalině neustále přivádí teplo, vytváří se mokrá pára a v prostoru je současně kapalina i pára. Při dodávání tepla mokré páře se zcela odpaří voda a vzniká sytá pára. Ze syté páry se neustálým přidáváním tepla stává přehřátá pára. Z toho vyplývá, že sytá pára, mokrá pára a sytá kapalina mají stejnou teplotu. Kdežto přehřátá pára má teplotu vyšší než sytá pára. [5], [6], [7]

2.1 Požadavky na sterilizační páru

Požadavky na kvalitu páry pro sterilizační komoru vycházejí z evropské normy ČSN EN 285 +2A.

Podle normy smí sterilizační pára obsahovat nanejvýše 3,5 % nekondenzovaných plynů a odchylka může ohrozit správný výsledek sterilizace. Důvodem je, že nekondenzovatelné plyny mají tendenci se shromažďovat v porézních materiálech a tím zabránit páře, aby působila na všech místech. Pára a voda, ze které se pára vytváří, nesmí obsahovat nečistoty ve zvýšeném množství, které by mohlo ohrozit sterilizační proces, poškodit či znečistit sterilizující předměty či sterilizátor. U vody se dále měří hlavně hodnota pH, obsah chloridů a kontroluje se vodivost vody. Pokud se v napájecí vodě nacházejí nekondenzovatelné plyny, mohou následně zvýšit obsah nekondenzovatelných plynů v páře. V Tab. 2 lze vidět maximální hodnoty znečištění pro vodu a pro výslednou páru.

Suchost páry nesmí být nižší než 0,90 a pro kovové předměty nesmí mít pára nižší suchost než 0,95. Pokud by nebylo dodrženo těchto hodnot, mohly by předměty při sterilizaci zvlhnout a tím znehodnotit sterilizaci. Na druhou stranu příliš malá vlhkost

může způsobit přehřátí páry. Při přivádění čisté páry, nesmí přehřátí páry překročit 25 °C. [8]

Je nutné, aby pára byla dodávána o stálém tlaku. K tomu jsou ve sterilizátorech zařízení pro jeho regulaci. Podmínkou je, že kolísání tlaku páry měřené na vstupu posledního redukčního ventilu by nemělo přesáhnout $\pm 10\%$ dané hodnoty tlaku. [8]

Tab. 2.: Hraniční hodnoty znečištění pro napájecí vodu a páru [8]

Rozhodující činitel	Znečištění vody	Znečištění páry
Rezidua po odpaření	$\leq 10 \text{ mg/l}$	-
Křemičitany	$\leq 1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
Železo	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
Kadmium	$\leq 0,005 \text{ mg/l}$	$\leq 0,005 \text{ mg/l}$
Olovo	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
Zbytky těžkých kovů (kromě Fe, Cd a Pb)	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
Chloridy	$\leq 2 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
Fosforečnany	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
Vodivost (při 25 °C)	$\leq 5 \text{ }\mu\text{S/cm}$	$\leq 3 \text{ }\mu\text{S/cm}$
Hodnota pH	5 až 7,5	5 až 7
Vzhled	bezbarvá, čirá, bez usazenin	bezbarvá, čirá, bez usazenin
Tvrdost (Σ iontů kovů alkalických zemin)	$\leq 0,02 \text{ mmol/l}$	$\leq 0,02 \text{ mmol/l}$

Podle normy jsou definovány tyto hodnoty sterilizační teploty, jim odpovídajících tlaků a délka doby udržování teploty. Tyto hodnoty lze vidět v Tab. 3.

Tab. 3.: Přehled hodnot podle normy [8]

Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Doba [min]
121	0,205	15
126	0,239	10
134	0,304	3

Měření a kontrola veličin jsou nutnou součástí provozu. Kontrola nekondenzovatelných plynů se provádí před uvedením sterilizátoru do provozu. Místo odběru vzorku je na potrubí, které vede od zdroje páry a je co nejbližší sterilizátoru. Toto místo se využívá také pro měření suchosti páry a přehřátí páry. [8]

3 SENZORY PÁRY

Aby bylo jisté, že všechny hodnoty sterilizační páry jsou v mezích a nastaveny pro kvalitní proces sterilizace, jsou ve sterilizační komoře a jejím okolí senzory pro měření základních parametrů – tlaku, teplot, vlhkosti a průtoku.

3.1 Senzory tlaku

Tlak je odvozená veličina, která je v mechanice definována jako jednotka síly F působící kolmo na jednotku plochy S . Zápis toho vztahu lze vidět v rovnici (1) [9], [10]

$$p = \frac{F}{S}. \quad (1)$$

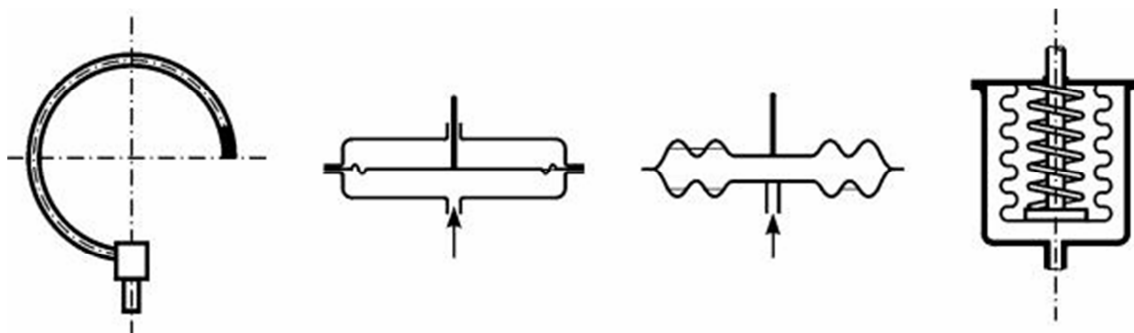
V hydromechanice je tlak definovaný pomocí hydrostatického sloupce kapaliny o hustotě ρ a výšce h . Vztah lze vidět v rovnici (2) [9], [10]

$$p = h \times \rho \times g, \quad (2)$$

kde g je gravitační zrychlení. Jednotkou tlaku je Pa (pascal) – tlak, který vyvolá síla jednoho newtonu působící rovnoměrně v kolmém směru na plochu o velikosti 1 m^2 . V praxi jsou častější větší hodnoty v řádech kPa a MPa . Pro měření tlaku se používají tlakoměry. V dnešní době jsou používány senzory s elektrickým výstupním signálem. [9], [10]

3.1.1 Deformační senzory

Tlak působí na tlakoměrný prvek, který se podle síly tlaku různě deformuje. Podle deformace lze změřit velikost tlaku. Často používanými deformačními prvky jsou Bourdonova trubice, membrána, krabice a vlnovec. Jednotlivé typy lze vidět na Obr. 1. Deformační prvky se vytvářejí z pružných materiálů, které jsou schopny se vrátit do původního tvaru. Nejčastějšími materiály jsou uhlíková či niklová ocel, mosaz, a další slitiny. [10]

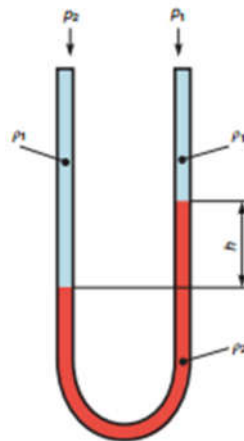


Obr. 1.: Základní tvary deformačních tlakoměrů – Bourdova trubice, membrána, krabice, vlnovec [2]

Trubicové tlakoměry (např. Bourdonova trubice) jsou nejčastěji používanými typy deformačních tlakoměrů. Mohou mít různé tvary od jednodušších ve tvaru U či C až k různě zvlněným profilům. Jedním koncem je trubice pevně spojena s tělesem opatřeným závitem pro připojení přívodu tlaku. Volný konec trubice je uzavřen a spojen s ukazatelem na stupnici. Pokud tlak působí, eliptický průřez se snaží změnit v kruhový a díky tomu se mění zakřivení trubice. Tato změna se přenáší na ukazatele tlaku. Membránové tlakoměry využívají jako tlakoměrný prvek kovovou membránu kruhového tvaru zvlněnou soustřednými kruhy. Ta je sevřena mezi dvěma přírubami. Z jedné strany je přiváděn měřený tlak, který způsobí průhyb membrány a ten se přenáší na ukazatele. U krabicových tlakoměrů je měřicím prvkem krabice tvořená dvěma zvlněnými membránami. Deformace je přenášena pákovým systémem na ukazatele. Vlnovcové tlakoměry mají tlakoměrný prvek v podobě tenkostěnného kovového měchu, který je umístěn v pouzdře, na které je přiváděn tlak. [10]

3.1.2 Hydrostatické senzory

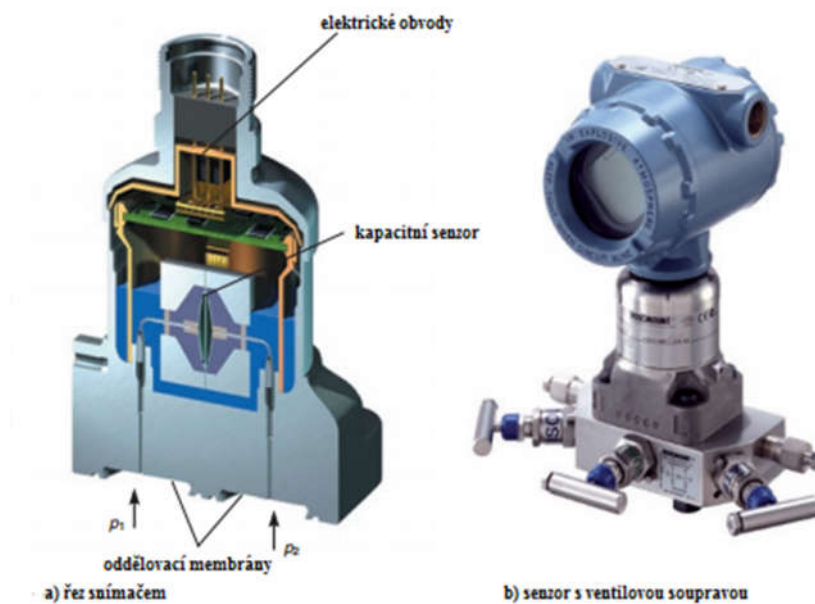
Činnost těchto senzorů je založena na účinku hydrostatického tlaku, podle vztahu (2). Velikost tlaku je určována podle výšky sloupce kapaliny. Jako tlakoměrná kapalina je často používána voda či rtuť. Existuje několik typů tlakoměrů, nejpoužívanějším je tzv. U-tlakoměr, tvořený trubicí ve tvaru U a jeho modifikace. Tyto typy senzorů jsou jednoduché, spolehlivé a přesné avšak jsou závislé na okolní teplotě. Na Obr. 2 lze vidět princip hydrostatického senzoru. [10]



Obr. 2.: Schéma hydrostatického senzoru [10]

3.1.3 Kapacitní senzory

Kapacitní senzor je dvou nebo více elektrodový systém, který tvoří kondenzátor, kde jedna elektroda kondenzátoru je tvořena membránou, která mění svou polohu při působení tlaku. Tato změna vzdálenosti mezi elektrodami se projeví změnou kapacity kondenzátoru. Na Obr. 3 lze vidět průřez a celý snímač s kapacitním senzorem. [11]



Obr. 3.: Kapacitní senzor tlaku s rovinným připojením [11]

3.1.4 Senzory s odporovými tenzometry

Odporový tenzometr je senzor, u kterého se mění elektrický odpor při mechanickém namáhání. Tenzometry mohou být kovové či polovodičové. Pokud probíhá deformace kovového vodiče, mění se jeho rozměry a tím pádem i elektrický

odpor. Při působení mechanického namáhání na polovodičový tenzometr se mění pohyblivost nosiče náboje a tím se mění jak elektrická vodivost, tak odpor senzoru. Tento typ senzoru vykazuje nelineární závislost odporu jak na deformaci, tak na teplotě. Odporové tenzometry patří mezi velmi přesné senzory s dobrými dynamickými vlastnostmi, ale může být ovlivněn mnoha okolnostmi – teplotou, velikostí procházejícího proudu, a ty mohou ovlivnit přesnost. [11].

Tab. 4 ukazuje porovnání výše uvedených senzorů tlaku mezi sebou.

Tab. 4.: Parametry základních senzorů tlaku [10]

Senzory		Princip	Měřicí rozsah	Přesnost (% z rozsahu)	Použití
Deformační	Trubicové	velikost deformace pružného prvku	do 10^9 Pa	1 – 2, přesné 0,1	přímo ukazující tlakoměry
	Membrána		do 10^6 Pa	0,5 – 2	
	Krabice		do 10^3 Pa	1 – 2	
	Vlnovec		do 10^5 Pa	1 - 2	
Hydrostatické	U - trubice	hydrostatický tlak, měřítkem tlaku je výška sloupce kapaliny	podle hustoty kapaliny	až 0,005	laboratoře, metrologie, barometry
Kapacitní		změna vzdálenosti elektrod kondenzátoru	14 – 70 MPa	0,05 – 0,2	čidla v převodnicích tlaku v obvodech, laboratoře
S odporovými tenzometry		změna odporu tenzometru	0,1 – 60 MPa	0,025 – 0,5	

3.2 Senzory teploty

Teplota je základní fyzikální veličina, tudíž ji nelze odvodit z jiných. Jako jednotku teploty se používá K (Kelvin) patřící do SI systému jednotek. V praxi je však používanější jednotka stupeň Celsia, $^{\circ}\text{C}$. Je to jednotka odvozená a je definována vztahem (3) [9]

$$t/^{\circ}\text{C} = T/K - 273,15. \quad (3)$$

Monitorování teploty ve sterilizační aparatuře je jedna ze základních veličin určující jakost páry. Cílem měření je eliminace turbulentních jevů a zpětnovazební řízení vyvíječe páry. Jelikož musí senzory pracovat v tlakovém a horkém prostředí, je velkým problémem kapacita senzorů. Dalším problémem je, že některé typy senzorů mohou reagovat na teplotní šok změnou tvaru a tím pádem může docházet až k zničení senzoru.

3.2.1 Odporové kovové senzory teploty

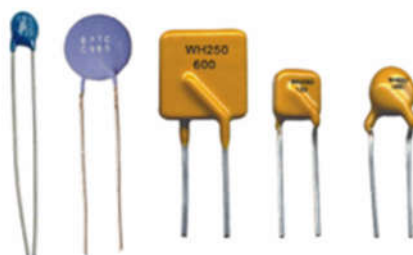
Základním principem těchto senzorů je závislost odporu kovu na teplotě. Ve velké části typů kovu s větší teplotou roste odpor kovu. Při teplotách v rozmezí od $0 - 100^{\circ}\text{C}$ je tato závislost lineární, s větší teplotou roste odpor. Ovšem pokud je teplota vyšší než 100°C , je už vztah nelineární a závisí na použitém kovu. Častým kovem pro tyto senzory je platina pro svou chemickou a časovou stálost a vysokou teplotu tavení. Dalšími kovy jsou nikl a molybden. Na Obr. 4 lze vidět typ odporového kovového senzoru. [9], [12]



Obr. 4.: Odporový kovový senzor teploty

3.2.2 Polovodičové odporové senzory teploty

Tyto senzory snímají opět změnu odporu, ale v tomto případě je způsobena teplotní závislostí na koncentraci nosičů náboje. Mezi základní polovodičové snímače patří termistory. Teplotní závislost termistoru je asi desetkrát větší než u platinových odporových senzorů, ale je výrazně nelineární. Velkou výhodou termistorů jsou malé rozměry, rychlá odezva a vysoká závislost odporu na teplotě. Bohužel jsou náchylnější k elektrickému přetížení, mají menší stabilitu a menší rozsah použitelnosti. Na Obr. 5 lze vidět některé typy termistorů. [9], [13]



Obr. 5.: Typy termistorů

3.2.3 Termoelektrické články

Jsou tvořeny dvěma různými vodivými či polovodivými materiály, mezi kterými může vzniknout napětí. Toto napětí je v malém rozsahu teplot úměrné rozdílu teplot mezi jednotlivými spoji různých materiálů – mezi teplým a studeným koncem termočlánku. [9]

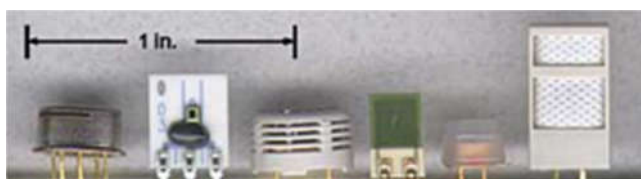
Výhodou těchto termočlánků je jejich jednoduchost, rychlá odezva a nepotřebují napájecí zdroj, avšak nemusí být tak přesné. Existuje spousta typů termočlánků, s různými rozsahy teplot. To hlavně ovlivňuje zvolený materiál. [9]

3.3 Senzory vlhkosti

Vlhkým vzduchem se rozumí směs suchého vzduchu a vodních par. Jelikož pára určená pro sterilizaci musí splňovat určitou hodnotu suchosti, je nutné tuto hodnotu sledovat a kontrolovat. K určení vlhkosti plynu se používají metody pro určení absolutních jednotek, mezi ně patří absolutní vlhkost a směšovací poměr, nebo relativních jednotek, což může být rosný bod nebo relativní vlhkost. Vlhkost vzduchu lze vyjádřit, jako hustotu samotných par. Relativní vlhkostí se rozumí poměr hmotnosti skutečného obsahu vodních par k hmotnosti vodních par plně nasyceného vzduchu. [14], [15]

3.3.1 Kapacitní senzory

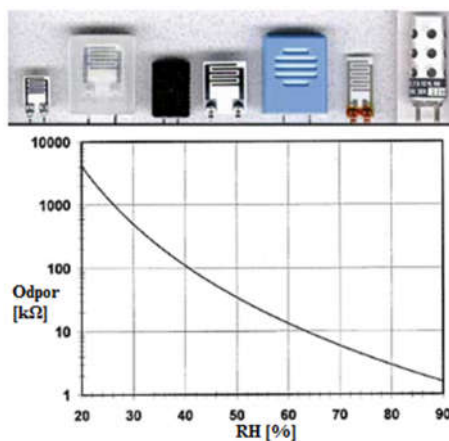
Hlavní částí kapacitního senzoru je kondenzátor s dielektrikem z polymeru. Jedna z elektrod je upravena tak, aby pára měla kontakt s polymerním dielektrikem. Absorpce vody mění polymer své dielektrické vlastnosti, čímž se změní kapacita kondenzátoru. Podle změny kapacity kondenzátoru lze vyhodnotit hodnotu vlhkosti v páře. Kapacita senzorů není ovlivněna okolní teplotou, jsou odolné vůči kondenzaci a chemikáliím. Mají krátkou dobu odezvy. Na Obr. 6 lze vidět některé typy kapacitních senzorů. [15], [16]



Obr. 6.: Typy kapacitních senzorů vlhkosti

3.3.2 Odporové senzory

Odporové senzory snímají změnu vodivosti, která nastává, pokud hygroscopické materiály absorbují vodu. Nejčastější je Dunmoreovo provedení. Elektrody jsou napojené na střídavé napětí a ten elektrody zahřívá. Díky tomu se odpařuje voda z kapalného elektrolytu a tím se zmenší jeho vodivost, klesá proud i teplota. Při poklesu teploty elektrolytu dochází k absorpci vodní páry, zvyšuje se vodivost, proud a teplota. Stav obsahu vody v elektrolytu je závislý na teplotě elektrolytu. Z naměřené teploty lze vyjádřit míru vlhkosti. Senzory jsou citlivé na kondenzaci a nelze je použít ve vyšších teplotách avšak jsou velmi přesné a stabilní. Na Obr. 7 lze vidět příklady typů senzorů a také vztah mezi odporem a obsahem vody ve vzduchu RH. Lze vidět, že s klesajícím odporem roste vlhkost vzduchu. [15], [16]



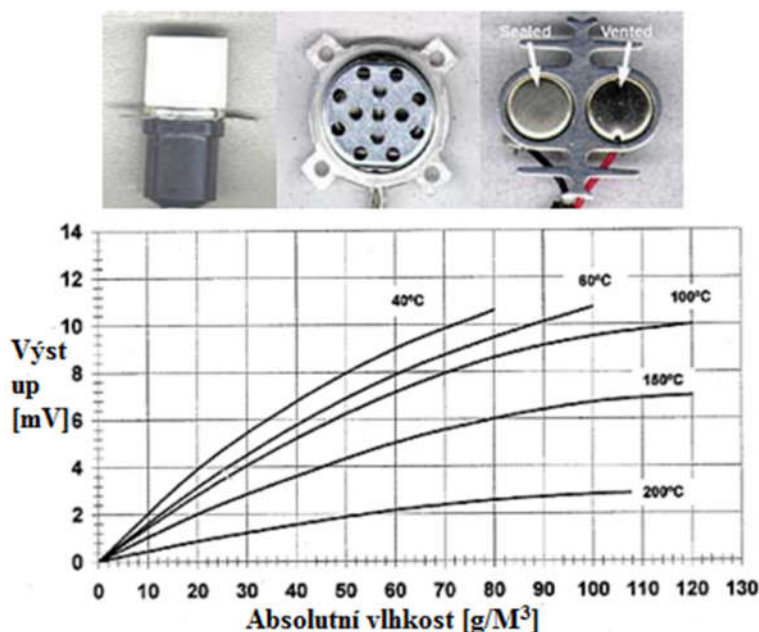
Obr. 7.: Typy odporových senzorů [16]

3.3.3 Komparační senzory

Nebo též senzory s vyhřívanými termistory. Metoda, podle které senzory pracují, využívá závislosti tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti. Základem senzoru jsou dva stejné termistory, z nichž jeden je uzavřen v suchém dusíku a druhý v měřeném prostředí. Při průchodu proudu se termistory ohřívají a dosažená teplota závisí na tepelné vodivosti okolního plynu, který funguje jako ochlazování. Výstupem senzoru je signál, který je úměrný absolutní vlhkosti páry v měřeném prostředí. Jeho hlavní výhodou je práce ve vysokých teplotách, odolnost vůči chemikáliím a citlivost. Stabilita senzoru je dána termistory. [16]

3.3.4 Kondenzační senzory

Tento typ senzorů patří k nejpřesnějším. Hlavní částí senzoru je termoelektricky chlazené kovové zrcátko. Pokud je zrcátko orosené, mění se jeho odrazivost, která je opticky snímána. Pomocí zpětné vazby se upravuje intenzita chlazení, aby zrcátko zůstávalo mírně orosené. Teplota zrcátka se měří teploměrem. Tyto senzory mají výbornou dlouhodobou stabilitu, přesnost a odolnost vůči chemikáliím. Na Obr. 8 lze vidět různé typy senzorů a jejich charakteristiku. Ta vyvozuje, jaký je vztah mezi teplotou prostředí, velikostí výstupního napětí a absolutní vlhkostí. [16]



Obr. 8.: Typy a charakteristiky kondenzačních senzorů [16]

3.3.5 Psychrometr

Relativní vlhkost lze vypočítat také pomocí parciálního tlaku vodní páry. Ten zjistíme pomocí dvou senzorů teplot – mokrého a suchého. Voda se odpařuje z mokrého senzoru a tím se snižuje výparné teplo, což způsobuje pokles teploty mokrého senzoru. Čím menší bude relativní vlhkost, tím víc se odpařuje voda ze stále vlhčeného senzoru. Suchý senzor mezi tím měří teplotu analyzovaného vzduchu. Intenzita odpařování je závislá na relativní vlhkosti okolní páry, pokud by byla pára plně nasycena, k žádnému odpařování by zde nedocházelo. Na Obr. 9 lze vidět psychrometr. [14], [16]



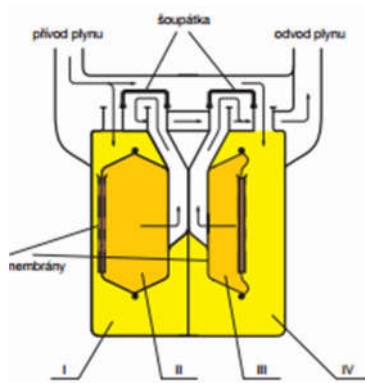
Obr. 9.: Psychrometr

3.4 Senzory průtoku

Pro měření průtoku či proteklého množství kapalin a plynu se využívá několika různých principů. Senzory většinou určují buď objemový průtok Q_v , nebo hmotnostní průtok Q_m tekutiny (kapalin i plynů) proteklé zvoleným průřezem za jednotku času. [14]

3.4.1 Objemové senzory

Jsou to velmi přesné senzory, které se často používají pro ověřování ostatních měřidel průtoku. Senzory pracují na principu odměřování objemu plynu v odměrných prostorách. Jedním typem senzoru je zvonový krychloměr. Což je nádoba o známém obsahu, v níž je tekutina. Ta při měření za stálého tlaku vytéká. K zjištění průtoku se měří čas, za který tekutina vyteče. Jiné typy senzorů mají několik odměrných prostorů za sebou a ty se pravidelně plní a vyprazdňují. Měřítkem objemového průtoku je tak počet cyklů za jednotku času. Objemové senzory nejčastěji ukazují celkový proteklý objem, ale mohou vytvářet i impulsy pro odpočet naplněných prostor. Existuje mnoho typů senzorů, které se liší velikostí, tvarem, počtem prostor. Mezi tyto senzory patří zvonový krychloměr, membránový plynoměr, bubnový plynoměr a mnoho dalších. Na Obr. 10 lze vidět jeden z objemových senzorů průtoku - membránový senzor, který je používám pro měření objemu plynu. [17], [18]

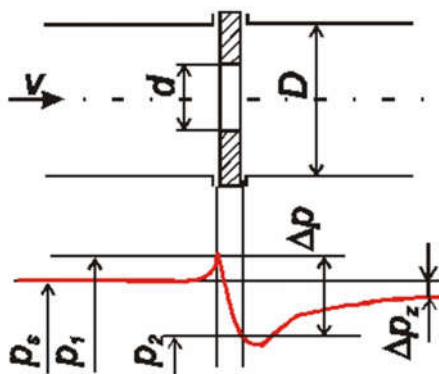


Obr. 10.: Membránový objemový senzor, části I, II, III a IV jsou odměrné prostory [17]

3.4.2 Rychlostní senzory

Tyto senzory určí velikost průtoku pomocí naměřené rychlosti a znalosti profilu proudění a průtočného průřezu. Senzory využívají závislosti dynamického tlaku proudícího média na rychlosti proudění. Velmi častými jsou tzv. průřezové senzory, kde dochází k zúžení průtočného průřezu. Následný rozdíl statických tlaků v tekutině před a za zúžením je závislý na velikosti průtoku. Mezi nejznámější typy těchto měřidel patří clona, dýza a Venturiho dýza. [17].

Na Obr. 11 lze vidět, jak se mění tlak tekutiny po průchodu škrtícím orgánem.



Obr. 11.: Tlakové poměry v okolí škrtícího orgánu [18]

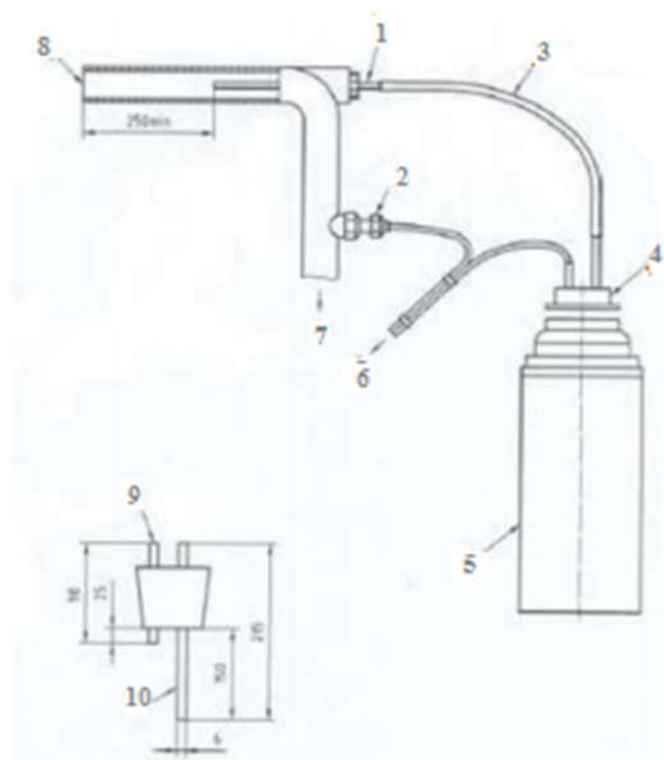
Parametry v Obr. 11: v - rychlost proudění, d - průměr otvoru škrtícího orgánu, D - průměr potrubí, p_s - vstupní statický tlak, p_1 , p_2 - tlak snímáný před a za škrtícím orgánem, Δp - diferenční tlak ($p_1 - p_2$), Δp_z - trvala tlaková ztráta.

4 MĚŘENÍ KVALITY PÁRY

Pro zjištění, zda sterilizační pára odpovídá daným hodnotám, je potřeba ji pravidelně měřit. Metodou se zjišťují hodnoty suchosti páry, přehřátí páry a jaké množství nekondenzovatelných plynů pára obsahuje. Všechny postupy jsou přesně popsány v příslušné normě ČSN EN 285 +2A.

4.1 Zkouška suchosti páry

Pára, která se využívá při parní sterilizaci, musí mít přesně danou hodnotu suchosti. Jakékoliv odchylky od této hodnoty by mohly mít negativní vliv na sterilizační proces. Metody pro měření vlhkosti jsou náročné a pro využití ve sterilizátorech nevhodné, jelikož je vyžadováno konstantní proudění páry. Pro ilustraci lze vidět na Obr. 12 schéma měřící aparatury pro měření suchosti páry.

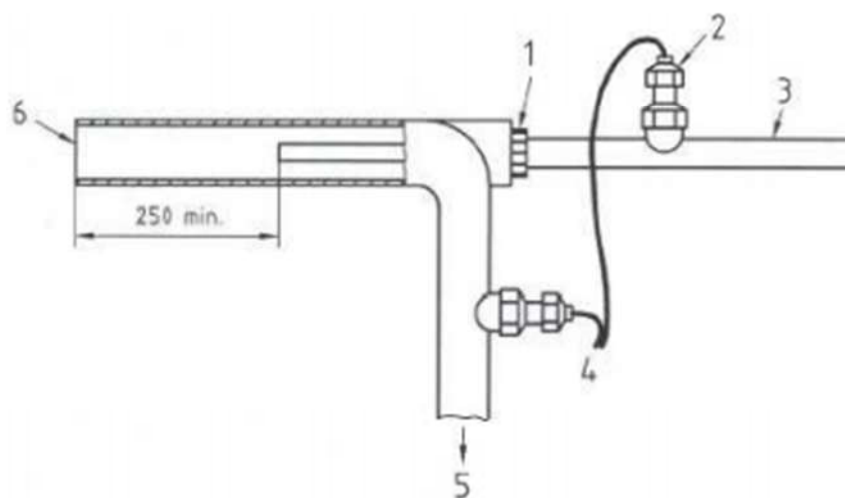


Obr. 12.: Schéma aparatury pro měření suchosti sterilizační páry [9]

Legenda k Obr. 12: 1 – Pitotova trubice, 2 – šroubení s těsněním pro teplotní čidlo, 3 – pryžová hadička, 4 – sestava pryžové zátky, 5 – jednolitrová Dewarova nádoba, 6 – vývod k teploměru, 7 – vývod ke sterilizátoru, 8 – přívod páry, 9 – trubička pro termočlánek a odvětrání, 10 – vzorkovací trubice.

4.2 Zkouška přehřátí páry

Při této zkoušce se kontinuálně odebírá maloobjemový zkušební vzorek ze středu parního napájecího potrubí. Jelikož se proměřuje pára jenom z určitého místa před komorou, neurčuje metoda přesnou hodnotu suchosti páry. K určení přesnější hodnoty jsou do sterilizátorů přidány zařízení, které sbírají volný kondenzát, který vzniká na povrchu komory. V rámci měření lze jako reprezentativní vzorek použít pouze ten, který se naměří v průběhu expozice páry. Na Obr. 13 lze vidět schéma této měřicí aparatury.

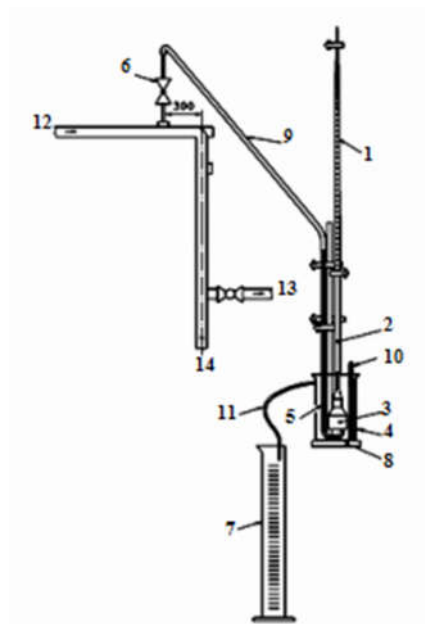


Obr. 13.: Schéma aparatury pro měření přehřátí sterilizační páry [9]

K tomuto schématu patří legenda 1 – Pitotova trubice, 2 – šroubení s těsněním pro teplotní čidlo, 3 – expanzní trubka, 4 – vývod k teploměru, 5 – vývod ke sterilizátoru, 6 – přívod páry.

4.3 Zkouška na nekondenzovatelné plyny

Tato zkouška má prokázat, že množství nekondenzovatelných plynů ve vodní páře nepřekračuje normou povolené množství. Toto povolené množství musí být dodrženo v celém sterilizačním procesu. Zkouška se provádí pomocí aparatury, jejíž parametry jsou přesně dané normou. Na Obr. 14 lze vidět podrobné schéma měřicí aparatury pro měření přítomnosti nekondenzovatelných plynů.



Obr. 14.: Schéma aparatury pro měření přítomnosti nekondenzovatelných plynů
[9]

Legenda k schématu: 1 – byreta, 2 – pryžová hadička, 3 – sběrný zvon, 4 – nádoba, 5 – vzorkovací trubice, 6 – jehlový ventil, 7 – odměrný válec, 8 – stojan byrety, 9 – pryžová hadička, 10 – systém měření teploty, 11 – přepadová trubička, 12 – přívod páry, 13 – vývod do sterilizátoru, 14 – odvádění kondenzátu.

5 NÁVRH NOVÉ METODY MĚŘENÍ

Hlavním cílem nové metody je, aby měření probíhalo kontinuálně a díky tomu mohla být kvalita páry kontrolována kdykoliv v průběhu sterilizace. Jedním z kroků, které bylo potřeba provést, bylo vytvořit řídicí systém vyvíječe páry. Byl použit systém s centrální procesorovou jednotkou AD-CPUW2 (AMIT), která obsahuje vlastní řídicí jádro, operační paměť, zdroj, obvody sériových linek a rozhraní Ethernet. Centrální jednotka následně zajišťuje interní komunikaci s dalšími vstupně/výstupními moduly, které následně zajišťují komunikace s jednotlivými senzory a ventily. Celý tento systém obsahuje vstupní digitální jednotky, které sbírají binární data převážně od bezpečnostních prvků systému, výstupní digitální jednotky, které ovládají jednotlivé výkonové prvky a 16 podtlakových ventilů, poté vstupy analogových jednotek, které snímají všechny fyzikální veličiny, jako je tlak a teplota a výstupní analogové jednotky, které slouží k řízení jednotlivých analogových výstupů, jako ventilátor a měnič.

5.1 Použité senzory

Pro měření teploty byla vybrána teplotní čidla pro průmyslové aplikace JUMO ze série T90.2020. Pt100 s 3 vodičovým zapojením je schopné měřit v rozsahu od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. V systému je zapojeno 7 čidel, 4 čidla mají délku 80 mm a zbylé 3 mají délku 160 mm. Čidla jsou zapojená s převodníky, které fungují na principu proudové smyčky ($4 - 20\text{ mA}$). K proměřování teploty na různých místech systému jsou v systému ještě 4 Pt100 JUMO, ze série T90.2150. Pracovní rozsah měřitelných teplot je opět od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Použité převodníky pro tato čidla jsou STI a STID od firmy Sensit. Převodníky opět pracují na principu proudové smyčky ($4 - 20\text{ mA}$).

Pro snímání tlaku byl využit tlakový senzor JUMO, T40.3025. Rozsah detekce má $1 - 6\text{ bar}$ a je schopen pracovat do teploty $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Základem je křemíkový senzor s membránou z nerezové oceli. V systému jsou umístěny 3 tyto senzory. Senzory jsou propojeny s převodníky, které pracují na principu proudové smyčky ($4 - 20\text{ mA}$).

Pro měření elektrické vodivosti byly použity čidla firmy JUMO, série T20.2924. Čidla jsou vyrobena z nerezové oceli. Mají dvouelektrodový systém, sloužící pro detekování rozsahu od $0,05\text{ }\mu\text{S/cm}$ do 1 mS/cm . Čidla je vhodné používat při teplotě $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku 17 bar . V systému jsou umístěny 3 čidla v různých hladinách vyvíječe páry. Převodník, který pracuje na principu proudové smyčky ($4 - 20\text{ mA}$) je převodník JUMO, série T20.2731.

Posledním snímaným parametrem je vlhkost. Ta se zaznamenává pomocí senzoru EE31 od firmy E+E. Základem senzoru je nerezová ocel, která je pokrytá polykarbonátem nebo silným kovovým pláštěm. Také tento senzor je založen na principu proudové smyčky (4 – 20 mA). Snímání vlhkosti je pouze doplňkové měření, protože senzor není kalibrován na tak vysokou teplotu. Hodnoty ze senzoru jsou proto pouze orientační a využívají se spíše pro změnu vlhkosti v systému. Navíc vlhkost čistě páry, která vstupuje do sterilizátorů, je minimální.

5.2 Schéma zapojení

Kvalitní čistá pára, která odpovídá požadavkům, je vytvořena za pomoci technické páry a demineralizované vody. Schéma zapojení lze vidět v příloze. Jedním ze vstupů do systému přichází technická pára a vstupuje do výměníku. Technická pára má požadovanou teplotu, ale ne čistotu. Z druhé strany do výměníku vstupuje demineralizovaná voda, která má požadovanou čistotu. Průchodem přes výměník se demineralizovaná voda ohřeje na teplotu technické páry a vzniká tak čistá pára o požadované teplotě. Poté vstupuje čistá pára do vlastního vyvíječe. Ve vlastním vyvíječi je systém dutých spirál, kterými prochází čistá pára. Jelikož je ve vlastním vyvíječi podtlak, pára stoupá systémem spirál vzhůru, přebytečná vlhkost kondenzuje a ve formě kapek stéká do nádrže s demineralizovanou vodou. Z vlastního vyvíječe vystupuje již čistá pára s požadovanou suchostí i čistotou. Na Obr. 15 jsou vidět dva prototypové vyvíječe, na kterých byla měření prováděna.



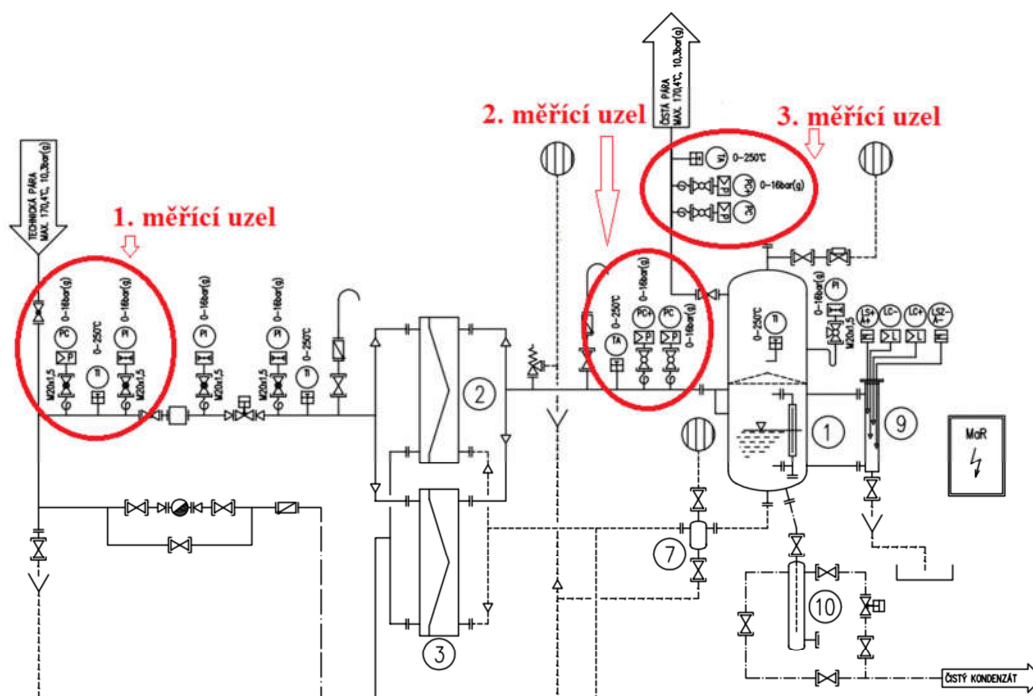
Obr. 15.: Dva prototypové vyvíječe

Celý systém je kontrolován, regulován a omezován mnoha senzory, které musí zajistit jak správné technické provedení – kontrola tlaku, množství páry i demineralizované vody.

Pro měření do této diplomové práce byly zvoleny 3 uzly, ve kterých se budou měřit jednotlivé fyzikální parametry pro kvalitu páry. Na Obr. 16 lze vidět mnohem více zapojených senzorů, ovšem stěžejní pro posouzení stability systému jsou pouze tři. Ostatní slouží k regulaci jednotlivých ovládacích prvků systému.

- První měřicí uzel je před výměníkem, kde se budou měřit parametry technické páry. Tento uzel slouží k přesné charakterizaci technické páry.
- Druhý měřicí uzel je za výměníkem, kde již budou zkoumány parametry čisté páry. Tento měřicí uzel charakterizuje efektivnost přenosu energie ve výměníku.
- Třetí měřicí uzel je těsně před výstupem páry do potrubního systému nemocnice. Tento uzel je pro nás nejdůležitější, neboť přesně specifikuje fyzikální parametry výstupní čisté páry

Umístění měřicích uzlů lze vidět na Obr. 16. Měřicí body jsou zde zaznačeny červenými kruhy. Jedná se o detail hlavní části schématu celého systému. Celý systém lze vidět v příloze na konci práce.



Obr. 16.: Detail schématu s označenými měřicími body

5.3 Řízení systému a sběr dat ze senzorů

5.3.1 Elektronický řídicí systém vyvíječe čisté páry s deskovým výměníkem

Pro řízení systému vyvíječe páry byl použit systém s centrální procesorovou jednotkou AD-CPUW2 (AMIT), která obsahuje vlastní řídicí jádro, operační paměť, zdroj, obvody sériových linek a rozhraní Ethernet. AD-CPUW2 má procesorové jádro řešené formou DualCPU. DualCPU představuje rozdělení na komunikační a procesní část, kde každou z nich obstarává samostatný procesor. Procesory mezi sebou komunikují prostřednictvím SPI sběrnice. Centrální jednotka obsahuje následující komunikační protokol:

- Rozhraní RS232
- Rozhraní RS485
- Rozhraní Ethernet
- Slot pro MicroSD kartu
- Webový server

Centrální jednotka následně zajišťuje interní komunikaci s dalšími vstupně/výstupními moduly, které následně zajišťují komunikace s jednotlivými senzory a ventily. Celý systém obsahuje:

- 1 ks vstupních digitálních jednotek, které sbírají binární data převážně od bezpečnostních prvků systému. Jsou použity jednotky AD-DI8A – každá s 8 oddělenými vstupy,
- 1 ks výstupních digitálních jednotek, které jsou určeny pro ovládání jednotlivých výkonových prvků a ovládání 16 podtlakových ventilů,
- 1 ks vstupních analogových jednotek, které jsou určeny pro snímání všech fyzikálních veličin, jako jsou teplota a tlak,
- 1 ks výstupních analogových jednotek, které slouží pro řízení jednotlivých analogových výstupů, jakou jsou ventilátor a měnič

Na Obr. 17 lze vidět popsany systém.



Obr. 17.: Systém s centrální procesorovou jednotkou AD-CPUW2 (AMIT)

5.3.2 Elektronický systém sběru dat z jednotlivých měřicích fyzikálních senzorů

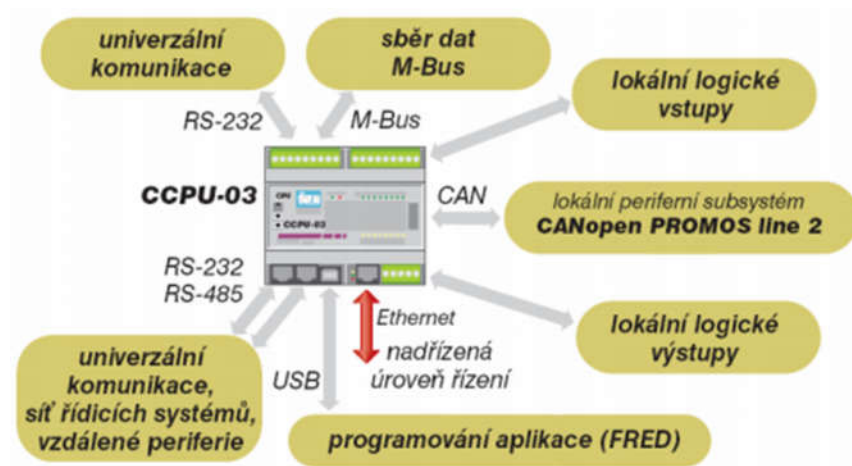
V našem případě slouží systém PLC pro sběr dat a komunikaci s nadřazeným PC, ve kterém jsou změřená data uložena. Pro sběr dat bylo využito PLC firmy Elsaco. Tímto systémem byla data ze všech senzorů shromažďována a vizualizačním nástrojem vypočítána pro grafické zobrazení a následně uložena do souboru. Sběr dat probíhal s frekvencí 3 HZ u čidel, které měla takovou rychlost odezvy. U ostatních čidel se pak jednalo o rychlost jednoho vzorku za minutu. Dle technického rozboru celého systému byly vybrány stěžení místa celého systému pro sběr dat. Jednalo se o body:

- Před převodníkem – teplota, tlak
- Za výměníkem – teplota, tlak
- Před redukčním ventilem tlaku – teplota, tlak
- Za redukčním ventilem tlaku – teplota, tlak
- Ve vyvíječi páry – vodivost
- Vstup demineralizované vody – vodivost

U všech těchto bodů bylo měření prováděno kontinuálně od startu systému až po jeho ukončení a data byla ukládána do textových souborů. Následně byla data analyzována.

Systém Elsaco CCPU-03 je kompaktní mikropočítačová jednotka systému PROMOS line 2. Je určena jako centrální jednotka pro větší sestavy nebo jako samostatná komunikační centrála. Standardně je osazena rozhraním USB pro programování aplikací v prostředí FRED a rozhraním Ethernet pro připojení k nadřazené úrovni řízení. Volitelně může být také vybavena kanálem M-BUS pro přímé připojení inteligentních měřicích přístrojů, např. měřičů tepla. Mikropočítač je tak

dobrým základem i pro úlohy se složitými výpočty a velkými nároky na paměť, jako jsou například regulační systémy, kompaktní regulátory, jednotky sběru a uchování dat atd.



Obr. 18.: Komunikační možnosti centrální jednotky CCPU-03

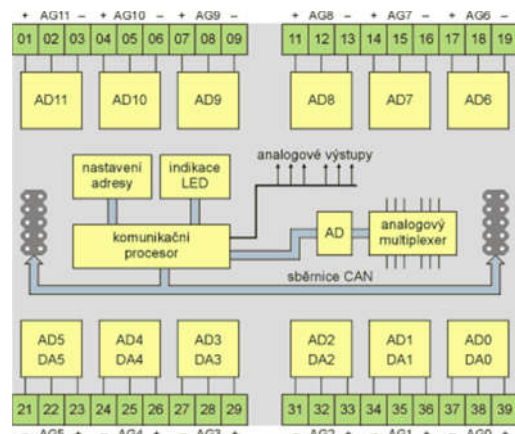
Jednotku tvoří procesorový modul MCPU-01, základní deska vstupů/výstupů a deska indikace. Na Obr. 18 lze vidět komunikační možnosti centrální jednotky.

Pomocí této jednotky komunikuje celý systém s nadřazeným vizualizačním nástrojem, který následně ukládá data do souboru. Centrální jednotka je vybavena jak rozhraním Ethernet tak i USB, což umožňovalo vzdálený i centrální monitoring celého procesu.

K centrální jednotce je připojen univerzální analogový modul CAIO12, který zajišťuje sběr dat z jednotlivých senzorů.

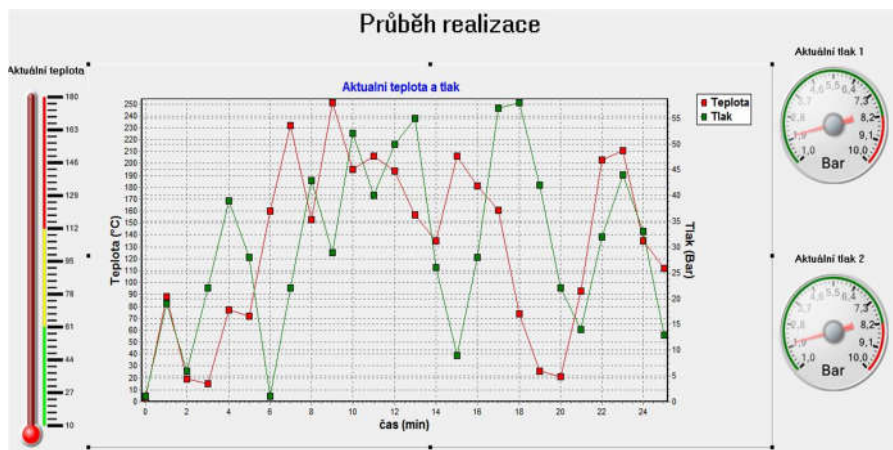
CAIO-12 je periferní jednotka na sběrnici CANopen (CAN2.0A, komunikační rychlost 500 kb/s) s 12 univerzálními pozicemi pro analogové vstupy / výstupy. Tato jednotka byla využita pro sběr dat z jednotlivých senzorů s rychlosti 3 Hz. Lze jej vidět na Obr. 19.

Řízení jednotky a sběrnicovou komunikaci zajišťuje vestavěný mikropočítač. Na čelním panelu jsou přepínače pro volbu síťové adresy modulu a pro blokování funkce výstupů. Sběrnice se k modulu připojuje propojovacími můstky InCo nebo desetižilovým kabelem, který obsahuje vlastní komunikační linku i napájecí napětí. Jednotka je konstrukčně uspořádána v kompaktní krabičce, která se montuje na lištu DIN.



Obr. 19.: Universální analogový modul CAIO12

Na Obr. 20 je uvedena část vizualizace sloužící k charakterizaci celé soustavy a jako pomocník při rozmístění jednotlivých měřicích uzlů. V každém měřeném bodě je pak umístěn senzor teploty, tlaku případně vodivosti podle charakteristických vlastností jednotlivých měřicích uzlů. Data z jednotlivých senzorů jsou odeslána buď po průmyslové sběrnici RS485 do PLC, případně jsou načteny přímo z převodníku teplota/proud v PLC. Následně jsou data přes TCP/IP protokol odeslána do centrálního PC, na kterém je nastavena on-line komunikace s PLC.



Obr. 20.: Vizualizace měřených dat

6 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Proces měření probíhal v různých obdobích, podle možnosti volného pracoviště. Měření probíhalo tak, že jakmile se dosáhlo požadované teploty páry, proběhla určitá doba po stabilizaci teploty a následně se upustilo určité množství páry. V průběhu měření se měnila jak doba mezi stabilizací a upuštěním páry, tak i množství upuštěné páry. Množství upuštěné páry mělo simulovat, kolik sterilizátorů je puštěno. Pro měření bylo určeno, že 11 l páry se spotřebuje pro 1 sterilizátor. Doba klidu byla také proměnná a to v časech 5 a 10 minut. Tento postup byl snahou zjistit, zda delší doba klidu má vliv na průběh měření. Vzorky byly snímány s frekvencí 6 vzorků za sekundu.

Jak již bylo řečeno, data se měřila na 3 uzlech – před výměníkem, za výměníkem a těsně před vstupem do potrubního systému nemocnice. Každý z měřících uzlů byl vybrán po analýze systému jako klíčový. Abychom mohli co nejlépe chování celého systému pochopit, zaměřili jsme se na měření teploty, vlhkosti a tlaku v každém z uvedených uzlů.

Pro získání dat jsme si stanovili 3 postupy měření:

- Prvním probíhal takto: po dosažení požadované teploty a po 5 min. klidu se spustil 1 sterilizátor (11 l páry), poté se teplota stabilizovala, čekalo se 5 min. a spustily se 2 sterilizátory (22 l páry). Poté proběhla stabilizace, setrvalo se 10 min. a byly spuštěny opět 2 sterilizátory a po stabilní teplotě 10 min. se spustily 3 sterilizátory (33 l).
- Druhým postupem bylo po dosažení požadované teploty a po setrvání 5 min se spustil 1 sterilizátor, poté stabilizace, klid 5 min. a spustily se 2 sterilizátory, a tak se pokračovalo dál až ke spuštění 5 sterilizátorů (55 l páry).
- Třetí postup byl obdobný jako druhý, ale doba klidu byla stanovena na 10 min.

Měření pomocí různých metod jsme použili proto, abychom mohli zjistit vlastnosti celého systému v závislosti na těchto parametrech a vliv jednotlivých parametrů na celý systém.

Pro lepší představu jak probíhala jednotlivá měření, jsou postupy schematicky zobrazeny na Obr. 21. Jak je vidět, každé měření začíná startem neboli spuštěním celého systému. Poté je stabilizace a setrvání na dané teplotě po určitý čas, 5 či 10 minut. Následně se střídá spouštění různých počtů sterilizátorů s různou délkou stabilizace.



Obr. 21.: Znázornění postupu měření

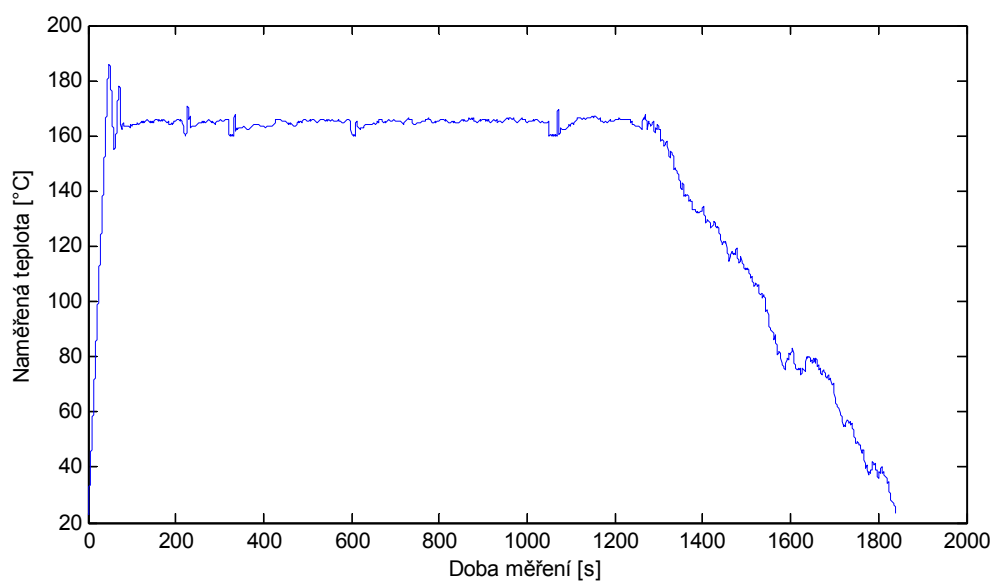
Legenda:

- STAB. – stabilizace po dobu 5 min při konstantní teplotě
- U. I – spuštění jednoho sterilizátoru – 11 l páry
- U. II – spuštění dvou sterilizátorů – 22 l páry
- U. III – spuštění tří sterilizátorů – 33 l páry
- U. IV – spuštění čtyř sterilizátorů – 44 l páry
- U. V – spuštění pěti sterilizátorů – 55 l páry

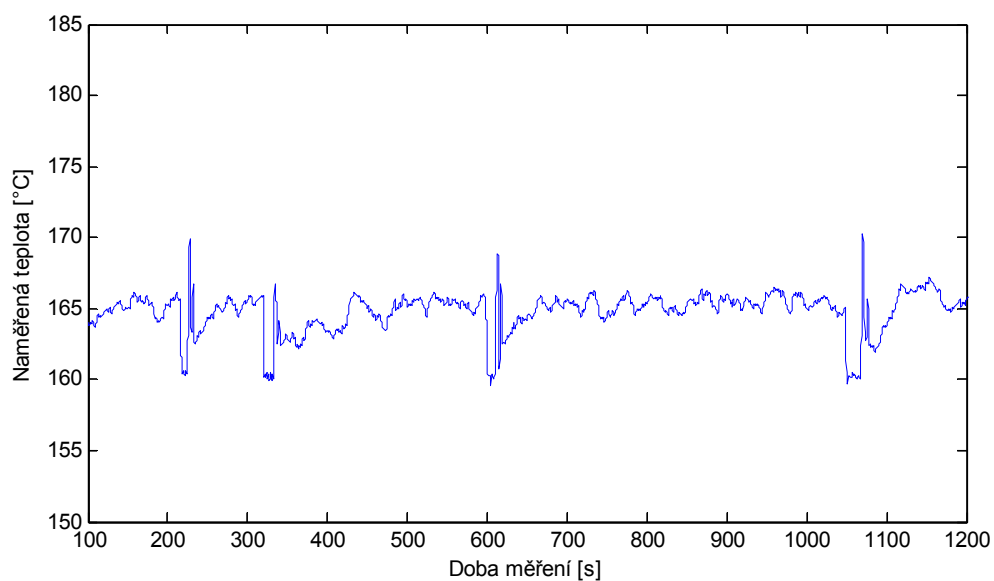
6.1 Měření teploty

Měření teploty je nejjednodušší charakterizace fyzikálního parametru. Zpětně se ukázalo, že se jedná o parametr, který má pro systém velmi velkou vypovídající hodnotu.

Na Obr. 22 jsou vidět původní naměřená data. Měření probíhalo podle prvního postupu. Lze zde vidět jednotlivé události a celkový průběh dat. Výstupem je záznam průběhu teplotní charakteristiky procesu výroby sterilizační páry v posledním měřicím uzlu č. 3. I z nefiltrovaných obrázků jsou vidět jednotlivé klíčové události, které budou v následující části podrobněji analyzovány. Dále je vidět kompletně celý proces od spuštění systému, přes náběh na požadovanou teplotu včetně stabilizace, provozní stav systému, až po doběh na pokojovou teplotu.

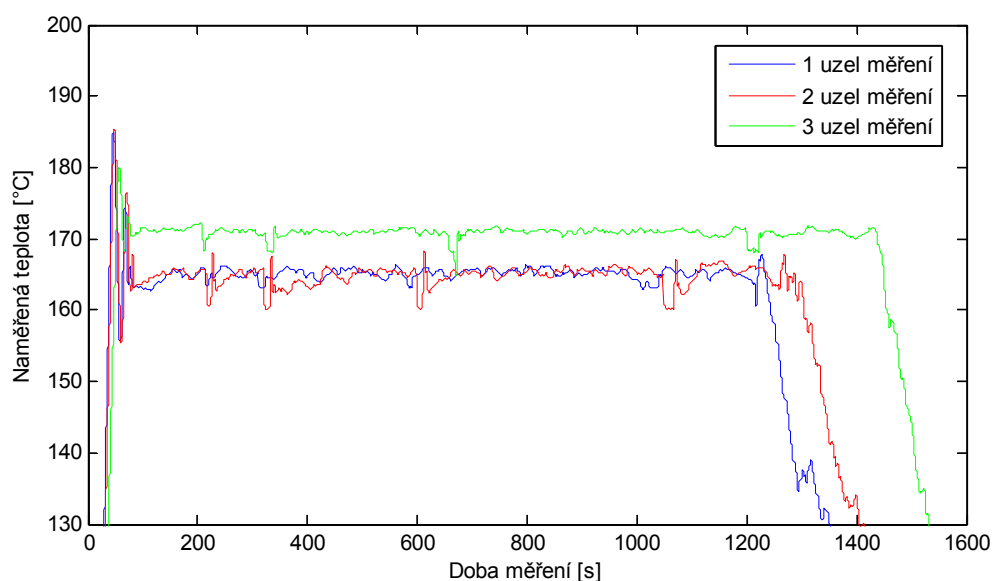


Obr. 22.: Naměřená data z 2 uzlu měření



Obr. 23.: Přiblížená naměřená data z 2. uzlu měření

Jelikož jednotlivé události budeme přesně charakterizovat, je nutné nejprve oddělit od naměřených dat oblasti startu a ukončení celého procesu jak je vidět na Obr. 23.

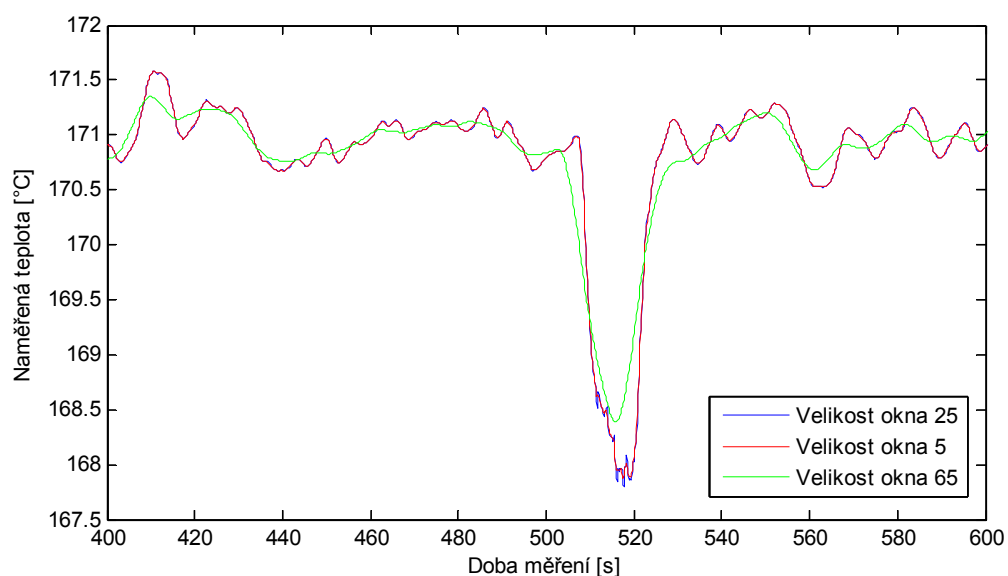


Obr. 24.: Ukázka naměřených dat ze všech tří měřených uzlů

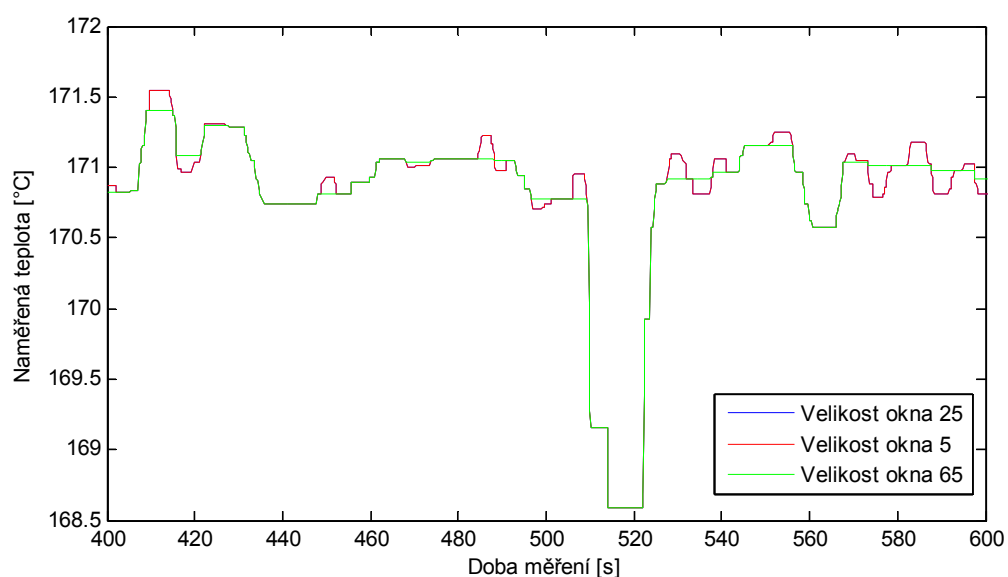
Na Obr. 24 jsou zaznamenána data ze všech tří uzlů. Lze vidět, že teplota čisté páry dosahuje požadované teploty 170 °C. Teploty před a za výměníkem jsou o něco nižší. Dále je z průběhu patrné, že píky jsou mírně vzdálené a tudíž lze předpokládat, že než se teplota zase stabilizovala, trvalo delší dobu.

Na naměřených datech jsou vidět jednotlivé události, ale pro jejich lepší detekci je potřeba data upravit pomocí filtru. Jelikož se nejedná o signál, kde by šum způsobovala určitá frekvence, nemohl se použít filtry typu FIR, IIR. Nakonec byly k testování zvoleny filtry, které pracují se zvolenou oblastí dat o určité velikosti, prvky v ní porovnají a poté dají určitou hodnotu na výstup. Zvolenými filtry tedy byl mediánový a průměrovací. V rámci filtrů se měnilo nastavení okna, aby bylo nalezeno co nejvhodnější nastavení. Jelikož se předpokládá využití této analýzy do provozu, jsou tyto filtry vhodné i svou jednoduchostí a efektivností.

Aby bylo možné jednotlivé události přesně popsat, bylo otestováno několik filtrů a z nich bylo určeno, který je pro naše podmínky nejlepší. Porovnání filtrů lze vidět na Obr. 25 a Obr. 26.



Obr. 25.: Detail 2 události, průměrovací filtr s nastavením velikosti okna 5, 25 a 65

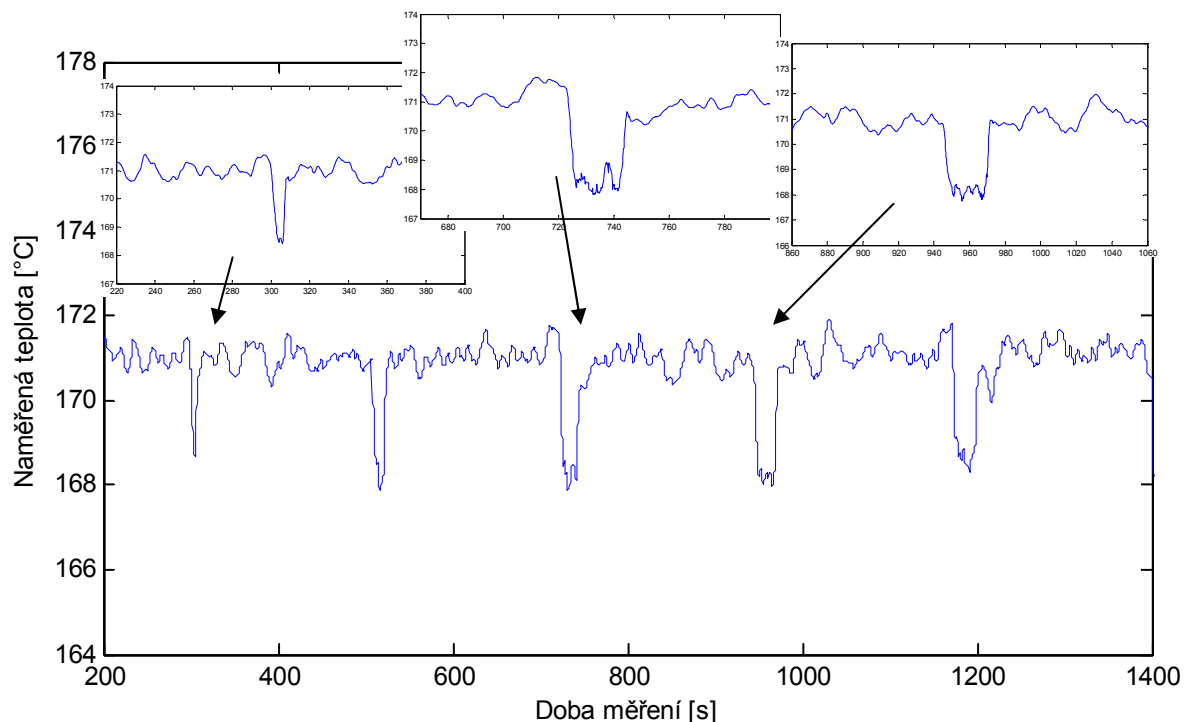


Obr. 26.: Detail 2 událost, mediánový filtr s nastavením velikosti okna 5, 25 a 65

Experimentálně bylo zjištěno, že velikost okna větší než 65 už signál velmi zkreslovala a jednotlivé události byly nečitelné. Proto se rozhodovalo mezi menšími okny. Jak je vidět na jednotlivých obrázcích Obr. 25 a Obr. 26 jsou tyto porovnávány velikosti oken velmi podobné a často se překrývají. Proto vybrat tu optimální velikost okna bylo náročné. Nakonec byl zvolen kompromis a používaná velikost okna je 25 vzorků.

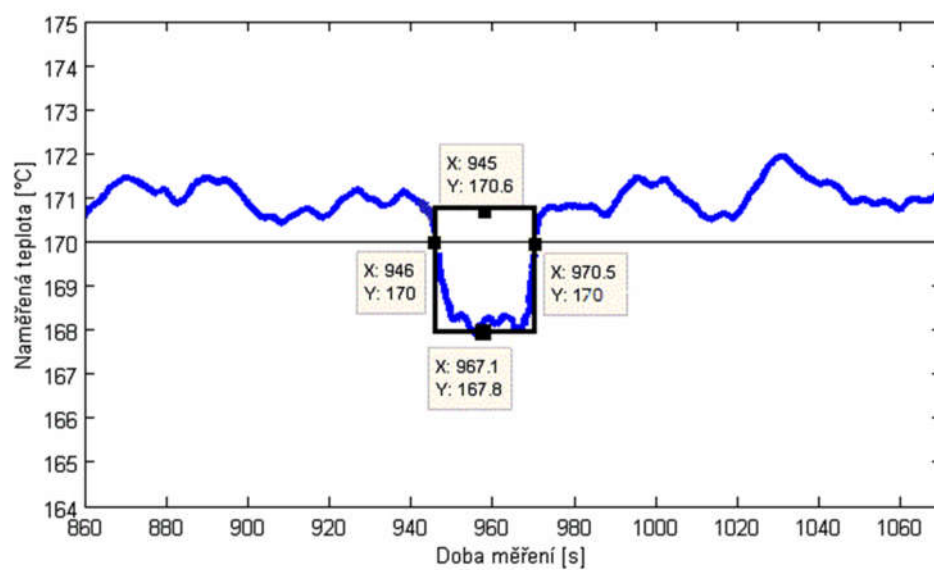
V rámci typu filtru byl vybrán filtr průměrovací, jelikož mediánový filtr vytvářel v průběhu signálu skoky, které by se mohly negativně projevit na následné analýze.

Na Obr. 27 je zkombinován odfiltrovaný signál s detaily událostí. Tyto data byla získána třetím postupem měření. Lze vidět přibližný tvar událostí a rozdíly v jejich velikostech a tvarech.

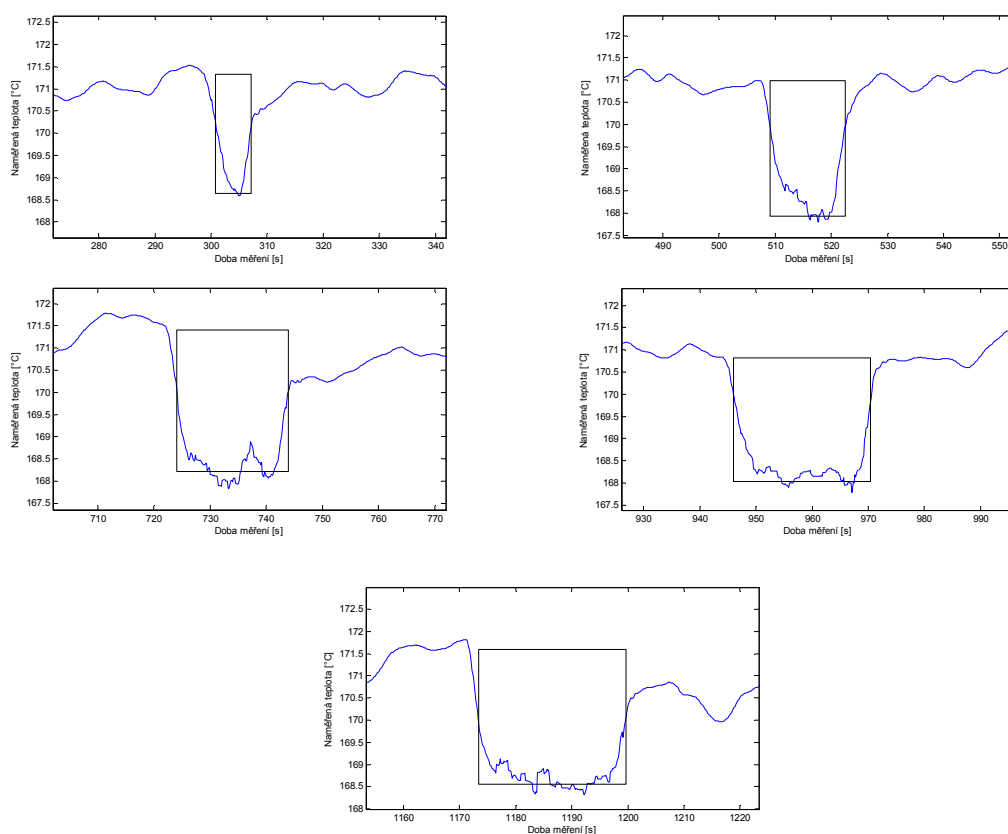


Obr. 27.: Data z 3 uzlu měření s detailem na zapojení 1, 3 a 4 sterilizátorů (1, 3 a 4 pík)

Pro výslednou analýzu byly určeny dva parametry, které se budou proměřovat na jednotlivých datech. Jedná se o výšku a šířku jednotlivých událostí. Šířka představuje délku trvání události a výška rozmezí teplot události. V podstatě tyto parametry charakterizují nedokonalost celého vyvíječe, neboť není schopen při daném odběru držet konstantní fyzikální parametry. Pro jednotlivé proměření se používalo proložení obdélníkem. Každá z jednotlivých událostí byla po filtraci proložena obdélníkem, který nám exaktně specifikuje každou událost. Odečtené hodnoty obdélníků se zaznamenávaly do tabulky a následně budou vyhodnoceny. Ukázku jak vyhodnocení jednotlivých událostí probíhalo lze vidět na Obr. 28, který charakterizuje čtvrtou událost v měřícím uzlu č. 3. Na Obr. 29 můžete vidět detaily jednotlivých událostí, které vznikly při měření dat pomocí třetího postupu s ukázkou proložení obdélníků. Je zde také vidět, jak se jednotlivé události lišily svou velikostí a tvarem.



Obr. 28.: Ukázka měření události (čtvrtá událost 3 uzlu měření)

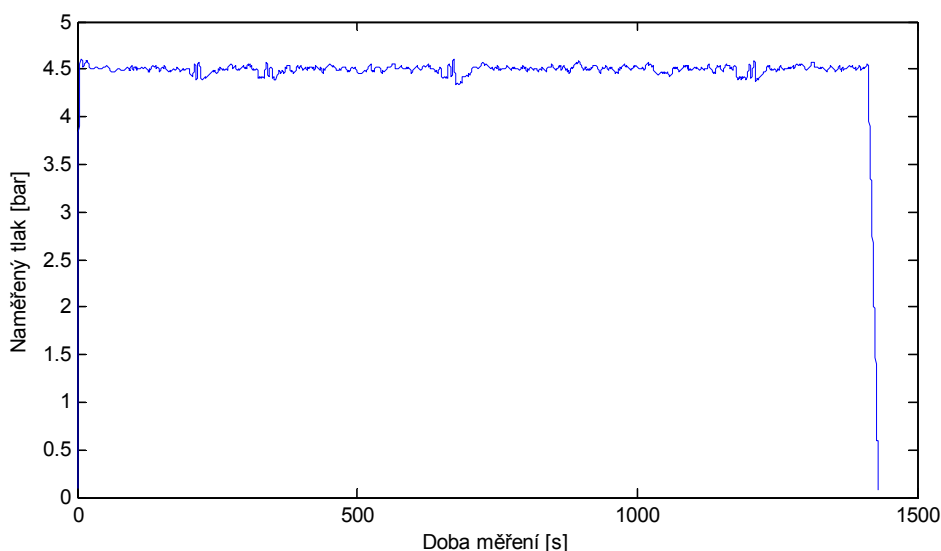


Obr. 29.: Detaily jednotlivých událostí s proložením obdélníku, 3 postup měření

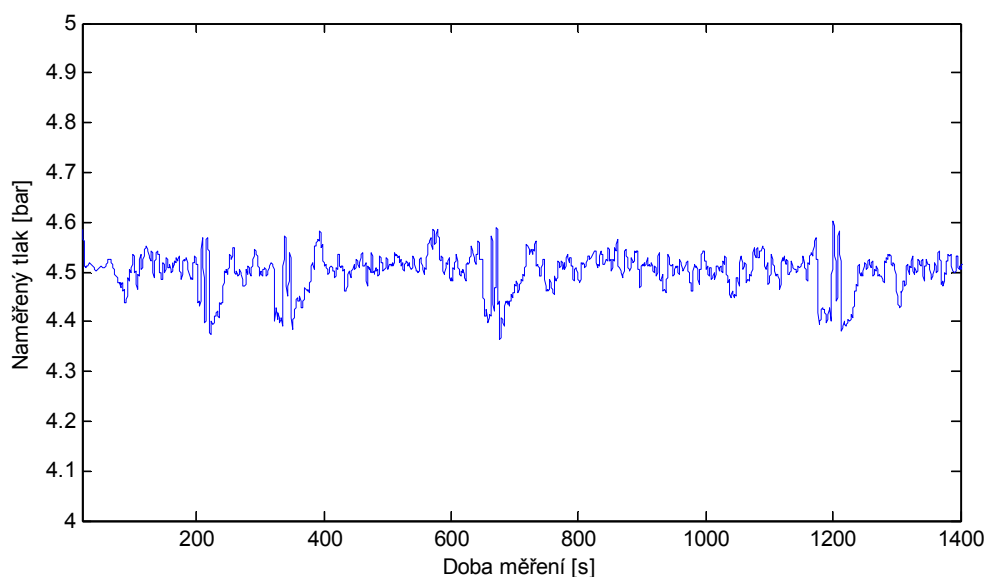
Proložení obdélníkem se provádělo podle předem daného postupu. Šířka obdélníka byla měřena u všech událostí na hodnotě teploty 170 °C. Výška jednotlivých událostí pak byla určena jako proložení stabilního a kvazistabilního stavu přímkou, čímž vznik výsledný obdélníkový tvar, který nám přesně specifikuje jednotlivé události.

6.2 Měření tlaku

Dalším měřeným parametrem byl tlak. Měření probíhalo rozdílně než u měření teploty. V tomto měření byly naměřeny pouze 3 události, s jednotným ustálením a to 10 min. Také byla měřena pouze výstupní čistá pára. Na ostatních měřících uzlech byly měřiče tlaku instalovány, ovšem po prvním zkoumání na těchto charakteristikách nebyly nalezeny žádné události, které by měly jakoukoli vypovídající hodnotu. Naměřená data lze vidět na Obr. 30.



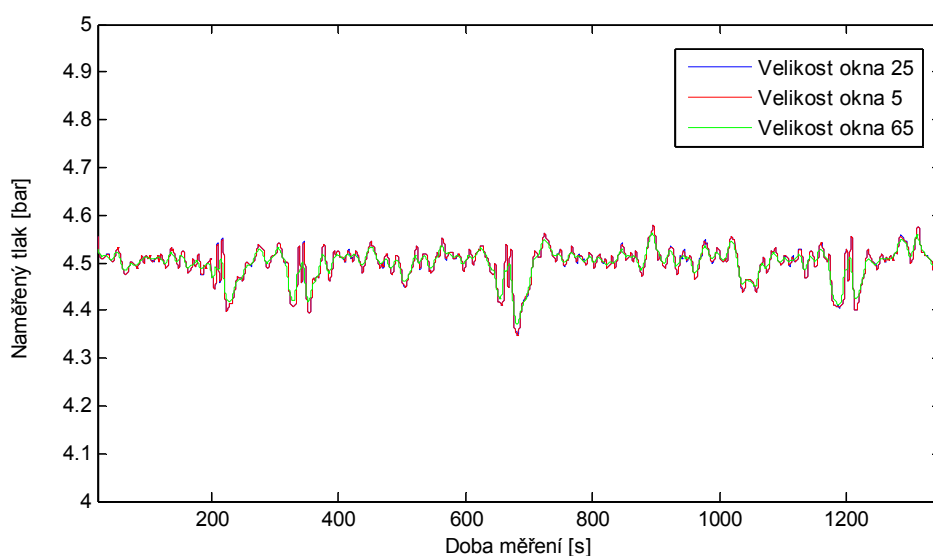
Obr. 30.: Naměřená data z 3 uzlu měření



Obr. 31.: Přibližná naměřená data z 3 uzlu měření

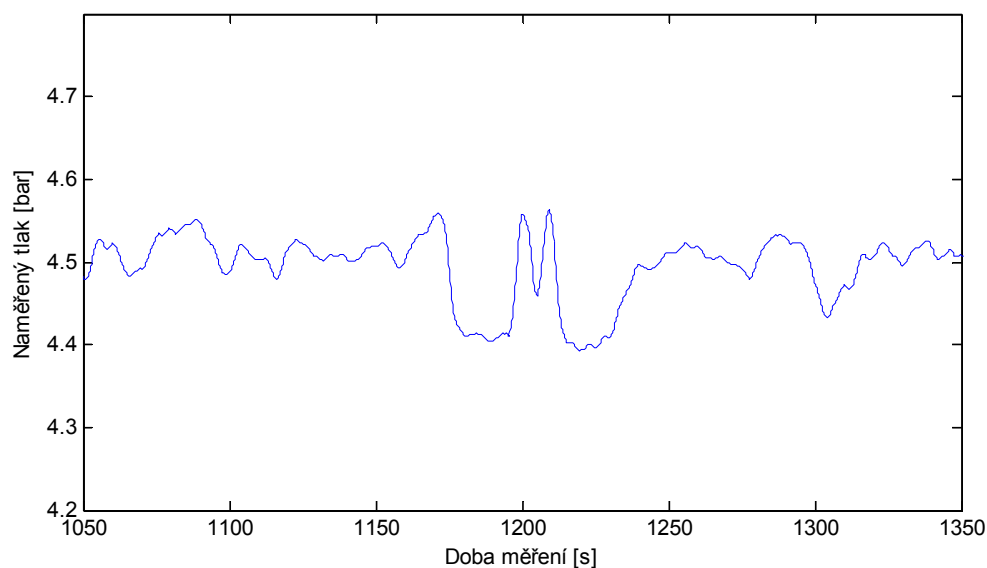
Z přechozích Obr. 30 a Obr. 31 je opět patrné, že při spuštění proudění čisté páry do sterilizátorů, dochází ke změnám v hodnotě tlaku a vytvoření skoků v grafech. Tyto skoky už však nejsou tak znatelné, jako tomu bylo u teploty. Proto je jejich přesné nalezení a identifikace obtížnější.

Také po použití filtru, na Obr. 32, se špatně určuje, co do dané události ještě patří a co již patří do části stabilizace. Aby bylo možné jasně říct, že měření tlaku má menší vypovídací schopnosti nežli měření teploty, byl proveden stejný postup analýzy, jako u měření teploty.



Obr. 32.: Porovnání různých průměrovacích oken na naměřený signál

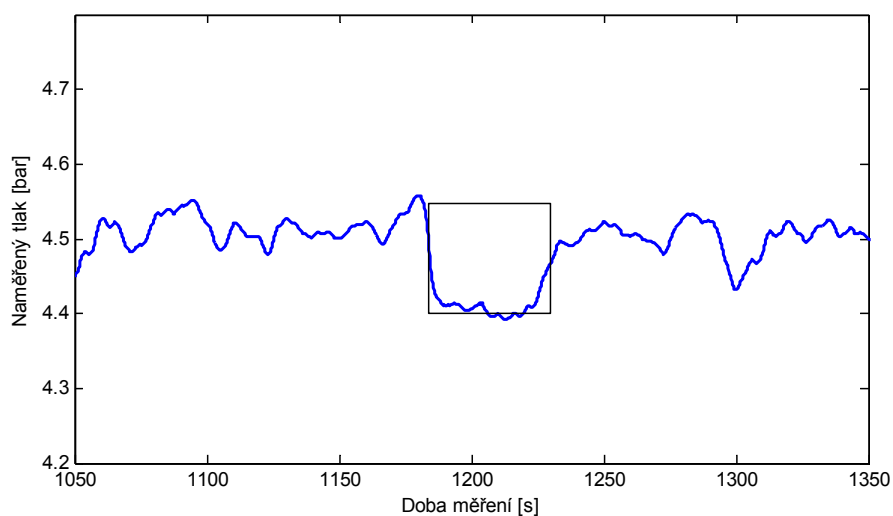
Aby však bylo možné měření provést, bylo potřeba přiblížit jednotlivé události a proměřit je v detailu, který lze vidět na Obr. 33.



Obr. 33.: Detail třetí události vyfiltrovaných dat

Jak je vidět, odhadnout, kde začíná a končí událost je velmi problematické. Měření jednotlivých událostí probíhalo empiricky, stejným postupem jako se měřila teplota.

V každé naměřené události byl součástí stejný typ zákmitu. Tento zákmit byl nejspíš způsoben chybou senzoru. Tím že jeho průběh je stejný ve všech událostech, mohli jsme, k následnému lepšímu proměření, odstranit tento zákmit. Po odstranění zákmitu lze vidět detail události na Obr. 34



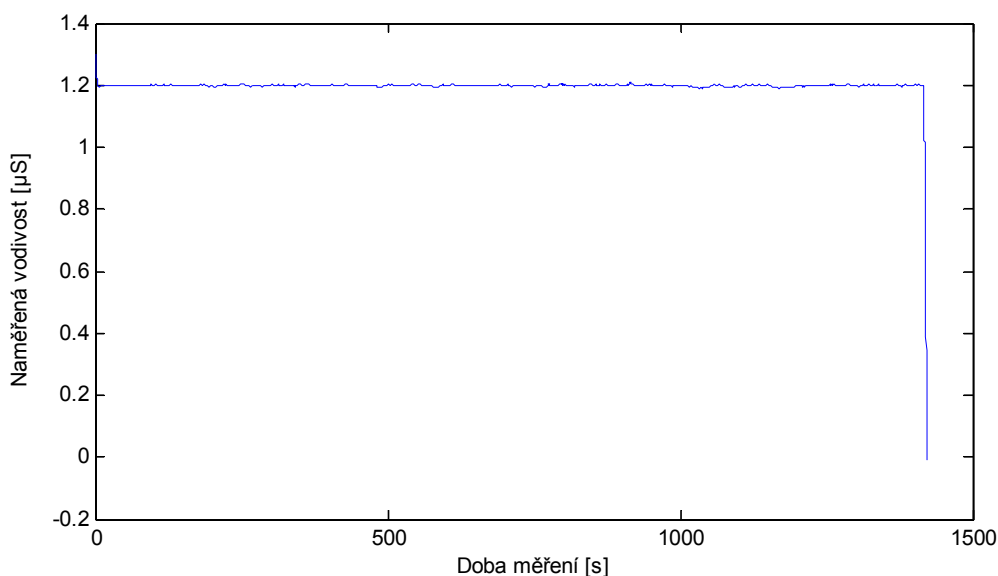
Obr. 34.: Detail třetí události vyfiltrovaného signálu po odstranění zákmitu

Zbytek měření probíhal obdobně jako při měření teploty. Pro měření šířky byla stanovena hodnota tlaku 4,45 barů. Výška byla měřena podle velikosti proloženého obdélníku.

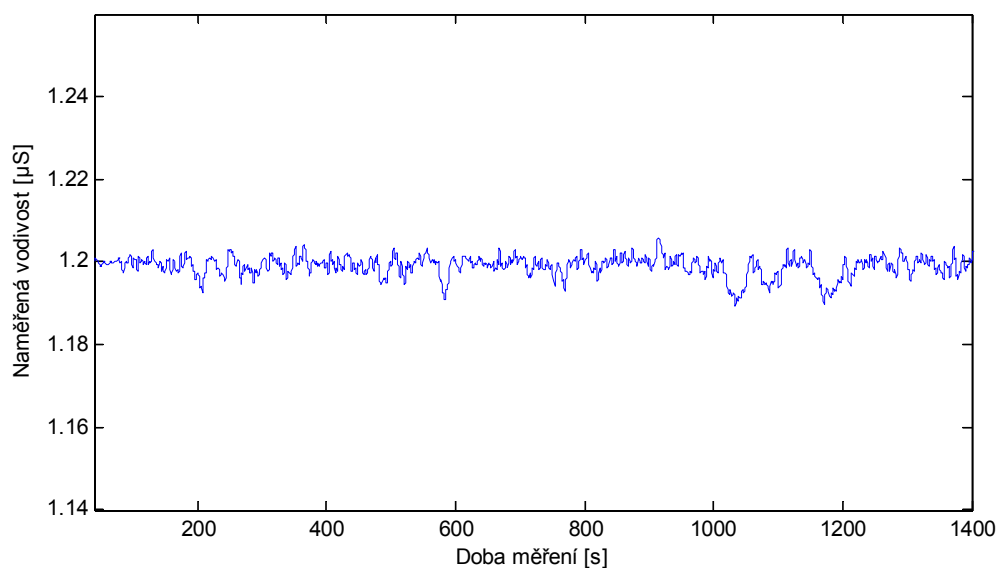
Ve výsledku jsou události po filtraci patrné, avšak vzhledem k výšce událostí a rozlišovací schopnosti měřících senzorů jsou mnohem více zašuměné a tudíž mají menší vypovídající schopnost. Jak je také vidět na Obr. 34, průběh okolních dat dosahuje podobných hodnot jako daná událost, alespoň v rámci výšky.

6.3 Měření vodivosti

Posledním parametrem, který byl měřen, je vodivost. Vodivost byla měřena ve vyvíječi pomocí tří vodivostních senzorů, viz schéma zapojení, tak aby bylo možné posoudit, jestli se nemění kvalita demineralizované vody ve vyvíječi v závislosti na výšce hladiny v něm. Zpětně ani tento parametr nebyl vhodný pro další analýzu, jak je možno vidět na Obr. 35 a Obr. 36.

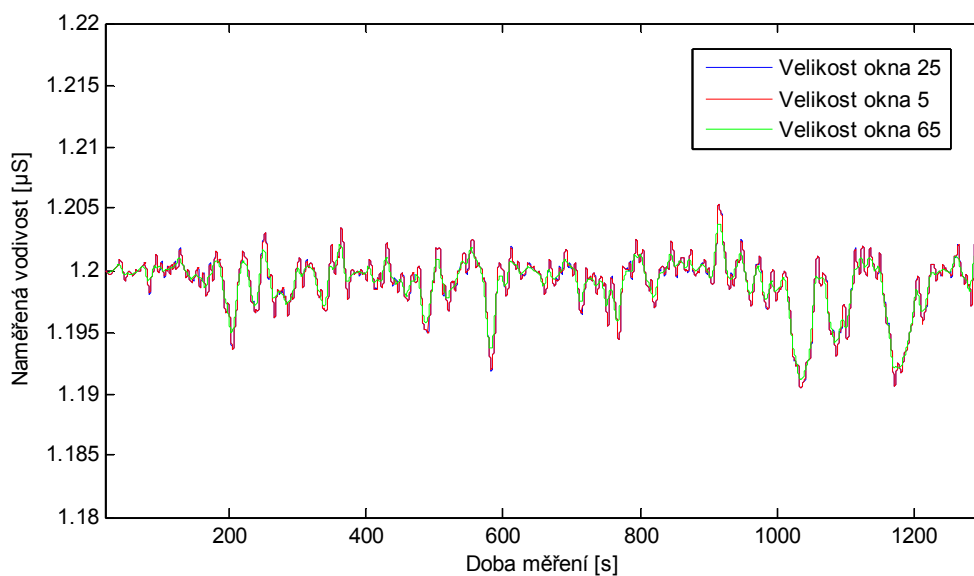


Obr. 35.: Naměřená data z 3 uzlu měření



Obr. 36.: Přibližná naměřená data z 3 uzlu měření

Na průběhu dat nejde vidět žádný výraznější zákmit, který by určoval oblasti jednotlivých událostí. Tudíž bylo nutné pokusit se zviditelnit události pomocí filtrování naměřených dat. Toto filtrování lze vidět na Obr. 37.



Obr. 37.: Vyfiltrovaná naměřená data z 3 uzlu měření

Avšak ani po vyfiltrování není vidět žádná změna v průběhu a stále se průběh chová přibližně stejně. Proto i tento parametr byl odebrán z další analýzy.

7 VYHODNOCENÍ

Jak je vidět z průběhů naměřených dat, má pro nás teplota největší vypovídající hodnotu. Proto budeme důsledněji analyzovat zejména teplotu a posléze tlak. Na jednotlivých událostech bude změřena podle uvedeného postupu výška a šířka proloženého obdélníku a dále se bude pracovat jen s těmito hodnotami. Tyto hodnoty budou následně sloužit pro posouzení kvality a efektivnosti celého systému vyvíječe páry. Při ideálních podmínkách by v systému neměly vzniknout žádné události při spuštění max. 10 ks sterilizátorů, na což byl systém projektován.

Jelikož jsme analyzovali prototypový systém vyvíječe páry, rozhodli jsme se pro dva systémy analýzy, podle kterých byly i připraveny experimenty. Prvním je vyhodnocení uvedených parametrů v závislosti na množství vyprodukované páry, druhým pak závislost na době stabilizace systému, tzn., jestli se změní parametry systému, pokud bude před odběrem páry 5 nebo 10 stabilní bez odběrový stav. Jako první budeme analyzovat postup měření bez ustálení, poté stejným způsobem budeme analyzovat měření s delším ustálením. Následně se srovnají výstupy z obou metod a porovnají se.

7.1 Analýza teploty

7.1.1 Měření bez ustálení

Data, analyzovaná v této části, byla získána pomocí prvního a druhého postupu měření. Jak již bylo zmíněno výše, první postup měření začínal 5 minutovou stabilizací, spuštěním jednoho sterilizátoru, stejnou stabilizací a spuštěním dvou sterilizátorů, poté byla doba stabilizace prodloužena na 10 min a spuštěny opět 2 sterilizátory a po dalších 10 minutách byly spuštěny 3 sterilizátory. Druhý postup měření probíhal střídáním 5 minutové stabilizace se spouštěním sterilizátorů, jejichž počet postupně rostl z jednoho na pět. Poté se data zkombinovala a vytvořily tak výsledné grafy. V Tab. 5 lze vidět odečtené hodnoty jednotlivých událostí.

Tab. 5.: Naměřená velikost jednotlivých událostí

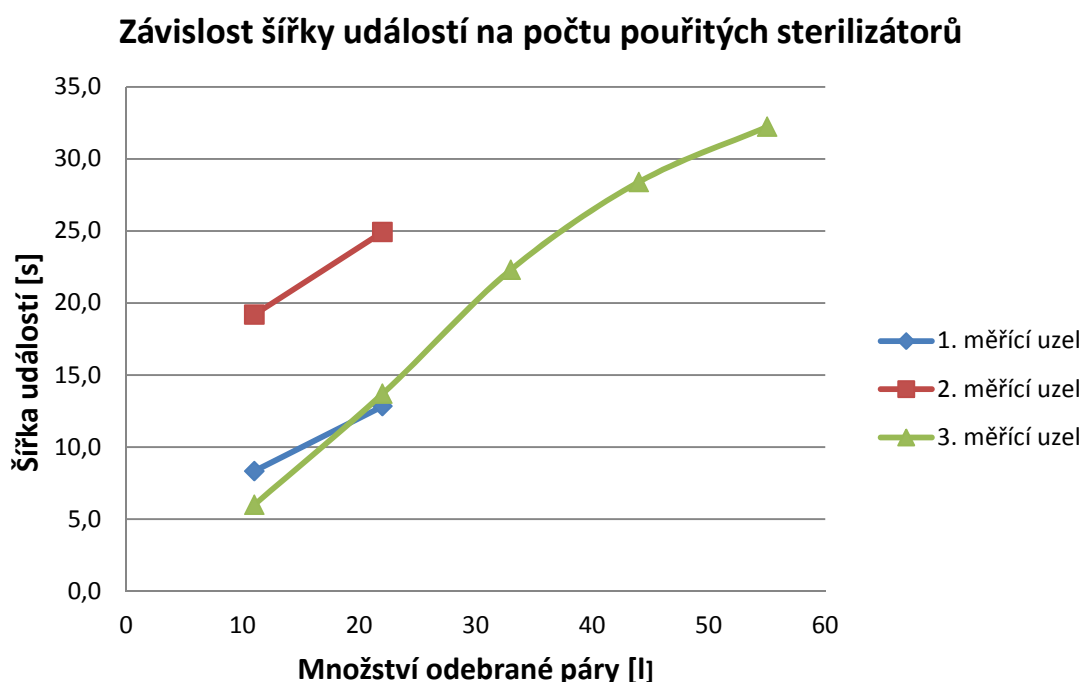
Data	1. událost		2. událost		3. událost		4. událost		5. událost	
	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]
1. měřicí uzel	8,2	1,7	13,3	1,9						
	8,5	1,8	12,3	1,8						
2. měřicí uzel	19,0	8,0	22,8	7,5						
	19,3	7,7	27,0	8,5						
3. měřicí uzel	6,2	3,4	14,0	3,0						
	5,7	2,1	13,8	2,9						
	5,7	2,5	13,7	2,3						
	5,7	2,3	13,5	2,5						
	6,7	1,8	13,2	2,6						
	6,2	2,0	13,7	2,2						
	4,8	1,6	12,8	2,0						
	5,7	1,5	13,0	2,2						
	6,2	2,6	14,5	2,6						
	6,0	2,4	13,5	2,4	22,7	2,6	27,8	3,0	32,5	2,8
	6,2	2,2	14,0	3,0	21,8	3,0	28,3	2,8	33,0	2,9
	6,5	2,2	14,0	2,4	22,0	3,1	28,2	2,9	31,5	3,2
	5,7	2,7	13,8	2,8	22,8	3,1	29,8	3,5	31,8	2,4
	6,5	2,2	14,0	2,5	22,2	2,2	28,0	3,1	32,3	2,9

Po proměření jednotlivých událostí, ve všech uzlech, ve všech naměřených datech se z jednotlivých částí vypočítal průměr. Z tohoto průměru byly následně vytvořeny výsledné grafy. V Tab. 6 lze vidět, průměry jednotlivých hodnot pro jednotlivé události v měřicích uzlech.

Tab. 6.: Zprůměrovaná naměřená data se směrodatnými odchylkami

Data	1. událost		2. událost		3. událost		4. událost		5. událost	
	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]
1. měřicí uzel	8,3 ±0,2	1,8 ±0,05	12,8 ±0,5	1,9 ±0,05						
2. měřicí uzel	19,2 ±0,2	7,9 ±0,15	24,9 ±2,08	8,0 ±0,5						
3. měřicí uzel	6 ±0,4	2,3 ±0,5	13,7 ±0,4	2,5 ±0,3	22,3 ±0,4	2,8 ±0,4	28,4 ±0,7	3,1 ±0,2	32,2 ±0,5	2,8 ±0,3

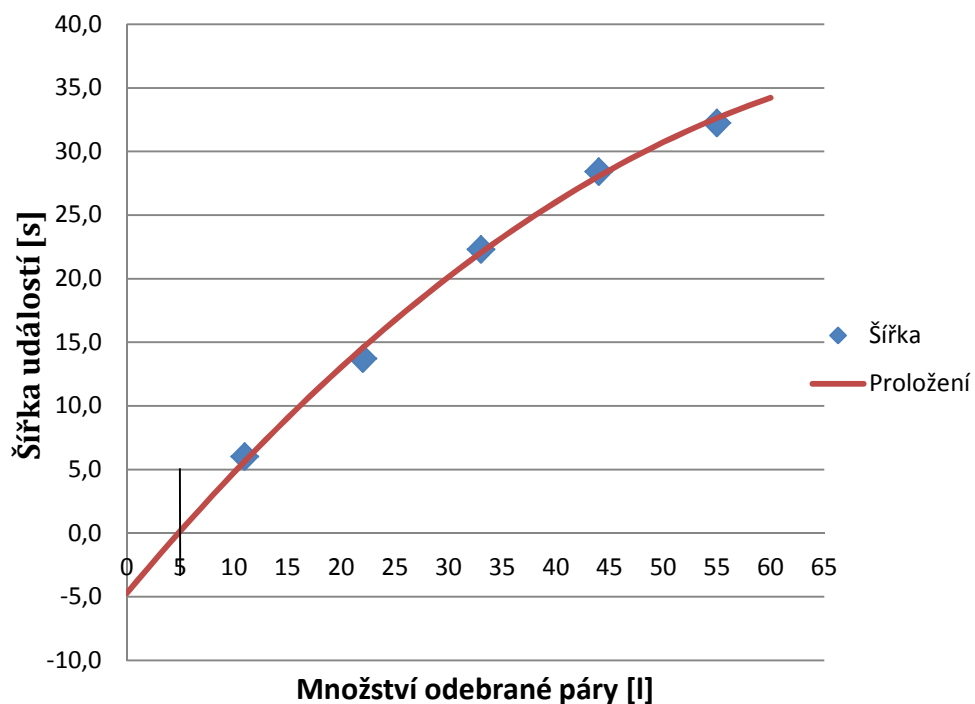
V jednotlivých grafech je zobrazen průběh šířky a výšky v závislosti na počtu sterilizátorů, které byly použity.



Graf 1.: Závislost šířky jednotlivých událostí na počtu použitých sterilizátorů

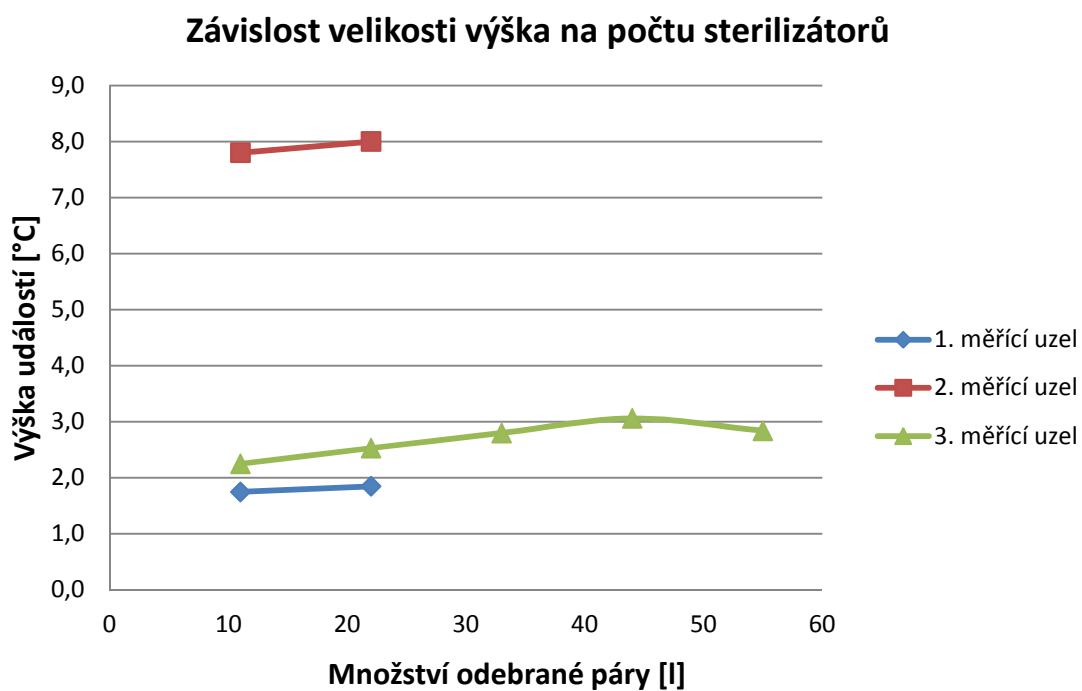
V Graf 1 lze vidět průběh šířky, tedy velikost časového intervalu, kdy se odpouštěla pára. Podle průběhu křivek se potvrdil předpoklad, že čím více se bude páry vypouštět, tím více se bude doba odpouštění prodlužovat. Díky tomu se prodlužují i jednotlivé události.

Pro odvození, jaké je minimální množství páry, které lze vypustit, aniž by se zaznamenala jakákoliv událost, byla křivka z 3. měřicího uzlu proložena polynomičnou křivkou druhého řádu. Toto proložení lze vidět na Graf 2. V grafu, kde křivka protíná osu X, lze také vidět přibližnou hodnotu charakterizující celý systém vyvíječe páry, resp. maximální hodnotu průtoku čisté páry, při které nedojde z hlediska šířky události k žádnému zákmitu teploty. Přesná hodnota byla vypočítána na 4,83 l.



Graf 2.: Naměřená šířka z 3 uzlu měření proložená polynomicou křivkou

Na Graf 3 je vidět průběh jednotlivých výšek událostí. Podle průběhu lze vidět, že množství odebrané páry, nemá na teplotu nijak výrazný vliv a teplota se pohybuje v přibližně stejných hodnotách.



Graf 3.: Závislost výšky jednotlivých událostí na počtu požitých sterilizátorů

Na Graf 1 a Graf 3 je zaznamenán průběh zprůměrovaných dat. Z grafů jde vyčíst, že největší výšku i šířku událostí mělo měření z 2 uzlu. Měření z 1 a 3 uzlu má podobné hodnoty. Pravděpodobná příčina tohoto jevu je setrvačnost výměníku, který předává energii systému ze surové „nečisté“ páry. Tento jev bude v následujících měsících ještě podrobněji analyzován.

7.1.2 Měření s ustálením

Data do této části měření byly získány pomocí prvního a třetího postupu měření. První byl již zopakován výše. Třetí postup se liší od druhého pouze změnou doby stabilizace. Zde je doba stabilizace prodloužena na 10 minut a počet sterilizátoru je opět od jednoho do pěti kusů. Následně se opět zkombinovala a vytvořila tabulka, která bude následně zpracovávána. V Tab. 7 lze vidět jednotlivé naměřené velikosti.

Tab. 7.: Naměřená velikost jednotlivých událostí

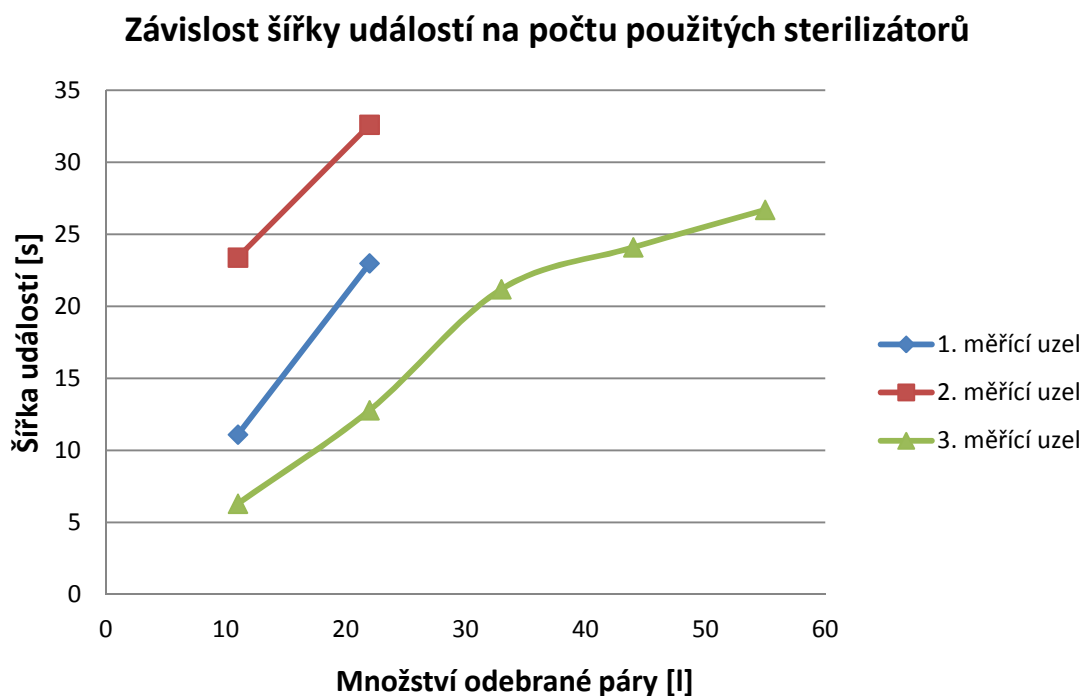
Data	1. událost		2. událost		3. událost		4. událost		5. událost	
	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]
1. měřící uzel			11,0	1,3	24,7	1,9				
			11,2	1,6	21,3	2,0				
2. měřící uzel			22,7	8,5	33,0	8,1				
			24,2	8,4	32,2	7,6				
3. měřící uzel			16,7	4,0	22,5	3,1				
			11,8	2,6	22,2	2,9				
			12,0	2,7	22,0	2,8				
			13,5	3,5	22,0	2,8				
			12,2	3,1	21,8	2,6				
			12,2	2,9	22,5	2,3				
			11,5	2,0	21,5	1,8				
			11,5	2,3	21,5	2,1				
			12,5	2,5	22,0	2,8				
	6,7	2,5	12,8	2,8	19,5	2,6	23,7	3,0	26,8	2,1
	6,7	2,6	13,8	2,6	20,3	3,1	24,2	2,8	26,8	2,6
	6,2	2,6	12,8	2,6	19,5	3,4	23,8	3,4	26,5	2,8
	5,8	2,6	13,2	3,1	19,7	3,2	24,3	2,9	26,3	2,9
	6,2	2,7	13,3	2,8	19,7	3,0	24,7	2,6	27,0	2,4

Poté byly opět vypočítány průměry jednotlivých událostí v jednotlivých měřících uzlech. Tyto průměry lze vidět v Tab. 8.

Tab. 8.: Zprůměrovaná naměřená data se směrodatnými odchylkami

Data	1. událost		2. událost		3. událost		4. událost		5. událost	
	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]	Šířka [s]	Výška [°C]
1. měřicí uzel			11 ±0,1	1,5 ±0,2	23 ±1,7	2,0 ±0,1				
2. měřicí uzel			23,4 ±0,8	8,5 ±0,1	32,6 ±0,4	7,9 ±0,3				
3. měřicí uzel	6,3 ±0,3	2,6 ±0,1	12,8 ±1,3	2,8 ±0,5	21,2 ±1,1	2,8 ±0,4	24,1 ±0,4	2,9 ±0,3	26,7 ±0,2	2,6 ±0,3

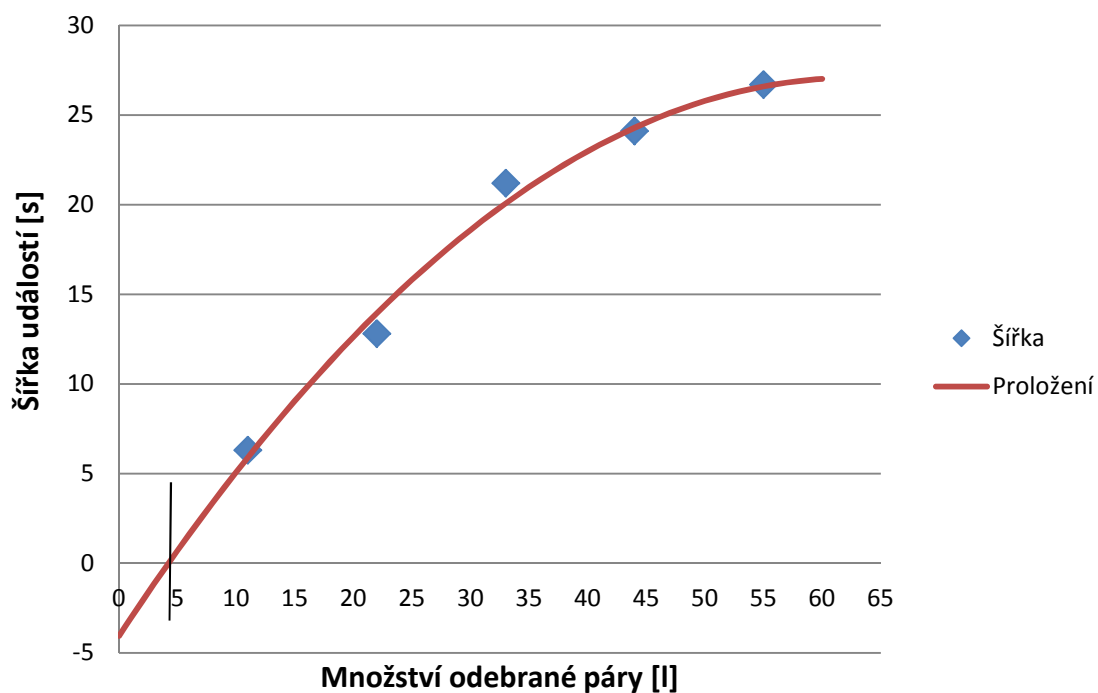
Zobrazení naměřených dat proběhlo obdobně jako v podkapitole 7.1.1. První byla zobrazena šířka a poté výška událostí v závislosti na množství použité páry. Průběhy lze vidět na Graf 4 a Graf 6.



Graf 4.: Závislost šířky jednotlivých událostí na počtu použitých sterilizátorů

Průběh šířky na Graf 4 má podobný závěr jako u měření bez ustálení, tedy že se zvyšujícím se počtem sterilizátorů se také prodlužuje doba jednotlivých událostí. Průběhy dat z jednotlivých uzlů si však nejsou už tak podobná, jako u Graf 1. Lze vidět strmý nárůst na počátku, který se od třetího sterilizátoru začíná zmírňovat.

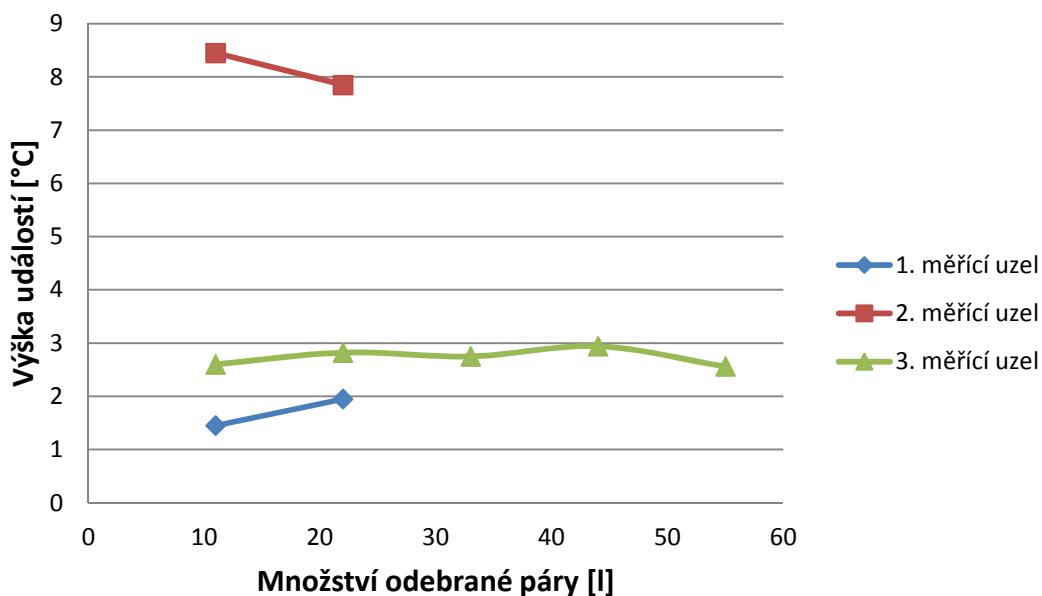
Na Graf 5 lze vidět proložení dat z 3. měřicího uzlu pomocí polynomicke křivky druhého řádu. Také zde je zaznačena hodnota, kde je minimální odběr páry, aby nebyla zaznamenána událost. Po výpočtu tato hodnota je 4,23 l.



Graf 5.: Naměřená šířka z 3 uzlu měření proložená polynomicou křivkou

Z Graf 6 lze opět odvodit, že teplota resp. výška události se nijak nemění v závislosti na použitém počtu sterilizátorů a pochybuje se okolo jedné hodnoty.

Závislost výšky událostí na počtu použitých sterilizátorů



Graf 6.: Závislost výšky jednotlivých událostí na počtu použitých sterilizátorů

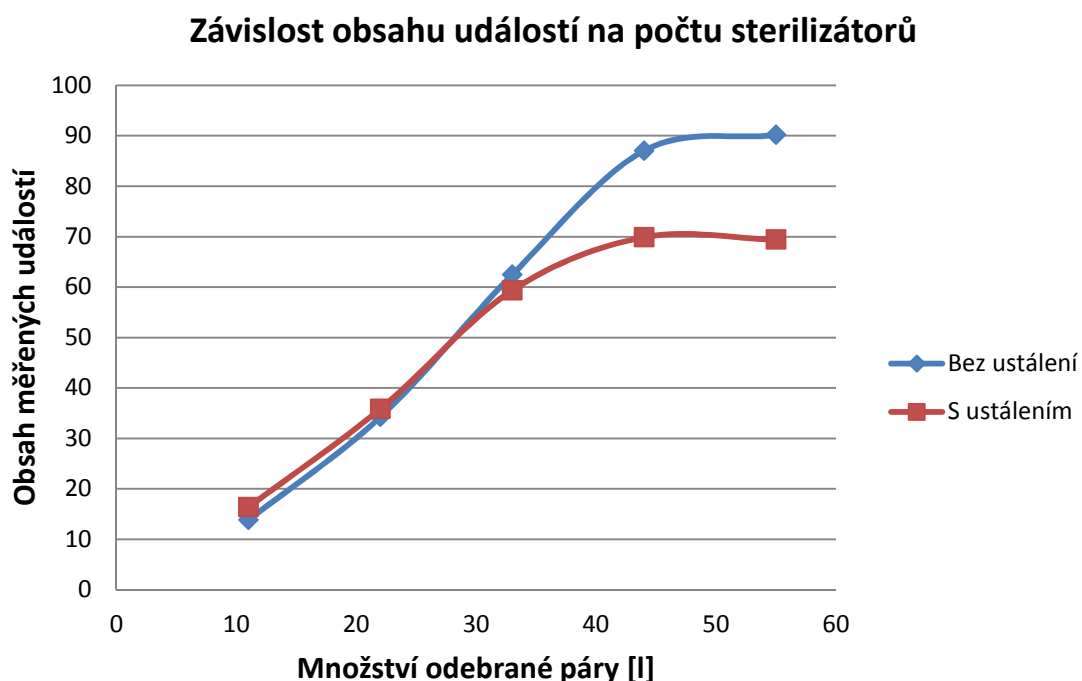
Jak je vidět na jednotlivých průbězích, data z 2. měřicího uzlu mají vyšší hodnotu jak šířky, tak výšky oproti datům z měřicích uzlů 1 a 3. Příčina tohoto jevu bude stejná jako u měření bez ustálení.

7.1.3 Kombinovaná analýza

K lepšímu porovnání dat z měření bez ustálení a s ustálením, byl zvolen jiný postup. Zde se pracovalo pouze s daty naměřenými druhým a třetím způsobem, tedy data měřená za použití až 5 sterilizátorů. Ze zprůměrovaných dat byl vypočítán obsah obdélníka. Vypočítané hodnoty lze vidět v Tab. 9. Tato analýza charakterizuje událost jako celek a tudíž má nejvyšší vypovídající schopnost.

Tab. 9.: Obsahy jednotlivých událostí pro 3 uzly měření

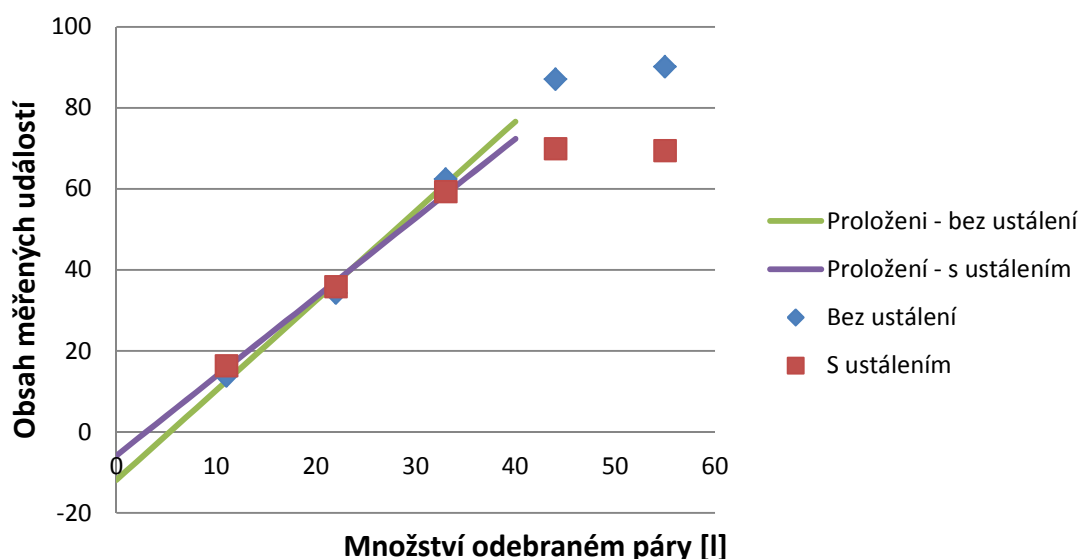
Data	1. událost	2. událost	3. událost	4. událost	5. událost
Bez ustálení	13,8	34,25	62,44	87,04	90,16
S ustálením	16,38	35,84	59,36	69,89	69,42



Graf 7.: Závislost obsahu událostí na počtu použitých sterilizátorů

Na Graf 7 lze vidět tuto závislost. Je patrné, že průběhy jsou si velmi podobné, přičemž se zvětšujícím se počtem sterilizátorů se obsah obdélníka zvětšuje. Avšak z konce grafu by se dalo říci, že se velikosti obsahu stabilizují a zůstanou přibližně stejné i se stejným rozdílem velikostí.

Závislost obsahu událostí na počtu sterilizátorů



Graf 8.: Znázornění obsahu s proložením lineárními křivkami

Abychom mohli stavy sterilizátorů z hlediska doby ustálení porovnat, přistoupili jsme k proložení obou křivek lineární oblasti přímkou. Z proložení vyplynuly maximální hodnoty odběru páry 5,34 l a 2,96 l, pro neustálený a ustálený systém. Jelikož hodnoty maximálního odběru systému jsou opačné, nežli jsme očekávali a rozdíl mezi nimi je minimální, lze na to usoudit, že při nízkém odběru páry není významný vliv mezi ustáleným a neustáleným systémem. Naopak při vyšších odběrech páry, nad 40 l, je rozdíl již mnohem výraznější (nad 25%), tudíž je nutné, při dalším návrhu těchto sterilizátorů, s tímto faktorem v budoucnu počítat.

7.2 Analýza tlaku

Analýza tlaku probíhala obdobně jako analýza teploty. Rozdílem bylo, že v tlaku byly naměřeny pouze 3 události. Jelikož podle tvaru událostí je prokládání obdélníkem obtížné, byla zjištěná data naměřena empiricky. Naměřené hodnoty jednotlivých událostí lze vidět Tab. 10.

Tab. 10.: Naměřené velikosti jednotlivých událostí

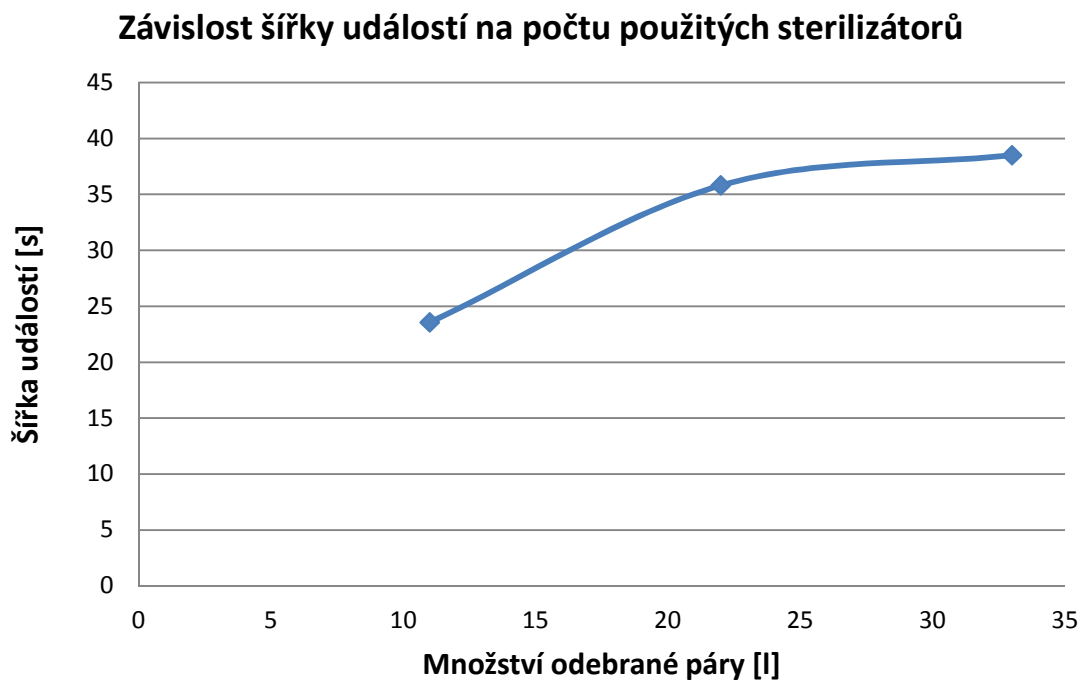
Data	1. událost		2. událost		3. událost	
	Šířka [s]	Výška [bar]	Šířka [s]	Výška [bar]	Šířka [s]	Výška [bar]
3. měřicí uzel	18,8	0,109	39	0,146	34	0,114
	28,3	0,139	32,6	0,144	43	0,117

Pro vytvoření grafů byly poté vypočítány průměry šířky a výšky z jednotlivých událostí. Hodnoty těchto průměrů lze vidět v Tab. 11.

Tab. 11.: Zprůměrované naměřené hodnoty událostí se směrodatnými odchylkami

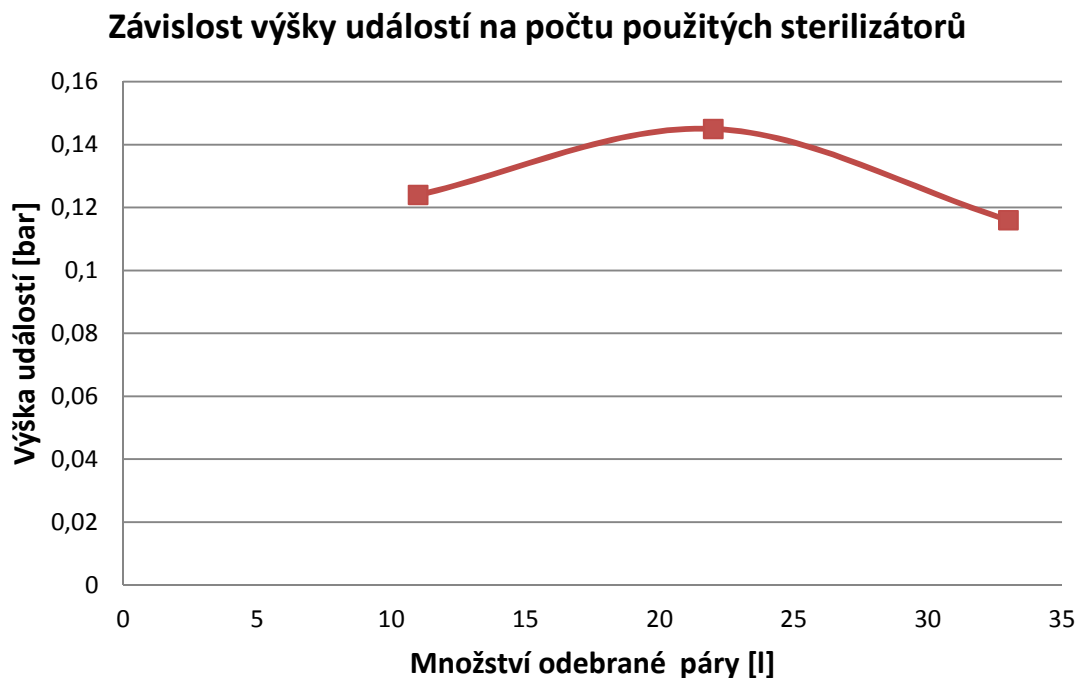
Data	1. událost		2. událost		3. událost	
	Šířka [s]	Výška [bar]	Šířka [s]	Výška [bar]	Šířka [s]	Výška [bar]
3. měřicí uzel	23,55 ±4,75	0,124 ±0,01	35,8 ±3,2	0,144 ±0,001	38,5 ±4,5	0,116 ±0,002

Z těchto zprůměrovaných hodnot byly vytvořeny samostatné grafy pro šířku a pro výšku.



Graf 9.: Závislost šířky událostí na počtu použitých sterilizátorů

Ze závislosti na Graf 9 je patrné, že se zvětšujícím se odběrem páry, nepatrně roste šířka události zákmitu tlaku. Ovšem tato charakteristika není nijak výrazná, proto pro celkové vyhodnocení nemá výraznější vliv.



Graf 10.: Závislost výšky událostí na počtu použitých sterilizátorů

Z průběhu výšky, na Graf 10, už žádný obdobný závěr vyvodit nelze. Průběh na počátku stoupá, ale poté prudce klesá. Tudíž by se dalo říci, že počet spuštěných sterilizátorů nebude mít na výšku událostí vliv. Jelikož rozdíl tlaků jednotlivých událostí je pod hranicí 0,5 %, pohybujeme se na hraně chyby měření této veličiny.

8 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se zabývala návrhem nového kontinuálního systému měření jakosti sterilizační páry. Jedná se o prototypový systém, sloužící k zjištění všech faktorů ovlivňující kvalitu páry a funkčnost celého systému. Na začátku práce byly popsány základní postupy a metody dezinfekce a sterilizace. Následně byly definovány základní parametry a jejich hodnoty, které musí sterilizační pára obsahovat, aby odpovídala normě, a tím bylo potvrzeno, že sterilizace dosáhla vysoké účinnosti zničení patogenních zárodků. Abychom mohli fyzikální parametry měřit, byly nejprve popsány metody měření teploty, tlaku, vodivosti a vlhkosti a typy senzorů, které by mohly být využity pro měření. V následující části práce byla popsána současná kalorimetrická metoda měření jakosti sterilizační páry.

Hlavní částí diplomové části bylo navrhnutí nového systému pro měření jakosti sterilizační páry, který by v budoucnu nahradil stávající kalorimetrickou metodu, nyní zakotvenou v normách. Při návrhu byly stanoveny 3 stěžní parametry, pro posouzení kvality páry, a to teplota, vlhkost a tlak.

Na počátku byly stanoveny 3 klíčové měřicí body, které byly na základě konzultace s projektantem systému vyhodnoceny jako místa s nejvyšší vypovídající hodnotou pro celý systém. Následně byly na základě parametrů systému vybrány jednotlivé senzory, umožňující měření všech fyzikálních parametrů. Tyto měřicí body se nacházely při vstupu technické páry, za výměníkem a před výstupem čisté páry do sterilizátorů. Pro měření byly stanoveny 3 postupy měření, kde se měnily doby stabilizace a množství odvedené páry, které mělo simulovat počet zapnutých sterilizátorů. Tyto postupy měly za cíl určit časovou stabilitu celého systému. Data byla naměřena pomocí automatizovaného systému PLC a následně na nich byla provedena filtrace za účelem odstranění rušivých signálů. V naměřených datech se jednotlivé odpuštění páry projevilo vznikem tzv. události, tedy zakolísáním měřených parametrů teploty a tlaku. Tato událost se v analýze stanoveným postupem proměřila a vyhodnocovala. Na událostech se měřila jejich šířka, která představovala, jak dlouho jednotlivá událost trvala a výška, která představovala, v jakém rozmezí teplot a tlaků se událost pohybovala. Na změřená data byla aplikována matematická analýza, která následně sloužila pro stanovení výsledků. Pro vyhodnocení stability celého systému jsme přikročili k vyhodnocení dat bez ustálení, dat s dvojitou dobou stabilizace systému, a poté na kombinovanou plošnou analýzu událostí.

Po naměření dat a jejich analýze bylo zjištěno, že největší vypovídající hodnotu o systému bude mít analýza teploty, jelikož u ní lze nejlépe charakterizovat jednotlivé

události. Při měření tlaku už je analýza velmi obtížná a jednotlivé události jsou stále silně zašuměny. Podle naměřených dat má vodivost minimální vypovídající hodnotu, jelikož na jejím průběhu se události vůbec neprojeví.

Teplota byla naměřena pomocí všech tří postupů. Pokud porovnáme jednotlivá data, tak data z druhého měřicího bodu dosahovala nejvyšších hodnot jak v šířce tak výšce. Pravděpodobná příčina tohoto jevu je setrvačnost výměníku, který předával energii systému z technické páry. Hodnoty z technické a čisté páry resp. měřicí body č. 1 a 3 vykazovaly minimální rozdíly v měřených parametrech. Pokud porovnáme naměřená data bez ustálení a s ustálením, lze vyvodit, že data mají velmi podobné závěry. U měření šířky se potvrdilo, že čím více se páry upouští, tím se časově tyto události prodlužují. U analýzy výšky lze zase odvodit, že rozmezí teplot, v nich se událost pohybuje, se s přibývajícími sterilizátory nemění. Z výsledků kombinované plošné analýzy vyplynuly maximální hodnoty odběru páry 5,34 l a 2,96 l, pro neustálený a ustálený systém. Jelikož hodnoty maximálního odběru systému jsou opačné, nežli jsme očekávali a rozdíl mezi nimi minimální, lze usoudit na to, že při nízkém odběru páry není významný vliv mezi ustáleným a neustáleným systémem. Naopak při vyšších odběrech páry (nad 40 l) je rozdíl již mnohem výraznější (nad 25%), tudíž je nutné při dalším návrhu těchto sterilizátorů s tímto faktorem v budoucnu počítat.

Po analyzování všemi výše uvedenými postupy vyplynul zásadní údaj, který celý tento systém komplexně charakterizuje. Jedná se o maximální odběr páry, nutný k tomu, aby systém byl stabilní a nedocházelo k jakýmkoliv událostem. Tato hodnota se značně liší od projektované a byla stanovena na hodnotu 4 l odběru páry.

Měření tlaku bylo problematické z důvodu, že jednotlivé události nebyly tak patrné jako u měření teploty. Rozborem těchto dat jsme dospěli ke srovnatelným výsledkům jako u měření teploty ovšem s menší přesností.

Z výše uvedeného vyplývá, že celý systém jako celek je funkční a v zásadě stabilní, ovšem výsledné fyzikální parametry neodpovídají naprojektovaným parametrům. Z hlediska kontinuálního měření kvality páry se potvrdil předpoklad, že kontinuální měření teploty a tlaku a určení mezních podmínek jsou dostatečně přesným ukazatelem k posouzení jakosti sterilizační páry.

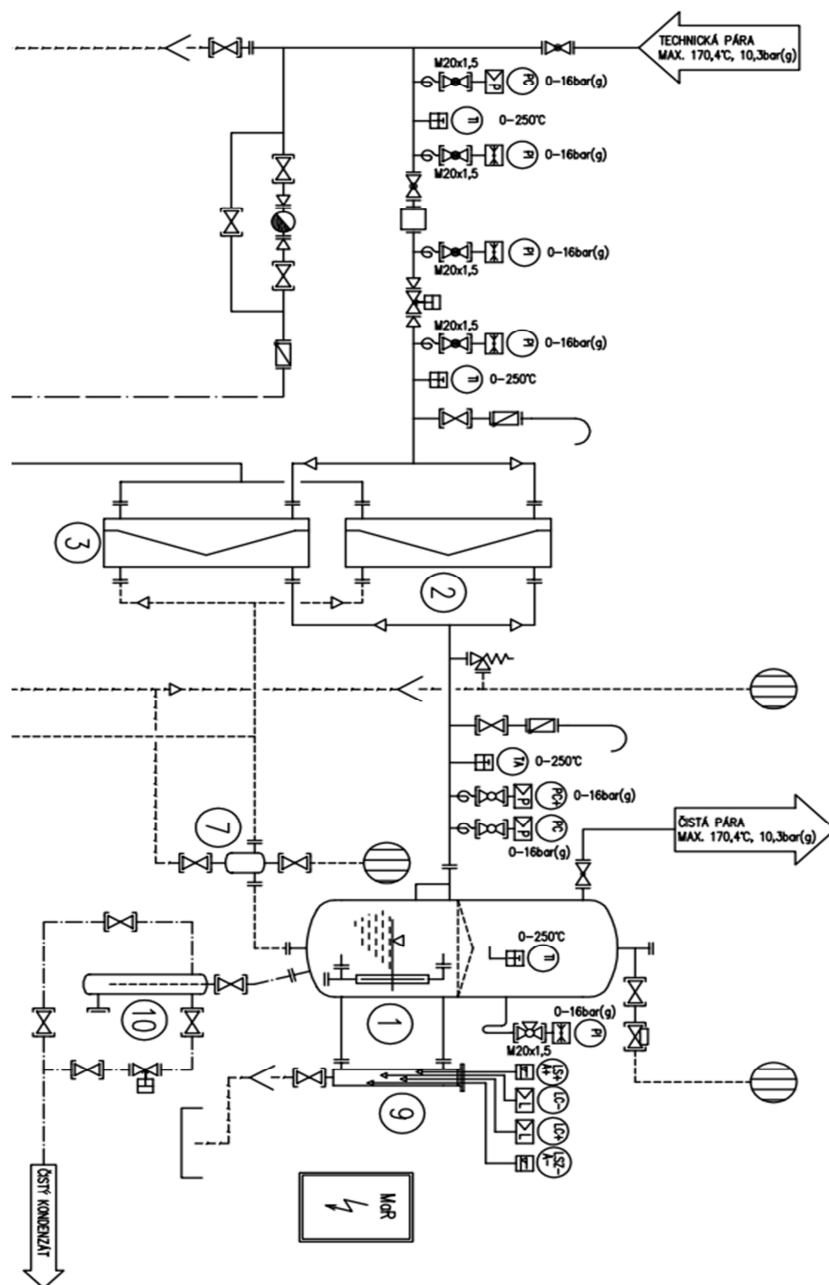
LITERATURA

- [1] MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Sterilizace a dezinfekce ve zdravotnictví*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1998, 102 s. ISBN 80-7169-442-8.
- [2] ŠVÁB, Jan. Dezinfekce a sterilizace v souvislosti s invazivními vyšetřovacími zákroky a chirurgickými a invazivními výkony. *Interní medicína pro praxi* [online]. (12): 586 - 590 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2003/12/03.pdf>
- [3] MELICHERČÍKOVÁ, Věra. *Ochranná dezinfekce*. Vyd. 1. Praha: Sdružení pracovníků dezinfekce, dezinsekce a deratizace České republiky, 2003, 118 s. ISBN 80-020-1559-2.
- [4] DURDIL, Petr. *Jištění kvality technologických procesů: Sterilní výroba a sterilizační procesy* [online]. VŠCHT Praha, 2011 [cit. 2015-11-16]. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/blog/studium/bakalarske/jisteni-kvality-technologickych-procesu>
- [5] *Aplikovaná termomechanika - Přednáška 3 Termodynamika par, Diagramy vodní páry, základní vratné děje v parách* [online]. Praha [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-03.pdf>
- [6] *Encyklopedie fyziky: Sytá pára* [online]. 2006, 2015 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/654-syta-para#>
- [7] KRATOCHVÍL J. Termomechanika. *Střední průmyslová škola strojírenská, Kolín*. [online]. 11.11.2015 [cit. 2015-11-11]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/podklady/MEC_kratochvil/TERMOMECHANIKA_INTERNET_DOC/11_Zakladni_pojmy_z_termodynamiky_par.pdf
- [8] ČSN EN 285 +A2: *Sterilizace - Parní sterilizátory - Velké sterilizátory*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [9] CIBILKA, Ivan, Lubomír HNĚDKOVSKÝ a Vladimír HYNEK. *Základní fyzikálně-chemické veličiny a jejich měření* [online]. Praha, 2006 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/fch/cz/pomucky/FCHV_all_7.pdf
- [10] KADLEC, Karel. Snímače tlaku - principy, vlastnosti a použití (část 1). *Automa* [online]. 2007, 2015, (2): 28 - 31 [cit. 2015-11-17]. Dostupné z: <http://automa.cz/download/au020728.pdf>
- [11] KADLEC, Karel. Snímače tlaku - princip, vlastnosti a použití (část 2). *Automa* [online]. 2007, 2015, (7): 25 - 29 [cit. 2015-11-30]. Dostupné z: <http://automa.cz/download/au070725.pdf>
- [12] Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. *HW.cz* [online]. Praha: HW server s.r.o., 2004, 2014 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [13] KOHOUT, Luděk. *Snímače teploty* [online]. : 42 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>
- [14] Senzory tlaku. *Státnice ČVUT-FEL 2006 Bc* [online]. 2006 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: http://www.bakal06.chytrak.cz/2006_K42.pdf
- [15] Vlhkost vzduchu a její měření. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2006, 2015 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [16] Vlhkoměry. *HW.cz* [online]. Praha: HW server s. r. o., 2004, 2014 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>

- [17] KADLEC, Karel. Snímače průtoku - principy, vlastnosti a použití (část 1). *Automa* [online]. 2006, 2015, (10): 5 - 9 [cit. 2015-11-29]. Dostupné z: <http://automa.cz/download/au100605.pdf>
- [18] ORLÍKOVÁ, Soňa. Měření průtoku tekutin - princip průtokoměrů. *Elektrorevue* [online]. 2001, 2013, (49) [cit. 2015-11-29]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/01049/index.html#_Měření_rychlosti_proudění

PŘÍLOHA

Schéma zapojení čisté páry



Obr. 1.: Výřez schématu zapojení čisté páry

Celé technické schéma je přiloženo jako příloha.