



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

ANALÝZA TECHNOLOGIE PRO KONTROLU TĚSNOSTI VYRÁBĚNÝCH VÝMĚNÍKŮ TEPLA SE ZAMĚŘENÍM NA ZVÝŠENÍ JEJÍ SPOLEHLIVOSTI

ANALYSIS OF TECHNOLOGY FOR CHECKING THE TIGHTNESS OF MANUFACTURED HEAT EXCHANGERS WITH A
FOCUS ON INCREASING ITS RELIABILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Grúz

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Bc. Jan Grúz
Studijní program:	Procesní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza technologie pro kontrolu těsnosti vyráběných výměníků tepla se zaměřením na zvýšení její spolehlivosti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na analýzu konkrétní provozované průmyslové technologie pro kontrolu těsnosti vyráběných výměníků tepla se zaměřením na zvýšení její spolehlivosti. Záměrem je důkladně zmapovat a popsat jednotlivé části systému provozované průmyslové technologie, analyzovat funkčnost a chování jejích jednotlivých částí, resp. subsystémů, identifikovat reálné možnosti a oblasti modernizace technologie, navrhnout konkrétní úpravy pro zlepšení provozované technologie zaměřené na zvýšení její spolehlivosti a provést odhad potřebných investic na doporučené modernizační úpravy.

Cíle diplomové práce:

1. Seznámit se s technologiemi používanými pro kontrolu těsnosti vyráběných výměníků tepla a s nimi souvisejícími systémy.
2. Na základě poskytnutých provozních a technologických dat a souvisejících informací zmapovat a popsat jednotlivé části systému provozované průmyslové technologie a analyzovat funkčnost a chování jejích jednotlivých částí, resp. subsystémů.
3. Identifikovat reálné možnosti a oblasti modernizace technologie, navrhnout konkrétní úpravy pro zlepšení provozované technologie zaměřené na zvýšení její spolehlivosti a provést odhad potřebných investic na doporučené modernizační úpravy.
4. Provést souhrnné zhodnocení dosažených výsledků a poznatků z provedených aktivit.

Seznam doporučené literatury:

MEDEK J., Hydraulické pochody. 4. vydání, Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., 2004, 339 s. ISBN 80-214-2640-3.

ZEJDA V., MÁŠA V., VÁCLAVKOVÁ Š., SKRYJA P., A Novel Check-List Strategy to Evaluate the Potential of Operational Improvements in Wastewater Treatment Plants. *Energies* [online]. 2020, 13(19), 5005. (<https://doi.org/10.3390/en13195005>)

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou technologie kontroly těsnosti tepelných výměníků ve vybrané průmyslové společnosti, na jejímž základě jsou následně identifikovány, vyselektovány a vytvořeny konkrétní zlepšovací návrhy s potenciálem na zvýšení spolehlivosti této provozované technologie. Tato analýza je realizována prostřednictvím konzultací a schůzek se zaměstnanci dané společnosti a také s pomocí poskytnutých dat a informací. Na základě této analýzy, řešerše odborného pozadí technologie a metodologie DMAIC jsou navrženy konkrétní úpravy s potenciálem na zlepšení provozované technologie a je odhadnuta výše investice k jejich realizaci.

Klíčová slova

Analýza průmyslového procesu, nedestruktivní zkoušení, zkoušení těsnosti, tepelný výměník, bublinková metoda, metodologie DMAIC

ABSTRACT

This master thesis deals with the analysis of the leakage checking technology of heat exchangers in a selected industrial company. According to this analysis the specific improvement proposals with the potential to increase the reliability of this technology are identified, selected and created. This analysis is carried out through consultations and meetings with the employees of the company and also with the help of the provided data and information. On the basis of this analysis, the technical background research of the leak testing technology and the DMAIC methodology, specific modifications with the potential to improve the operated technology are proposed and the amount of investment to implement them is estimated.

Key words

Industrial process analysis, non-destructive testing, leak testing, heat exchanger, bubble emission technique, DMAIC methodology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GRÚZ, Jan. Analýza technologie pro kontrolu těsnosti vyráběných výměníků tepla se zaměřením na zvýšení její spolehlivosti. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140750>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Zdeněk Jegla.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma *Analýza technologie pro kontrolu těsnosti vyráběných výměníků tepla se zaměřením na zvýšení její spolehlivosti* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

<https://www.vut.cz/lide/zdenek-jegla-2323>

Těmito slovy bych chtěl poděkovat doc. Ing. Zdeňku Jeglovi, Ph.D. za ochotu, rady a připomínky, které mi poskytl při tvorbě této závěrečné práce. Chtěl bych také poděkovat pánům Milfortovi, Vackovi a Formáčkovi z firmy 4 COILS TECH s.r.o. za jejich čas a ochotu při konzultacích diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své manželce a rodině za trpělivost a podporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD	8
1 Kontrola kvality tepelných výměníků	10
1.1 Tepelný výměník	10
1.2 Závazné předpisy pro kvalitu tepelných výměníků	11
1.2.1 PED 2014/68/EU	11
1.2.2 Technické normy pro tepelné výměníky	12
1.2.3 Management kvality ISO 9001	12
1.3 Nezávazné strategie a filozofie řízení kvality	12
1.3.1 Strategie řízení kvality Six Sigma	12
1.3.2 Strategie neustálého zlepšování Kaizen	13
2 Těsnost a její kontrola	14
2.1 Význam kontroly a monitorování těsnosti	14
2.2 Vymezení pojmu těsnost a jejího měření	14
2.3 Metody kontroly těsnosti	15
2.3.1 Metody audiovizuální a čichové inspekce	17
2.3.2 Bublínková ponořovací metoda	18
2.3.3 Metoda detekce stopového plynu	18
2.3.4 Metody měření změny tlaku	21
2.3.5 Metoda měření akustické emise	22
2.3.6 Ultrazvukové metody	23
2.3.7 Hydrostatická zkouška netopených tlakových nádob	25
2.3.8 Pneumatická zkouška netopených tlakových nádob	25
3 Filtrace průmyslové technologické vody	26
3.1 Průmyslová technologická voda	26
3.2 Filtrace	26
3.2.1 Filtrace zrnitým materiálem	27
3.3 Membránové procesy	27
4 Měření zákalu kapalin	29
5 Proces testování těsnosti výměníků tepla ve vybrané firmě	30
5.1 Zařazení procesu testování těsnosti v rámci celého výrobního procesu	30
5.2 Schéma a základní popis procesu zkoušení těsnosti	32
5.2.1 Zkušební vany	34
5.2.2 Sušící pec	37
5.2.3 Písková filtrace u testovacích nádrží	38
5.2.4 Nádrže na znečištěnou/vyčištěnou vodu	38
5.2.5 Čerpadla	39
5.2.6 Ultrafiltrační membránové zařízení	40
5.2.7 Průmyslová čistička odpadních vod	41
6 Analýza možností modernizace a vylepšení stávající technologie	43
6.1 Popis řešené situace a jejích okolností	43
6.1.1 Fáze Definovat	45

6.1.2	Fáze Měřit	47
6.1.3	Fáze Analyzovat	47
6.1.4	Fáze Zlepšit	48
6.1.5	Fáze Řídit	48
6.2	Návrhy na zlepšení stávající technologie.....	48
6.2.1	Zavedení předkontrolní integrální metody kontroly těsnosti	49
6.2.2	Ultrazvuková nadstavba k bublinkové metodě	51
6.2.3	Monitorování zákalu vody ve zkušebních vanách	52
6.2.4	Zavedení operace předčištění/odmaštění tepelných výměníků	53
6.2.5	Průběžné odstraňování olejových skvrn z vodní hladiny	54
6.2.6	Zvýšení objemu detekční kapaliny v okruhu	56
6.2.7	Zvýšení počtu regenerací filtračního zařízení	57
6.2.8	Doplňkové potenciální oblasti zlepšení vycházející z normy ČSN EN 1593 58	
7	Kritické zhodnocení stávající technologie a možnosti jejího nahrazení.....	59
7.1	Výhody a nevýhody bublinkové metody	59
8	Diskuse poznatků ke zvyšování spolehlivosti provozované technologie	61
9	ZÁVĚR.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK	69

ÚVOD

Analyzování již existujících technologií či procesů je poměrně častým jevem v průmyslové praxi. To, co bylo již navrženo a je nějakou dobu v provozu, nemusí vždy odpovídat původním teoriím, myšlenkám či návrhům, a může to jednoduše selhávat při konfrontaci s reálnou průmyslovou praxí. Nejen z tohoto důvodu dochází ke zpětnému analyzování již vymyšlených technologií a k hledání možností vyladění či zlepšení nedostatků, které ukázal až čas, ale také z dalších důvodů, jakými může být například příchod nových metod, poznatků a technologií, které by mohli již existující proces či technické dílo zefektivnit či nějak jinak vylepšit. Průmyslové společnosti se mohou také neustále vyvíjet a rozšiřovat, a proto může dojít k situaci, kdy se jejich výrobní technologie a další procesy stanou poddimenzovanými a již nejsou schopny naplňovat požadované nároky, které jsou na ně kladeny.

V rámci této diplomové práce je tedy vykonávána činnost, na kterou lze v běžné průmyslové praxi narazit poměrně často. Tato práce si však nedává za úkol zrealizovat některý ze zlepšovacích návrhů a poté dokumentovat jeho užitečnost a další vývoj, ale její hlavní smysl tkví v kompletaci návrhů na zlepšení vybrané technologie, které by mohly dávat určitý myšlenkový směr, jakým by se mohla ubírat budoucí zlepšení, a také má poukázat na to, v jakých částech analyzované technologie se skrývá potenciál ke zvýšení její spolehlivosti. K tomu, aby bylo možné přejít k tvorbě a realizaci takovýchto návrhů, je zapotřebí dané technologii porozumět, znát její odborné pozadí a zkušenosti lidí, které s ní přijdou denně do styku a znají její silné a slabé stránky. Z tohoto důvodu je nutné nejdříve vypracovat teoretickou část, zabývající se technickými možnostmi analyzované technologie a jejím odborným pozadím. Díky porozumění teoretickým aspektům a získání širšího povědomí o této technologii je poté možné vést diskuse se zaměstnanci firmy na odbornější rovině a snáze tak hledat podněty a myšlenky k potenciálním zlepšovacím návrhům.

Motivací pro vypracovávání diplomové práce v rámci průmyslové společnosti byla představa získání zkušeností s vedením zlepšovacího projektu v rámci reálného provozu a také získání obecných poznatků o chodu výrobního závodu, na které je možné jako student většinou narazit pouze tímto způsobem nebo pomocí práce na poloviční pracovní úvazek. Další výhodou takovéto formy diplomové práce je možnost diskutovat s lidmi z praxe a dozvědět se o tom, jak některé věci fungují, na jaké překážky člověk může ve své pracovní kariéře narazit a jakým výzvám musí mnohdy čelit.

Společnost *4 COILS TECH s.r.o.*, ve které je vypracovávána tato diplomová práce zaměřená na technologii kontroly těsnosti tepelných výměníků, je středně velkou výrobní společností sídlící v pražském Radotíně. Její výroba je zaměřená na produkci na míru navržených konvekčních tepelných výměníků pro oblasti topení, ventilace, klimatizace a chlazení. K těmto tepelným výměníkům patří i jejich zvláštní typy, jakými jsou například výparníky či kondenzátory. Hlavní součásti výměníků jsou vyrobeny většinou z měděných trubek a povlakovaných lamel z hliníku či mědi. Kontrola těsnosti spadá obecně do oblasti kontroly kvality již vyrobených produktů, a proto je první kapitola zaměřena nejen na vyráběné tepelné výměníky, ale také na oblast kontroly jejich kvality. Dále následuje kapitola druhá, obsahující stěžejní téma této diplomové práce, kterou tvoří rešerše zaměřená na dostupné metody kontroly těsnosti. Jelikož v analyzované technologii hraje nezanedbatelnou roli i průmyslová technologická voda, její úprava a vlastnosti, byly zařazeny do této diplomové práce i kapitoly 3 a 4.

Kapitoly 5 až 8 by měli svým obsahem naplňovat hlavní cíle této práce. Jedním z cílů je také analýza stávajícího stavu technologie, a proto zde figuruje i kapitola 5, která má za úkol tuto technologii blíže popsat a přiblížit její místo a funkci v rámci celého výrobního procesu

tepelných výměníků. Hlavním výstupem z této práce je ale zejména kapitola 6, ve které jsou prezentovány finální návrhy s potenciálem na zlepšení spolehlivosti analyzované technologie, a také kapitoly 7 a 8, které obsahují závěrečně posouzení a vyhodnocení výstupů této diplomové práce.

1 Kontrola kvality tepelných výměníků

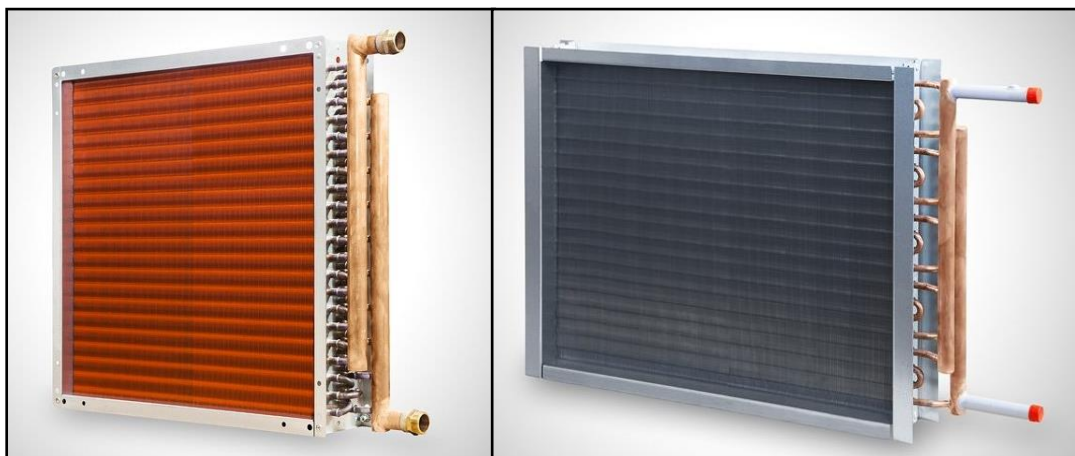
Kontrolování kvality se řadí obecně ke stěžejním procesům jakékoliv průmyslové výroby. Dobré povědomí o kvalitě produkovaných výrobků je velice klíčové pro celkovou prosperitu dané firmy a rozhoduje o jejím úspěchu a konkurenceschopnosti. Kvalitně vyrobený produkt přinese zákazníkovi spokojenost, užitek a v mnohých případech i zisk. Takový produkt nevede ke vzniku nebezpečí či ekonomické ztráty, vycházející z jeho nedostatečné kvality. Poruchy, které mohou vzniknout v důsledku existence závady na produktu, která nebyla odhalena při kontrole kvality, mohou vést i k rozměrným ekonomickým a environmentálním ztrátám nebo ztrátám na lidských životech. V dnešním západním světě se někdy dává přednost kvantitě před kvalitou a konečná cena produktu hraje velmi zásadní roli. Pokud je tedy vyvíjen tlak na to, cenu snížit, odrazí se to na celkové kvalitě produktu, která souvisí například s použitými materiály, zpracováním a využitou výrobní technologií.

Obecně se způsoby a metodiky kontroly kvality v průmyslové výrobě vyvíjeli společně s přísnějšími a přísnějšími nároky na výslednou kvalitu produktů, které se odvíjeli od postupného příchodu nových a komplexnějších technologií. Tato skutečnost šla samozřejmě ruku v ruce i s většími nároky na bezpečnost a spolehlivost. Postupně tedy vznikala potřeba kvantifikovat, zařadit a kontrolovat výslednou kvalitu produktů, což vedlo například k tvorbě technických norem, směrnic a různých dalších postupů, filozofií a metodik kontroly k zajištění kvality, které jsou v dnešní době k dispozici i v oblasti tlakových nádob a zařízení, mezi které patří právě i tepelné výměníky.

1.1 Tepelný výměník

Tepelný výměník je speciální technické dílo, jehož hlavním úkolem je, jak napovídá jeho název, cílená výměna tepla, která vede k dosažení člověkem stanovených cílů. Mezi jeho hlavní výstupy patří, mimo jiné, například realizace ohřátí či zchlazení jednoho média druhým médiem na požadovanou teplotu. Tepelné výměníky jsou zároveň i tlakovými nádobami, a proto pro ně platí i zákonitosti a postupy, které se využívají obecně i pro výrobu, návrh a testování jakýchkoliv jiných tlakových nádob, neboť jejich jednotlivé části jako pláště, trubky, hrdla nebo dna jsou obecně nepostradatelnou součástí všech tlakových nádob [1].

Druhů a tvarů výměníků tepla existuje nepřehledné množství a výběr vhodného typu s požadovanými vlastnostmi záleží na tom, jaký je cíl a okolnosti jeho použití. Nicméně tato diplomová práce je zaměřena hlavně na výměníky tepla vyráběné ve zmíněné výrobní společnosti *4 COILS TECH s.r.o.* (dále jen předmětná výrobní společnost), které jsou zaměřeny na výměnu tepla mezi kapalinou a plynem – konkrétně to bývá povětšinou kombinace voda-vzduch. Tyto výměníky tepla se využívají v provedeních pro různé aplikace, ale jejich tvarové řešení a také princip použití je zachován, jak lze vidět na následujícím Obr. 1 a Obr. 2.



Obr. 1 Výměníky tepla v provedení 1 od předmětné výrobní společnosti [2]



Obr. 2 Výměníky tepla v provedení 2 od předmětné výrobní společnosti [2]

1.2 Závazné předpisy pro kvalitu tepelných výměníků

Na kvalitu a bezpečnost je v dnešní době dohlíženo samozřejmě také legislativně. Pro stanovení závazných podmínek a nároků, které musí, nejen tepelný výměník, ale i další tlaková zařízení, splňovat, byly většinou států zavedeny závazné směrnice, které popisují podmínky pro uvedení daného zařízení na trh. Jedná se například o německou směrnici AD 2000 Merkblätter, ruskou směrnici GOST R nebo americkou směrnici ASME BPV Code (*ASME Boiler & Pressure Vessel Code*). Za výjimku by se dala považovat směrnice PED 2014/68/EU (*Pressure equipment directive*), což je směrnice kladoucí nároky na tlaková zařízení uvedená na trh v rámci celého evropského hospodářského prostoru Evropské unie [3][4].

1.2.1 PED 2014/68/EU

Tato směrnice byla vytvořena pod záštitou evropského parlamentu a rady a stanovuje nároky na návrh a výrobu tlakových zařízení, které jsou uváděny na trh v evropském

hospodářském prostoru. V této směrnici jsou zmíněny také požadavky na bezpečnost, které je možné zajistit pouze důslednou kontrolou kvality a dodržením správných návrhových a výrobních postupů. Tato směrnice se vztahuje na tlaková zařízení, jejichž nejvyšší pracovní tlak je vyšší než 0,5 baru. Je nutné podotknout, že směrnice je na rozdíl od technických norem volně dostupná, ale přesně nespecifikuje způsoby, jakými je možné v ní uvedené nároky splnit. Tyto způsoby lze nalézt v placených technických normách zabývajících se tlakovými zařízeními a jejich částmi [5].

1.2.2 Technické normy pro tepelné výměníky

Jelikož je tedy nutné na území Evropské unie dodržet nároky kladené směrnicí PED 2014/68/EU, je potřeba k tomu využít technických norem. Dvě základní normy, které se vztahují k návrhu a výrobě výměníků tepla, jsou ČSN EN 764 a ČSN EN 13445. První norma se zabývá obecně tlakovými zařízeními a druhá výše uvedená norma se zabývá netopenými tlakovými nádobami, pod které spadají právě i tepelné výměníky. U některých typů tepelných výměníků může být nutné využití i dalších technických norem pro splnění podmínek výše uvedené směrnice, například norem týkajících se přířubových či svarových spojů. Využití jakýchkoliv dalších norem závisí na daném typu tepelného výměníku a jeho vlastnostech a součástech [4].

Důležitými normami jsou zde obecně také normy týkající se destruktivních a nedestruktivních testovacích metod, které mají za úkol odhalit různé nedostatky v materiálu výměníku a například také v místech pájených či svařovaných spojů, které mají zásadní vliv na kvalitu a budoucí funkčnost a bezpečnost daného zařízení. Do nedestruktivních testovacích metod se řadí také metody kontroly těsnosti, které jsou stěžejním tématem této diplomové práce. Těmto metodám se podrobněji věnuje kapitola 2.3.

1.2.3 Management kvality ISO 9001

Evropská norma EN ISO 9001:2015 zabývající se řízením a zlepšováním kvality se nevztahuje přímo na výrobu a kontrolu kvality tepelných výměníků, ale obecně na veškeré řízení a kontrolu kvality výroby libovolných produktů a provozu libovolných služeb. Firmy nejsou nikterak vázány tuto normu splňovat, ale pokud tak činí, mohou získat výhodnější postavení mezi konkurencí, pokud získají potřebné certifikáty potvrzující plnění této normy. Norma tedy není závazná, ale ve své podstatě vlastně je, neboť většina evropských firem a spotřebitelů ji přikládá velkou váhu. Firmám se tedy z mnoha důvodů vyplatí nároky této normy splňovat a využívat jejich metodik [6].

1.3 Nezávazné strategie a filozofie řízení kvality

Kromě technických norem existuje nespočet metod týkajících se kontroly a zvýšení kvality, které vycházejí z ověřených nápadů a postupů z běžné provozní praxe a vyvinuly se postupně v plnohodnotné strategie a filozofie řízení procesů a kvality. Na tyto metodiky lze narazit nejen ve velkých korporátních společnostech, ale i v menších či středních firmách, neboť principy těchto metodik jsou do jisté míry aplikovatelné i na těchto úrovních. Příkladem mohou být například metody Six Sigma či Kaizen [7][8].

1.3.1 Strategie řízení kvality Six Sigma

Six Sigma v sobě zahrnuje ucelenou filozofii řízení vnitřních procesů firmy vedoucí k maximalizaci kvality a efektivity. Hlavním cílem této metodiky je analýza procesů,

probíhajících ve výrobní či obchodní společnosti, a následné odstranění či minimalizace vad, chyb a různých dalších nekvalit, které proces obsahuje a zatím nebyly odhaleny. Některé principy této metody jsou využity v praktické části v kapitole 6 [7].

1.3.2 Strategie neustálého zlepšování Kaizen

Tato filozofie řízení procesů byla vytvořena speciálně pro výrobní procesy ve strojírenství a její stěžejní myšlenkou je to, že by se výrobní společnosti neměli v první řadě zaměřit na zisk, ale na kvalitu jejich produktů s vidinou toho, že při produkci kvalitních produktů je vedlejším efektem příchod zisku a prosperity. Cestou ke kvalitním produktům je, dle této filozofie, kontinuální zlepšování procesů. Klíčovým prvkem této filozofie je také metoda „5 S“, která obsahuje 5 poměrně jednoduchých rad vedoucích k její úspěšné implementaci. Rady se vztahují k dodržování jistých zásad na jednotlivých pracovištích v rámci nějaké výrobní společnosti a do češtiny je lze volně přeložit pomocí rozkazů utříd', uspořádej, udržuj pořádek, urči pravidla, upevňuj a zlepšuj [8].

2 Těsnost a její kontrola

Kontrola těsnosti úzce souvisí s inspekcí kvality materiálu a s hledáním vad v něm obsažených. Pro tuto inspekci slouží takzvané destruktivní a nedestruktivní testovací metody. Kontrola těsnosti a detekce úniků je uskutečňována pomocí principů nedestruktivních testovacích metod. Destruktivní testovací metody nejsou vzhledem k jejich povaze a principu příliš vhodné pro využití ke kontrolám těsnosti a v praxi se téměř pro tyto účely nevyužívají [1][9][10].

Seznam metod a detailnější popis některých z nich je obsažen v kapitole 2.3.

2.1 Význam kontroly a monitorování těsnosti

Těsnost může být u mnohých zařízení a technických děl velmi důležitou a pečlivě monitorovanou veličinou/vlastností. Její kontrola a monitorování má v mnohých případech velmi zásadní vliv na predikci spolehlivé a správné funkčnosti konkrétního technického díla. Výskyt netěsnosti tedy může vést v lepším případě „pouze“ k postupné či skokové úplné ztrátě funkčnosti technického díla. V horším případě může, v důsledku existence netěsnosti, dojít k velkým škodám na majetku, životním prostředí či lidských životech – příkladem mohou být například úniky toxických, hořlavých či výbušných látek během provozu nějakého zařízení, které mohou vygradovat za určitých okolností až do katastrofických rozměrů. Na základě závažnosti důsledků, které by nastaly, pokud by došlo u technického díla k většímu úniku média, než je přípustné, je tedy vhodné kontrolovat těsnost kritických částí buď v pravidelných intervalech, namátkou, nepřetržitě či alespoň před uvedením do provozu [11].

Kontrola a monitorování těsnosti nabývá na významu také z hlediska ekologického a energeticky úsporného provozu technických děl a zařízení. Netěsnosti mohou být významným zdrojem tlakových a tepelných ztrát, které přispívají k celkovému snížení účinnosti, a tudíž i k neekologickému a neekonomickému provozu. Jako příklad lze uvést výkon čerpadla v určitém potrubním systému, u kterého musí být jeho výkon zvýšen právě kvůli existenci významné netěsnosti v potrubí. K tomuto kroku se musí přistoupit, aby bylo čerpadlo schopno dopravovat médium za stejných požadovaných podmínek jako v případě, že se na potrubí nikde nenachází významnější netěsnost.

2.2 Vymezení pojmu těsnost a jejího měření

Definice těsnosti bývají odlišné na základě toho, ve kterém oboru je problematika těsnosti probírána, ať už se jedná o těsnost přírubových spojů, svarů či materiálů. Dokonale těsný objekt neobsahuje žádnou netěsnost. Tento objekt je modelem uzavřené termodynamické soustavy, u které nedochází k výměně částic s okolím [12]. Cesta k dosažení tohoto stavu může být v praxi mnohdy složitá a ekonomicky nákladná, a proto by bylo nejdříve vhodné provést úvahu či výpočty o tom, jaké nároky jsou vlastně na těsnost kladeny. Tyto kroky mohou vést ke stanovení maximálního přípustného úniku média netěsnostmi za určité časové období a ke zvolení vhodné dostačující metody kontroly těsnosti. Obecně je totiž možné uvažovat, že čím vyšší nároky jsou kladeny na těsnost technického díla, tím vyšší jsou náklady spojené například s kvalitou materiálu, povrchových úprav, varů a ostatních spojů. Technická norma definuje stroze těsnost takto:

„Těsnost se běžně popisuje jako velikost proudu tekutiny do nebo ze zkoušeného objektu.“
[13]

Pokud dokonale utěsněný objekt neobsahuje žádné netěsnosti, tak pro ucelenou definici těsnosti je nutné specifikovat, co jsou to vlastně netěsnosti. Netěsnostmi se prakticky rozumí všechny vady v materiálu či na technickém dílu, které umožňují nežádoucí únik média z místa o vyšším tlaku nebo o vyšší koncentraci do místa s menším tlakem či koncentrací. K tomu, aby tento nežádoucí jev nastal, je tedy zapotřebí často nenulová tlaková diference, která umožní proudění média. Výjimkou může být ale například průsak kapaliny ze systému vlivem gravitačních sil. Může dojít ale také k situaci, kdy médium proudí z okolí s atmosférickým tlakem dovnitř systému, ve kterém se nachází nižší tlak, nižší koncentrace či vakuum [9].

Norma definuje více druhů netěsností, jakými jsou například netěsnosti kapilární, vodivostní, otvorové, molekulární či permeační [14]. Nejobecněji je v normách definována netěsnost vztažená na únik plynu z objektu, jejíž znění je následovné:

„Netěsnost je otvor, porozita, prvek umožňující permeaci nebo jiná struktura ve stěně objektu, která umožňuje plynu procházet z jedné strany stěny do druhé z důvodu tlaku nebo rozdílu koncentrace.“ [14]

Co se týče kvantitativního popisu těsnosti, je vyjadřována pomocí velikosti průtoku média netěsností na dané testované součásti. Lze ji vyjádřit ale také i alternativními způsoby, ale ve většině případů v ní figuruje hlavně tlaková diference, objem testované součásti a čas. Pro vyjádření rychlosti úniku média ze zařízení naplněného kapalinou, je možné změřit objem, který vytekl do nějaké nádoby z místa netěsnosti za určitý čas – únik kapaliny je tedy vyjádřen pomocí průtoku, např. tedy v litrech za určitý čas. U plynů není možné vyjádřit těsnost stejným způsobem, neboť jsou stlačitelné. Pokud se vezme tato vlastnost v potaz, výsledná jednotka úniku média netěsností je vyjádřena pomocí tlakové diference, objemu testované součásti a času. Tuto situaci dobře vyobrazuje rov. 1 z kapitoly 2.3.4 [15].

Nejčastěji používanými jednotkami, ve kterých je měřena rychlost úniku plynů, jsou:

- $mbar \cdot l/s$,
- $Pa \cdot m^3/s$,
- $atm \cdot cc/s$,
- $torr \cdot l/s$ [9][15].

Výjimkou je ale například těsnost přírubových spojů, která bývá měřena ve speciální jednotce $mg/s \cdot m$ [16].

2.3 Metody kontroly těsnosti

Metod pro kontrolu těsnosti je celá řada a liší se převážně složitostí, cenou, příslušenstvím a nutnou odbornou způsobilostí vykonavatele daných metod. Níže je uvedeno 16 metod, na které je možné často narazit v literatuře. V následujících podkapitolách je ale pak blíže pojednáno jen o metodách, které jsou v průmyslové praxi v dnešní době více využívány a zároveň by mohly být vhodné i pro využití v praktické části této diplomové práce k implementaci v předmětné výrobní společnosti. Nutno dodat, že někdy lze nalézt v literatuře a nabídce firem pro jednu metodu více označení, což může být někdy matoucí, ale většina metod je lehce dohledatelná díky klíčovým pojmům vztahujícím se k jejich charakteristickému principu.

Nyní následuje již zmiňovaný souhrn vybraných metod kontroly těsnosti.

1) Prosté metody kontroly těsnosti:

- a) smyslová kontrola (audiovizuální nebo čichová kontrola – poslech charakteristického syčení v místě unikajícího média, pozorování kapek či průsaku, některé plyny bývají uměle aromatizovány a jejich únik je tedy možné vycítit),
- b) kontrola úniku pomocí savého materiálu (pouze pro únik kapalin – postupným přikládáním savého materiálu dochází k detekci netěsnosti tam, kde je savý materiál zvlhčen kapalinou),
- c) detektor úniků ve spreji (*leakage spray*) – využití detektoru úniků ve spreji, který se projeví vytvářením pěnových bublin v místě netěsnosti (pouze pro detekci úniku plynů – lze uskutečnit i pomocí emulze vody s vhodným tenzidem, jakým je například mýdlová voda).

2) Bublínková metoda:

- a) metoda ponořovací,
 - přímé natlakování,
 - použití detekční kapaliny při zvýšené teplotě,
 - použití vakua,
- b) metoda nanesením kapaliny,
 - přímé natlakování,
 - vakuum [17].

3) Metoda detekce stopového plynu:

- a) proudění stopového plynu do objektu,
 - vakuová integrální technika,
 - vakuová technika dílčí integrální,
 - vakuová technika lokalizační,
- b) proudění stopového plynu z objektu,
 - chemická detekce amoniakem,
 - vakuová komůrka se stopovým plynem uvnitř,
 - vakuová komůrka s aplikací stopového plynu na opačné straně,
 - akumulární technika,
 - čichací technika,
 - „bombing“ technika,
 - technika vakuové komory,
 - technika nosného plynu [18].

4) Metody založené na měření změny tlaku:

- a) metoda měření poklesu tlaku,
- b) metoda měření zvýšení tlaku,
- c) metoda měření změny tlaku v testovací komoře,
- d) metoda měření průtoku,
- e) metoda tlakové pistole,
- f) metoda referenční nádoby,
- g) metoda vakuové komory [19].

5) Metoda akustické emise:

- využití zvukových vlastností turbulentního proudění v místě netěsnosti [20].

6) Hydrostatická zkouška:

- zkouška dle normy ČSN EN 13445, kterou mohou být odhaleny netěsnosti [21].

7) Pneumatická zkouška:

- zkouška dle normy ČSN EN 13445, kterou mohou být odhaleny netěsnosti [21].

8) Kombinace hydrostatické a pneumatické zkoušky:

- zkouška dle normy ČSN EN 13445, kterou mohou být odhaleny netěsnosti [21].

9) Ultrazvukové testovací metody:

- a) aktivní ultrazvuková metoda,
- b) pasivní ultrazvuková metoda,
- c) vibro – akustická metoda [22].

10) Průsaková zkouška:

- kontrola těsnosti u deskových výměníků tepla [23].

11) Zkouška vakuovou komůrkou:

- kontrola těsnosti u deskových výměníků tepla [23].

12) Jiskrová zkouška:

- využití ve stavebnictví ke kontrole těsnosti plochých střech [24].

13) Kombinované využití vícero metod zvlášť, po sobě či najednou:

- v technické praxi většinou dochází k situacím, kdy je nutné využít více metod kontroly těsnosti najednou, ať už kvůli zvýšení pravděpodobnosti nalezení netěsnosti či kvůli tomu, že některé metody jsou schopny stanovit existenci netěsnosti, ale není v jejich možnostech netěsnost přesněji lokalizovat.

2.3.1 Metody audiovizuální a čichové inspekce

Tyto metody představují naprosto základní druh kontroly těsnosti prováděný před jakýmkoliv dalším testováním. Jsou založené pouze na využití zrakové, čichové či sluchové inspekce. V důsledku toho, že výsledek kontroly závisí na citlivosti zraku či sluchu daného testovacího technika, musí být takový technik pravidelně školen dle norem a vyšetřován, zdali je stále způsobilý tyto metody vykonávat.

Metody tohoto typu jsou poměrně intuitivní, levné a méně přesné, ale jejich přesnost je možné vylepšit využitím různých inspekčních a měřicích nástrojů jakými jsou například různé druhy zvětšovací lup, zrcadel či inspekčních kamer. Jak již bylo zmíněno v souhrnu metod, někdy je využíváno faktu, že se některé plyny uměle aromatizují, a tudíž je možné je vycítit a zjistit tak, že někde dochází k jejich úniku [1].

2.3.2 Bublinková ponořovací metoda

Princip metody [1][9][17]

Bublinková metoda (*Bubble leak test method/Bubble emission technique*) je velmi jednoduchá, levná a poměrně stará metoda detekce netěsností a je založena na detekci unikajících bublin plynu z natlakovaného vzorku ponořeného do kapaliny. Velikost bublin a jejich množství je závislé především na povrchovém napětí detekční kapaliny, druhu proudění plynu v místě netěsnosti a na samotné velikosti netěsnosti, z které plyn uniká.

K jejímu provedení je potřeba, aby testovaný objekt/systém disponoval alespoň jedním vstupem pro připojení přívodu plynu. Dále musí být možné zaslepení všech ostatních vstupních a výtokových otvorů. Důležitou roli při této metodě hraje také nádoba či nádrž s kapalinou, do které musí být možné ponořit vzorek, a to alespoň 25 mm pod hladinu.

Doba, po kterou musí být testovaný vzorek ponořen pod hladinu, aby se hladina zklidnila a začaly se objevovat bublinky, se nazývá stabilizační. Obecně platí, že čím menší netěsnost, tím delší stabilizační čas je potřeba k prvnímu emitování bublinek. Testovaný vzorek je tedy někdy nutno ponořit i na několik minut.

Kvůli ceně a jednoduchosti testu se volí obvykle kombinace testovacích médií voda/vzduch. Obecný zjednodušený průběh testu je popsán v následujících bodech:

- 1) Zaslepení/ucpání nepotřebných vstupních a výtokových otvorů na vzorku,
- 2) využití jednoho ze vstupních otvorů jako přívodu vzduchu – natlakování součásti,
- 3) ponoření vzorku pod vodní hladinu v testovací nádobě/nádrži,
- 4) vizuální kontrola výskytu bublin vzduchu unikajících ze vzorku, který signalizuje existenci netěsností.

Princip testu je tedy velmi jednoduchý a při jednorázovém použití se obejde bez větších komplikací. Jiná situace ale nastává u sériového použití bublinkové metody v rámci výrobní linky, při kterém je potřeba řešit mnoho dílčích problémů, které mohou celkový proces testování těsnosti pomocí této metody značně zkomplikovat a prodražit.

Použití této metody v sériové výrobě je blíže popsáno později, v kapitole 7.1, a to z toho důvodu, že její využití je v rámci této diplomové práce stěžejní. V kapitole 7.1 budou také uvedeny výhody a nevýhody této metody obecně i v rámci předmětné výrobní společnosti.

2.3.3 Metoda detekce stopového plynu

Principy použití [9][18][25][26]

Tato metoda (*Tracer gas leak test method*) využívá pro testování těsnosti součástí specifické fyzikální a chemické vlastnosti některých plynů. Pro tuto metodu je možno využít více druhů plynů, ale v technické praxi je využíváno především hélia či vodíku, kvůli jejich velice příznivým fyzikálním vlastnostem, které nabízí přesné, bezpečné a relativně levné

provedení testu. Molekuly těchto plynů jsou velmi malé a stejně tak i jejich hmotnost, a proto jsou schopny projít i velmi malými netěsnostmi na testovaných vzorcích. Mezi jejich další důležité vlastnosti patří také jejich dostupnost, netoxičita a nekoroziivnost, ale hlavní klíčovou vlastností pro jejich využití při kontrole těsnosti je jejich koncentrace v okolním prostředí, která je velice malá, téměř nulová. Srovnání zaokrouhlených fyzikálních vlastností těchto dvou plynů a vzduchu je uvedeno níže v Tab. 1.

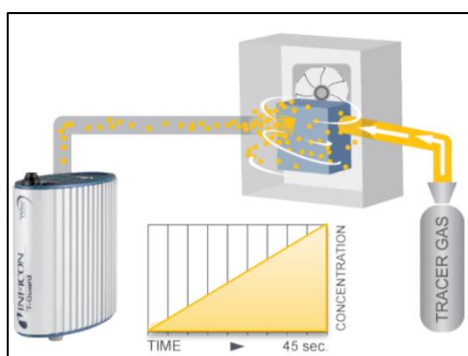
	Vzduch	Vodík	Hélium
Molekulová hmotnost [g/mol]	29	2	4
Hustota [g/l]	1,2	0,09	0,18
Viskozita [Pa·s]	0,0000183	0,0000087	0,0000194
Koncentrace v okolním prostředí	100 %	0,5 ppm	5 ppm

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti vzduchu, vodíku a hélia (převzato z [26])

Helium a vodík se dají využít v praxi při testování těsnosti technických děl nejčastěji pomocí principů, které se dají se shrnout do následujících tří metod. Všechny metody detekují částice plynů pomocí hmotnostního spektrometru.

- **Akumulační metoda za atmosférického tlaku s větráním**

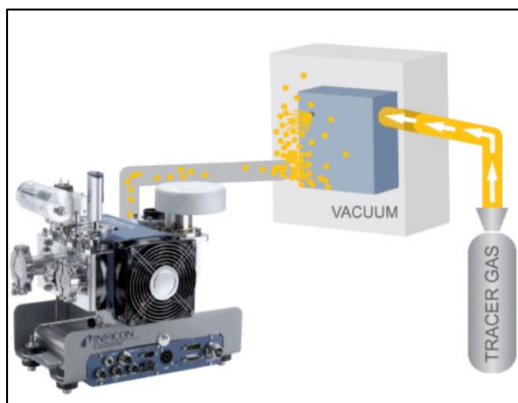
Tato metoda spočívá v uložení testované součásti do utěsněné komory, kde je součást naplněna jedním z výše zmiňovaných plynů. Výstup ze samotné komory je napojen na speciální zařízení, které je schopné detekovat daný unikající plyn. Pokud se tedy nachází kdekoli na testovaném vzorku netěsnost a plyn z ní uniká ven do komory, větrací zařízení molekuly plynu uvede do pohybu a ty se dopraví do detekčního zařízení, které poté zahlásí přítomnost plynu v komoře. Schéma této testovací metody je vyobrazeno níže na Obr. 3.



Obr.3 Schéma akumulační metody za atmosférického tlaku s větráním (převzato z [25])

- **Akumulační vakuová metoda**

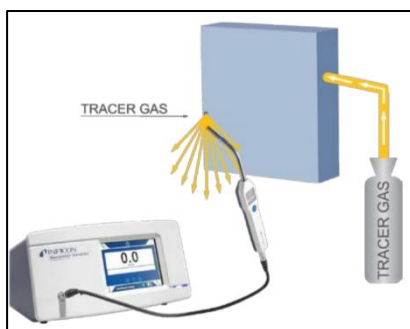
Princip této metody je – soudě dle Obr. 4 níže – zčásti podobný principu předchozí metody s tím rozdílem, že u této metody není potřeba větrací zařízení, neboť je v komoře vytvořeno vakuum pomocí vakuového čerpadla. Po tom, co je v komoře vytvořeno vakuum, helium samovolně proudí z netěsností na součásti a je poté detekováno pomocí zařízení, které je zde součástí zmiňovaného vakuového čerpadla. Tato metoda je využívána pro větší součásti a pro detekci úniků chladiv.



Obr.4 Schéma akumulční vakuové metody (převzato z [25])

- **Lokalizační „čichací“ metoda**

Velkou nevýhodou předchozích dvou metod je neschopnost přesné lokalizace místa úniku plynu na testovaném vzorku, a to představuje překážku v následném řešení problému odstranění dané netěsnosti. Z tohoto důvodu přichází na řadu tato metoda, jejíž schéma je vyobrazeno níže na Obr. 5, která je schopná přesné lokalizace netěsnosti na testovaném vzorku. Lze ji použít mimo utěsněnou testovací komoru, neboť tato metoda využívá faktu, že okolní vzduch obsahuje téměř nulové množství výše zmiňovaných plynů (hélium či vodík). Jedním z těchto plynů či jejich směsí s dusíkem je testovaná součást naplněna a pomocí nasávací sondy (*sniffer*) se poté hledá přesné místo úniku. Hlavici nasávací sondy se přednostně testují klíčová místa netěsností jako svary, příruby a další spoje. Pokud se ale netěsnost nachází mimo tato klíčová místa, může být proces lokalizace netěsností velice časově náročný v závislosti na velikosti, tvaru a složitosti dané testované součásti.



Obr.5 Schéma lokalizační čichací „sniffer“ metody (převzato z [25])

2.3.4 Metody měření změny tlaku

Principy použití [9] [19][27][28][29][30]

Tato podkapitola shrnuje metody, které k testování těsnosti využívají monitorování a vyhodnocování změny tlaku v testovaném systému. U těchto metod je nutné stanovit takový testovací tlak, při kterém nedojde k překročení konstrukčních mezí. Podobně jako například u bublinkových metod, lze u metod založených na měření změny tlaku testovat těsnost a zároveň pevnost daného testovaného objektu a zkusit tak jeho chování při daném testovacím tlaku.

- **Metoda měření poklesu tlaku v čase**

Univerzální a často používaná metoda v rámci výrobních linek, která nedokáže lokalizovat přesné místo netěsnosti na součásti, ale je schopná posoudit, zdali se na součásti nějaká netěsnost nachází či nikoliv. Postup k její realizaci je následující:

- 1) Natlakování testované součásti plynem na stanovenou hodnotu tlaku,
- 2) uzavření přívodu plynu do testované součásti,
- 3) měření poklesu tlaku za určitý časový úsek,
- 4) výpočet těsnosti ze součásti dle rov. 1,
- 5) zhodnocení, zdali naměřené a vypočtené výsledky splňují přípustné limity.

Výpočet těsnosti/rychlosti úniku:

$$Q_L = \frac{(p_1 - p_2) \cdot V}{t} \quad (1)$$

Kde:

Q_L – rychlost úniku součásti [$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

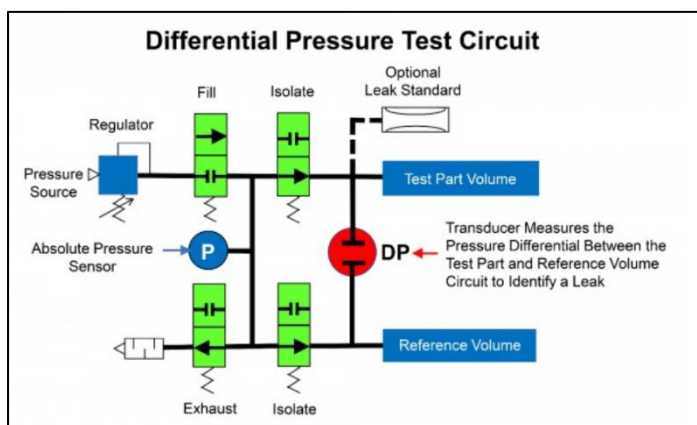
$p_{1,2}$ – tlak při uzavření přívodu plynu a na konci měření [Pa]

V – objem testované součásti [m^3]

t – doba uplynulá mezi uzavřením přívodu plynu a koncem měření tlaku [s]

- **Metoda diferenciálního měření poklesu tlaku [30]**

Jedná se přesnější a složitější verzi výše zmiňované metody měření poklesu tlaku v čase. Do celkového systému měření přibude navíc referenční testovací nádoba, další měření tlaku a diferenciální tlakoměr, který dokáže měřit rozdíly dvou tlaků najednou. Jedná se o poměrně moderní metodu, která se v kompaktní tržní podobě skládá z měřicího přístroje a referenčního testovacího vzorku. Schéma této metody je uvedeno na Obr. 6 níže. Schéma bylo převzato z webových stránek společnosti *Cincinnati TEST SYSTEMS*, kde je možné získat o této metodě detailnější informace.



Obr.6 Metoda diferenciálního měření poklesu tlaku v čase (převzato z [30])

- **Metoda tlakové pistole**

Metoda je vhodná převážně pro testování těsnosti trubek různých průměrů a používá se například také pro testování těsnosti u tepelných výměníků tepla se segmentovými přepážkami nebo u výměníků typu trubka v trubce. K provedení je potřeba dvou operátorů, kteří pomocí speciálních pistolí na stlačený vzduch natlakují testovanou trubku zmáčknutím spouště pistole. Poté spoušť povolí a pokud manometr zabudovaný na zadní části pistole ukazuje stejnou hodnotu tlaku i po určitém časovém intervalu od uvolnění spouště (10 sekund obvykle), tak trubka neobsahuje žádnou netěsnost. Lze vidět na Obr. 7 níže, že pro daný průměr trubky je potřeba mít na hlavici pistole odpovídající kuželovou koncovku pro dokonalé ucpání konce trubky.



Obr. 7 Metoda tlakové pistole (převzato z [29])

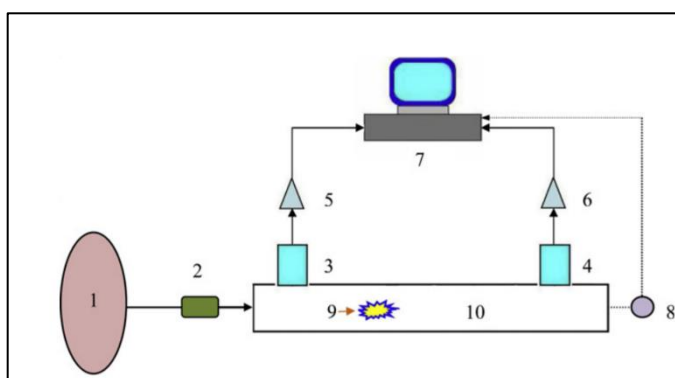
2.3.5 Metoda měření akustické emise

Principy metod [20][31]

Médium proudící z místa netěsnosti do okolí je doprovázeno za určitých podmínek zvukovými vjemy. Jedná se o akustické emise, se kterými se může často setkat i lidské ucho a člověk ho obvykle vyhodnotí jako syčení. Na tento charakteristický zvuk je tedy možné poměrně často narazit v každodenních situacích. Zvuk syčení si lidský mozek spojí například s

malou netěsností na nafouklém pláčovém lehátku nebo s vadným ventilkem u pneumatiky osobního automobilu.

Tyto akustické emise vydávají signál, který je zaznamenatelný nejen lidským uchem, ale hlavně také speciálními snímači, a právě tato skutečnost je využívána při aplikaci metody detekce úniků pomocí akustické emise. Pomocí těchto akustických signálů je možno nejen rozhodnout o existenci netěsnosti, nýbrž je možno netěsnost i lokalizovat, neboť síla signálu závisí na vzdálenosti snímače akustických emisí od místa úniku. Schéma a princip této metody jsou vyobrazeny a přiblíženy na Obr. 8 níže. Schéma bylo převzato ze studie, která se zabývala testováním těsnosti vysokotlakých potrubních systémů právě pomocí metody akustických emisí. Ačkoliv se tedy schéma vztahuje pouze k potrubním systémům, princip této metody je téměř stejný i pro další aplikace jako například pro testování tlakových nádob, výměníků tepla, čerpadel či ventilů.



Obr. 8 Metoda detekce úniků akustickou emisí (převzato z [31])

Obr. 8, na kterém je vyobrazeno schéma metody detekce úniků pomocí akustických emisí, tedy zobrazuje situaci, kdy na vysokotlaké trubce (poz. 10) s netěsností (poz. 9) jsou umístěny senzory akustických emisí (poz. 3,4), které naměřené akustické signály vysílají do zesilovačů signálu (poz. 5,6). Z těchto zesilovačů signály putují do vyhodnocovacího počítače (poz. 7). Trubka je natlakovaná vzduchem ze vzduchového kompresoru (poz. 1) s regulátorem (poz. 2). Do počítače (poz. 7) vstupuje také výsledek měření tlaku pomocí manometru (poz. 8).

Na rozdíl od ultrazvukové metody detekce netěsností, je tato metoda ovlivněna šumy a zvuky okolního prostředí. K tomu, aby bylo možné akustické emise detekovat, je zapotřebí také speciálních podmínek v místě úniku média, které zahrnují například turbulentní proudění, vznik kavitace, tření tekutiny v dráze úniku či výskyt rázových bublin na stěnách.

2.3.6 Ultrazvukové metody

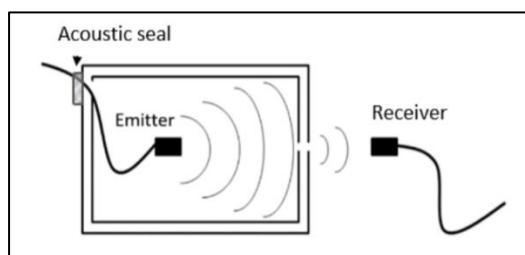
Principy metod [22][32]

Ultrazvukové metody jsou obecně velmi stěžejními metodami v rámci nedestruktivního testování. Kromě různých druhů inspekce kvality materiálů je lze ale využít i pro kontrolu těsnosti. Ultrazvukové testování těsnosti lze shrnout do tří testovacích metod. Jedná se o metody aktivní, pasivní a vibro – akustické. Hlavní výhodou těchto metod je skutečnost, že jejich výsledek není téměř ovlivnitelný vnějšími šumy a ruchy a lze je tedy například použít i v rušném prostředí průmyslové výrobní linky bez obav z obdržení nepřesného výsledku, neboť frekvenční rozsah ultrazvuku, se kterým se pracuje, se nachází v nízkofrekvenčním rozsahu od 20 kHz do 100 kHz.

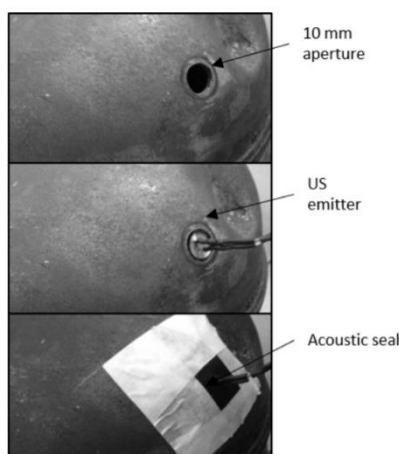
Aktivní ultrazvuková metoda

Principem této metody, jak lze vidět na Obr. 9 níže, je příjem ultrazvukového signálu procházejícího skrze netěsnosti v materiálu pomocí přijímače, který se nachází vně testovaného objektu. Ultrazvukový signál je vytvářen generátorem ultrazvuku, který se nachází naopak uvnitř testované součásti a k jeho vsunutí se vytvoří speciální inspekční otvor na Obr. 10, který je možné lehce a kvalitně utěsnit. K provedení metody není třeba plnit ani tlakovat testovaný objekt vzduchem, vodou ani jiným médiem.

U tlakových nádob či různých nádrží je tato metoda schopna odhalit netěsnosti o velikosti 350 μm a větší. Používá se také například pro testování těsnosti vnitřních prostor automobilů či nákladních aut, kde postačuje detekovat netěsnosti o velikosti 1 mm a vyšší.



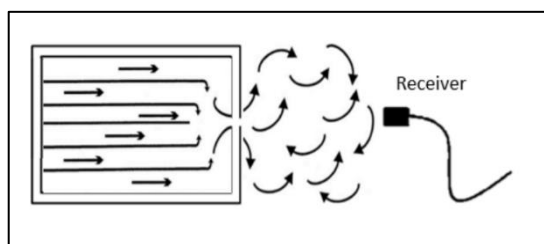
Obr. 9 Aktivní ultrazvuková metoda kontroly těsnosti (převzato z [32])



Obr. 10 Speciální inspekční otvor pro generátor ultrazvuku (převzato z [32])

Pasivní ultrazvuková metoda

Na rozdíl od výše uvedené aktivní metody, přijímač ultrazvukového signálu u pasivní metody nepřijímá signál od generátoru ultrazvuku, ale signál, který je generován turbulentním prouděním vzduchu skrz malou netěsnost. Není tedy potřeba vytvářet do testovaného objektu nový inspekční otvor, ale je potřeba objekt naplnit nějakým plynným médiem – nejčastěji vzduchem, ale pro specifické aplikace a tlaky, kde je potřeba odhalit ještě menší netěsnosti, lze využít i vodík, hélium či dusík. Přijímačem (*receiver*), který je vyobrazen na Obr. 11 níže, vyobrazujícím schéma principu této metody, se rozumí vysokofrekvenční mikrofon schopný přijímat odezvu ultrazvukového signálu až do 100 kHz. Minimální velikost netěsnosti, kterou lze odhalit pomocí pasivní ultrazvukové metody, může být, dle výše citované studie, až 20 μm .



Obr. 11 Pasivní ultrazvuková metoda kontroly těsnosti (převzato z [32])

Vibro – akustická metoda

Vibro – akustická metoda je založena na monitorování vzniku rezonancí vyvolaných netěsnostmi při určitých frekvencích. Testovaný objekt není žádným médiem natlakován, ale je v tomto případě „rozvibrován“ pomocí malého elektro – dynamického průmyslového testovacího „třepače“ (*shaker*) sinusovým buzením ve frekvenčním rozsahu 20 Hz až 8 kHz. Pokud při nějaké frekvenci dojde ke vzniku rezonance, tak je tato rezonance zaznamenána pomocí vysokofrekvenčního mikrofónu, který je schopen zachytit nízkofrekvenční ultrazvukové pásmo, a odhalit tak existenci netěsnosti na testovaném objektu.

Tato metoda je vhodná převážně pro tenkostěnné (membránové) tlakové nádoby a u tlustostěnných tlakových nádob či složitějších objektů, složených z více částí, může docházet k vybuzení rezonancí, které nesouvisí s existencí netěsností, ale například s vadami materiálu či s rezonancí některých pohyblivých částí testovaného objektu.

2.3.7 Hydrostatická zkouška netopených tlakových nádob

Ačkoliv je hydrostatická zkouška, popsaná v normě ČSN EN 134415-5, určena hlavně pro finální testování pevnostních charakteristik dané netopené tlakové nádoby, je spojená také s monitorováním těsnosti nádoby za vysokého tlaku. Dle stejnojmenné výše uvedené normy by se ale hydrostatická zkouška měla provést až po aplikaci některých z nízkotlakých zkoušek těsnosti, například těch, které byly popsány v kapitolách 2.3.1, 2.3.2 či 2.3.3. Samotná hydrostatická zkouška je principiálně velmi jednoduchá, neboť její základní postup tkví v napuštění a natlakování netopené tlakové nádoby (např. výměníku tepla) kapalinou (nejčastěji vodou) po určitý časový úsek a v sledování odezvy této nádoby na tyto specifické tlakové podmínky. Samotná těsnost netopené tlakové nádoby při hydrostatické zkoušce se může kontrolovat vizuálně například kontrolou úniku výraznou barvou obarvené testovací kapaliny nebo měřením poklesu tlaku v nádobě [21].

2.3.8 Pneumatická zkouška netopených tlakových nádob

Pneumatická zkouška netopených tlakových nádob je využívána, dle normy z kapitoly 2.3.6, jako náhrada hydrostatické zkoušky v případech, ve kterých není možné ze specifických důvodů použít zkoušku hydrostatickou. Princip použití je prakticky stejný jako u hydrostatické zkoušky s tím rozdílem, že testovacím médiem není kapalina, ale plyn a následná těsnost nádoby je obvykle kontrolována metodou měření akustických emisí, která je blíže popsána v kapitole 2.3.4. Odlišné jsou ale také některé okolnosti používání této metody a bezpečnostní doporučení a požadavky [21].

3 Filtrace průmyslové technologické vody

Filtrace je důležitou separační metodou, hrající zásadní roli v celkovém procesu testování těsnosti bublinkovou metodou ve vybrané firmě. V kapitole 5.1.5 je popsáno ultrafiltrační membránové zařízení, které v tomto procesu figuruje, a v téže kapitole jsou popsány také způsoby, jakými ovlivňuje spolehlivost a efektivitu celého procesu.

V této kapitole bude tedy filtraci průmyslové technologické vody z testovacích van věnováno pár odstavců, jelikož je v kontextu celkového procesu nezanedbatelným podprocesem.

3.1 Průmyslová technologická voda

Typů průmyslových vod může být dle jejich složení vícero. Může se jednat o průmyslové vody srážkové, chladicí, technologické či odpadní vody splaškového charakteru. Pokud voda figuruje v nějakém technologickém procesu, například v rámci průmyslové výroby či testování, spadá do skupiny průmyslových vod technologických [33].

Na základě průběžné kontroly kvality průmyslové technologické vody, je možné rozhodnout, zdali jí lze využít pro určitý průmyslový proces opakovaně v rámci okruhu, ovšem jen za předpokladu, že její vlastnosti stále vyhovují podmínkám pro daný proces a je stále možné tyto podmínky obnovovat pomocí různých čistících/úpravných procesů. V momentě, kdy u průmyslové vody již nelze dosáhnout požadované kvality pomocí dostupných technologií, přijde na řadu obnovení vody v okruhu – dojde tedy k vypuštění vody znečištěné a k následnému napuštění čisté vody do okruhu. Znečištěná voda směřuje dále do lokální ČOV a poté do obecní kanalizace, která jí dopraví do obecní ČOV, která odpadní vodu upraví do požadované kvality pomocí velké série za sebou jdoucích regeneračních procesů.

Zdrojem vody pro technologické procesy mohou být například povrchové vody či voda z vodovodního řádu. Zde si průmyslové podniky musejí dávat pozor, neboť pro čerpání vod z vod povrchových k průmyslovým účelům vymezuje zákon jasně stanovená pravidla a je potřeba, aby se jimi společnosti řídili, pokud se chtějí vyhnout pokutám. Jistá zákonem stanovená pravidla platí i pro odběr vody z vodovodního řádu pro průmyslové účely, kde je například stanoven i maximální odběr za určité časové období. Jelikož zde hraje roli i cena za metr kubický vody z vodovodního řádu, je ekonomické načerpanou vodu využít v procesu v rámci regenerovatelného okruhu [34].

Když vlastnosti průmyslové vody dospějí do fáze, kdy už není možné je obnovit k využití v daném procesu, stává se z této vody voda odpadní. Dle charakteru procesu může technologická odpadní voda obsahovat nepřípustné látky či látky v nepřípustných koncentracích. Pokud obsahuje například hořlavé, toxické či výbušné látky, je třeba blíže zkoumat jejich koncentraci a následné možnosti předčištění vody pomocí adekvátních separačních metod. Průmyslový podnik musí tuto problematiku řešit nejen z praktických, ale také z legislativních důvodů. Mezi praktické ekonomické důvody separace daných látek je například recyklace dané látky, ale také zajištění bezpečného provozu veřejné kanalizace a podnikových či veřejných ČOV [33].

3.2 Filtrace

Z obecného hlediska lze proces filtrace popsat jako proces, jehož cílem je separovat či odstranit částice určité velikosti od zbytku média [35]. Literatura specifikuje pojem filtrace přesněji takto:

„Filtraci se rozumí chemicko-inženýrská operace, při níž dochází k mechanickému oddělování tuhé fáze od spojitého prostředí (tekutiny)“ [36]

Výsledkem procesu filtrace jsou následující produkty:

- 1) Dispergované částice (mohou tvořit tzv. filtrační koláč),
- 2) filtrát – tekutá fáze (její vlastnosti ovlivňuje užitá metoda filtrace) [36].

Při procesu filtrace porézním či zrnitým prostředím dochází k postupnému zhoršování kvality filtrátu, neboť filtrační náplň se postupně zanáší, tlaková ztráta roste a v určitý moment dojde k průniku suspenze, který vede ke skokovému zvýšení zákalu vody. Tento jev je velmi nežádoucí, a proto je nutné v praxi vývoj filtrace monitorovat či odzkoušet tak, aby proběhlo tzv. praní filtru ještě předtím, než dojde k průniku suspenze způsobující skokový zákal. V momentě průniku zákalu se tlaková ztráta blíží svému maximu [33].

Základním matematickým vztahem pro filtraci s porézní a zrnitou náplní je Darcyho zákon vyjádřený rov. 2: [33]

$$v = \frac{K \cdot \Delta P}{\mu \cdot \Delta H} = \frac{\Delta P}{R \cdot \mu \cdot \Delta H} \quad (2)$$

Kde:

- K – permeabilita filtračním prostředím [–]
- ΔP – tlaková ztráta na filtrační vrstvě [Pa]
- ΔH – hloubka filtrační vrstvy [m]
- R – filtrační odpor [–]
- μ – dynamická viskozita [Pa · s]
- v – filtrační rychlost [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] [33]

3.2.1 Filtrace zrnitým materiálem

Filtrace vrstvou zrnitého materiálu se užívá pro separaci suspendovaných látek ve vodě například při úpravě vody v ČOV. Tento proces může přijít na řadu například po procesech koagulace, odželezování či odmanganování, neboť je schopný zachytit hydroxidy železa a hliníku. V rámci filtrace pomocí zrnitého materiálu platí jisté zákonitosti, viz. Darcyho zákon (rov. 1.02) uvedený výše, který platí jak pro porézní, tak pro zrnité prostředí filtru [33].

Materiály využívané pro filtraci tímto způsobem jsou například křemičitý písek, antracit, granulované aktivní uhlí nebo speciální granulovaná média [35].

3.3 Membránové procesy

Pod pojmem membrána se rozumí určitá velmi tenká selektivní bariéra, která je schopna na základě svých vlastností zamezit průchod některých částic, a naopak některým částicím průchod umožnit [37][38].

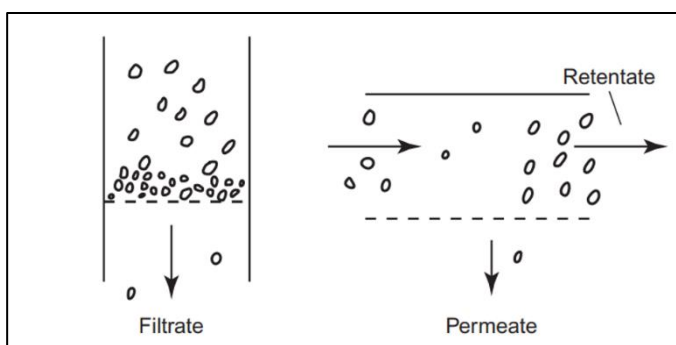
Membránové procesy jsou poté procesy, které svým účelem mají velmi blízko k principu filtrace. Nicméně, mezi klasickou filtrací na přepážce a membránovými procesy existují rozdíly uvedené v bodech níže. Obecné rozdělení membránových procesů je zobrazeno v Tab. 2.

Rozdíly mezi membránovou filtrací a filtrací na přepážce: [33][36]

- Základním prvkem membránových procesů není přepážka, ale polopropustná membrána,
- záchyt částic neprobíhá pouze mechanicky (na základě velikosti pórů), ale také díky působení adsorpčních a jiných sil,
- membránové procesy je nutné realizovat, na rozdíl od filtrace na přepážce, za podmínek zvýšeného tlaku v rozsahu od 0,1 až 6 MPa, dle konkrétního membránového procesu – jedná se o realizaci tlakového rozdílu před a za membránou tak, aby měli částice dostatečnou hnací sílu pro průchod membránou,
- velikost zachycených částic se pohybuje u membránové filtrace už od 0,1 nm, zatímco filtrace na přepážce je schopna separovat pouze částice větší jak 1 μ m,
- přepážka či filtrační materiál zachytí částice spíše náhodně, kdežto membránový filtr je schopen zachytit částice přesně definovaných rozměrů dle velikosti jeho pórů
- u membránové filtrace je filtrát nazýván permeát (viz. Obr. 12 níže), kvůli způsobu, jakým je oddělen od dispergovaných částic/retentátu.

Proces	Velikost zachycených částic	Tlakový rozdíl
Mikrofiltrace	$\geq 0,1\mu\text{m}$	100-400 kPa
Ultrafiltrace	10-100 nm	500-1000 kPa
Nanofiltrace	1-10 nm	2-4 MPa
Reverzní osmóza	0,1-1 nm	3-6 MPa

Tab. 2 Membránové procesy a jejich rozdělení dle typu filtrační přepážky a potřebného tlakového rozdílu (převzato z [33])



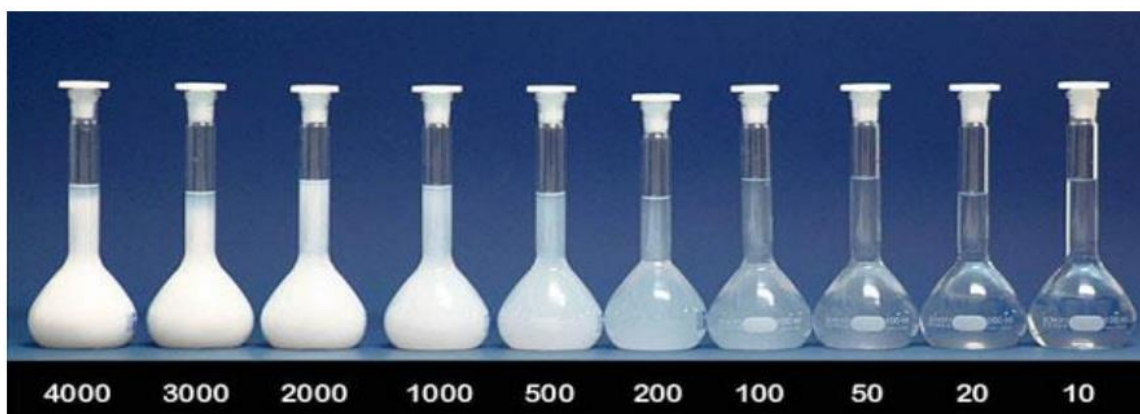
Obr. 12 Srovnání principů membránové filtrace a filtrace na přepážce (převzato z [38])

4 Měření zákalu kapalin

Při měření zákalu se obecně zjišťuje, jak čirá/průzračná je analyzovaná kapalina. Pro měření zákalu se využívá faktu, že suspendované látky v kapalině zabraňují prostupu světla vodou – čím víc jich tedy v kapalině je, tím hůře světlo kapalinou prostupuje a sníží se tedy její průhlednost [38]. Pro měření zákalu se užívají nefelometry či turbidimetry. Tyto přístroje se liší způsobem, jakým zákal měří. Turbidimetry měří útlum záření a jsou určeny pro měření spíše hrubšího zákalu. Pomocí nefelometru je možné zase měřit velmi nízké hodnoty zákalu principem měření rozptýleného záření [36]. Při vědeckém zkoumání možností měření zákalu, se došlo k závěru, že pro přesné měření s minimem chyb bude vhodné měřit hodnoty v jednotkách, které jsou vztaženy ke standardizovaným hodnotám trvalého zákalu nějaké koloidní směsi, například Formazinu [38].

Jednou z jednotek pro měření zákalu je jednotka NTU (*Nephelometric Turbidity Units*) [38]. K získání představy o hodnotách zákalu lze uvést, že hodnoty NTU pro čisté horské potoky se pohybují v jednotkách NTU, kdežto například hodnoty NTU pro odpadní vody se mohou pohybovat v rozmezí od cca 70 do cca 2000 NTU [39].

O vizuální podobě zákalu v závislosti na hodnotách jednotky NTU je možné získat představu díky Obr. 13 níže.



Obr. 13 Stupnice zákalu v jednotkách NTU [39]

5 Proces testování těsnosti výměníků tepla ve vybrané firmě

V rámci diplomové práce jsou v předmětné výrobní společnosti analyzována možná zlepšení v procesu testování těsnosti tepelných výměníků, které by mohli vést ke zvýšení spolehlivosti a efektivity celého procesu. K tomu, aby bylo možné najít problematická místa v celém procesu, stává se nutným prvním krokem celý proces zanalyzovat a popsat zásadní vlastnosti jednotlivých klíčových částí procesu a jejich vliv na spolehlivost a efektivitu. Popis celého procesu a jeho jednotlivých částí je realizován právě v následujících podkapitolách. Ke klíčovému tématům procesu je užitečné provést také určitý základní souhrn teoretických znalostí a informací. Tyto informace a znalosti mohou vést k alternativním možnostem realizace dané části procesu a následnému zhodnocení, zdali je výhodné tento podproces daným způsobem nahradit či vylepšit. Takovému souhrnu se věnuje v určité formě teoretická část této diplomové práce zahrnující kapitoly 1-4. V těchto kapitolách byly ve stručném rozsahu popsány témata, která byla uvážena jako užitečná pro tuto praktickou část a mohla by pomoci k nalezení možných zlepšení procesu či jeho jednotlivých částí.

5.1 Zařazení procesu testování těsnosti v rámci celého výrobního procesu

Tato kapitola popisuje celkový proces výroby tepelných výměníků v předmětné výrobní společnosti a vymezuje zařazení hlavního analyzovaného procesu, kterým je proces testování těsnosti. Tento proces se nachází, jak lze vidět na schématu na Obr. 14, na konci výrobního procesu ve fázi zkoušení, kde je aplikována i stěžejní bublinková metoda.

Celkový výrobní proces se tedy skládá z fází předvýroby, výroby, zkoušení, přípravy, povrchových úprav a finální expedice. V této kapitole budou jednotlivé fáze stručně představeny na základě již zmiňovaného schématu na Obr. 14. Celý výrobní proces tepelných výměníků probíhá v jednotlivých etapách, které bývají stejné či velmi podobné pro výrobní proces jakéhokoliv jiného produktu. Jak lze vidět na procesním schématu výrobního procesu na Obr. 14, takový výrobní proces se skládá nejdříve z určité přípravy a prvotního zpracování polotovarů a materiálů dodaných od patřičného dodavatele. Dojde tedy k zpracování dílců, vzniku prvních podsestav a k provedení přípravných operací.

Předvýroba	Výroba	Zkoušení	Příprava	Povrchové úpravy	Expedice
Příprava a pájení polotovarů	Pájení podsestav	Bublinková metoda	Sušení v peci	Tepelné zpracování	Balení
Výroba podsestav	Sestavení podsestav	Héliová metoda	Odmaštění a čištění	Povlakování	Sušení
Kontroly materiálu	Finální produkt výroby	Vizuální kontrola		Lakování	Finalní kontrola a čištění

Obr. 14 Obecné schéma výroby tepelných výměníků v předmětné výrobní společnosti

Předvýroba

Ve fázi předvýroby dochází k přípravě polotovarů trubkové části tepelného výměníku pro výrobu a další operace. Vstupním materiálem je měděná trubka, která je dodávána omotaná na velké cívce. Tento polotovar je mnohdy označován jako měděná vlásečnice. Měděná trubka je odvíjena strojně do speciálních strojních zařízení, které jsou schopny ji nadělit na potřebné délky, poté ohnout a případně i odjehlit. Ohýbací zařízení se v anglosaských zemích označuje jako „*Hairpin bender*“, neboť jeho úkolem je ohnout trubku do tvaru písmena „U“, a tedy do tvaru, který připomíná tvarem kancelářskou sponku.

Dalším důležitým vstupním materiálem je povlakovaný plech, který je taktéž dělen a lisován s žebrováním. Výstupem z tohoto podprocesu jsou plechové pásy, které v sobě obsahují nespočet otvorů, kterými se prostrčí v dalších fázích výroby měděné trubky. Tyto pásy tedy tvoří sérii lamel, které jsou nasazeny na jednotlivé měděné trubky a zvyšují přenos tepla a tvorbu turbulentního proudění kolem trubek. Tento plech je dodáván také ve formě jednodílného materiálu navinutého na válcovou cívku a může mít na sobě speciální povlak, jakým je například modrý hydrofilní či zlatý epoxidový povlak.

Součástí předvýroby je také hala prvovýroby, kde dochází k prvnímu pájení materiálů a polotovarů do podsestav. Jedná se o pájení předpřipravených a naohýbaných polotovarů, jakými jsou například kolínka, kolektory, distributory či kapiláry. Na této hale také probíhá namátková kontrola pájených spojů pomocí nějaké z nedestruktivních metod.

Výroba

Výroba zahrnuje hlavně montáž a pájení podsestav do finální sestavy tepelného výměníku. Při výrobě probíhá například vsunutí trubek do kostry tepelného výměníku s lamelami. Speciální strojní zařízení zvané expandér poté je schopno zajistit pevné spojení mezi trubkami a těmito lamelami tak, že odstraní vůli mezi nimi a učiní je pevnějšími.

Zkoušení

Jakmile má tepelný výměník svoji finální podobu, je nutné, aby podstoupil kontrolu jeho těsnosti. Ta ve firmě probíhá, jak již bylo několikrát zmíněno, převážně pomocí bublinkové metody a okrajově pomocí metody detekce úniku stopového plynu, konkrétně hélia. Metody zkoušení těsnosti a bublinková metoda spadají mezi hlavní témata této diplomové práce, a proto jim byla věnována teoretická kapitola 2 a samotnému procesu zkoušení těsnosti bublinkovou metodou pak byla věnována kapitola 2.3.2.

Příprava

Po zkoušení těsnosti je tepelný výměník většinou znečištěný a mokrý, a proto je nutné provést jisté přípravné operace pro pracoviště tepelných úprav či pro expedici. Na výměnících většinou ulpívá voda z předchozího zkoušení těsnosti bublinkovou metodou a z tohoto důvodu je nutné ho vysušit v plynové sušící peci, která se nachází hned vedle středně velkých zkušebních van. Tepelný výměník stačí přesunout na pásový dopravník, který ho dopraví skrz sušící pec. Občas může také proběhnout jisté předčištění výměníku a zbavení větších nečistot a mastnot z jeho povrchu.

Povrchové úpravy

Pro aplikace povrchových úprav na tepelné výměníky či jejich součásti slouží speciálně navržená linka, která obsahuje několik částí, ve kterých dané výměníky či jejich součásti podstoupí jednotlivé operace. Jedná se například o odmašťovací, čistící, ohřevnou či chladicí část a samozřejmě část, kde dochází k aplikaci dané povrchové úpravy pomocí lakovacích trysek.

Expedice

V závěru celého výrobního procesu přijde na řadu finální kontrola výměníků a kontrola dokumentace, která s nimi putovala celým výrobním procesem. Pokud je to třeba, výměník se ještě dočistí, vysuší či odmastí. Pokud je s daným výměníkem či s celou zakázkou na sérii tepelných výměníků vše v pořádku, je možné přejít k balení a přípravě na expedici a přesunutí do skladu.

5.2 Schéma a základní popis procesu zkoušení těsnosti

Celý proces testování těsnosti začíná dopravením sady tepelných výměníků do blízkosti dané zkušební vany. Zkušební vany s vodou jsou určeny k testování těsnosti výměníků tepla metodou, při které se musí výměník tepla natlakovat vzduchem a ponořit pod vodní hladinu ve zkušební vaně.

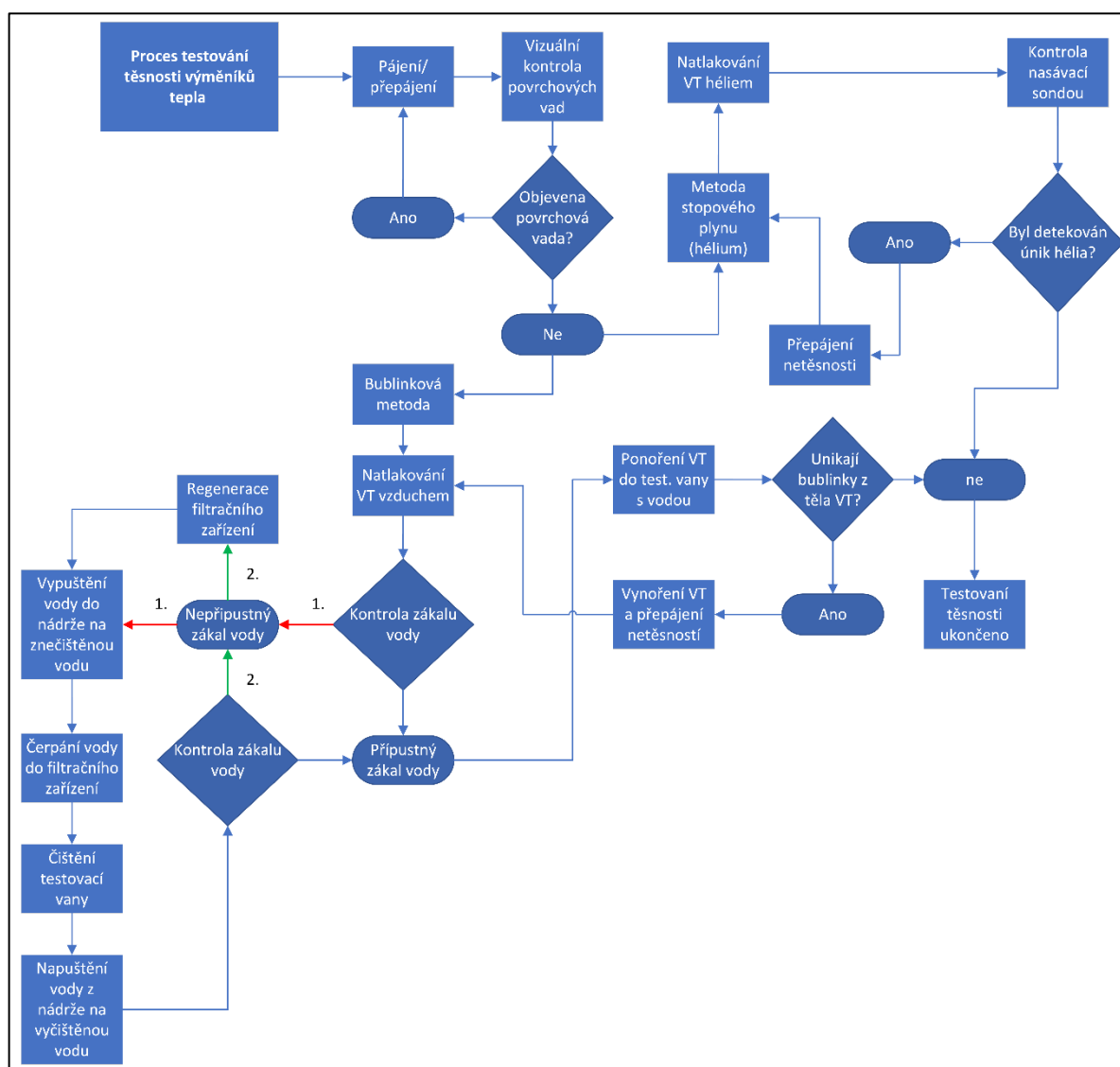
Po stabilizaci vodní hladiny probíhá vizuální detekce bublin zkušebním technikem. Tento pracovník má za úkol hledat na těle tepelného výměníku a v místech pájených spojů, únik vzduchu, který signalizují bublinky vycházející z netěsnosti na součásti. Pokud je nalezena netěsnost, tepelný výměník je vynořen nad hladinu a dané místo se přepájí – proces se opakuje do té doby, dokud nejsou odstraněny všechny netěsnosti.

Tato metoda se v literatuře většinou uvádí jako *bublínková ponořovací metoda* a v anglické literatuře je možné jí nalézt pod názvy *Bubble leak test method* či *Bubble emission technique*. Její princip je blíže popsán v kapitole 2.3.2.

Základní myšlenku procesu testování těsnosti vyráběných výměníků tepla je možné jednoduše schematicky zobrazit na Obr. 15.

Testování těsnosti ve většině případů probíhá právě tímto způsobem, a to na dvou pracovištích. Nejdříve dochází k vizuální kontrole povrchových vad na pracovišti základní prvovýroby. Zde poté probíhá i namátkové testování pájených spojů pomocí některých nedestruktivních metod. K další a hlavní klíčové kontrole těsnosti dochází na pracovišti, kde se nachází již zmiňované zkušební vany s vodou. Zde kontrola probíhá, jak bylo již výše zmíněno pomocí tzv. bublínkové metody.

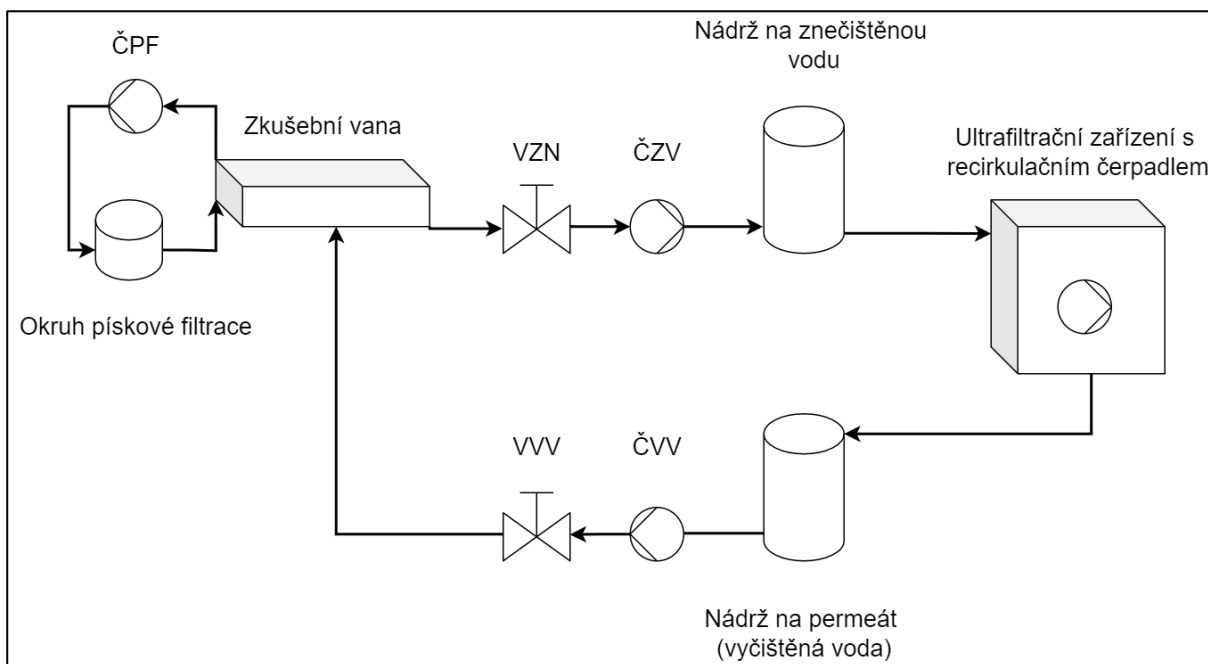
V ojedinělých případech je v předmětné výrobní společnosti užívána také metoda detekce stopového hélia, která je blíže popsána v kapitole 2.3.3.



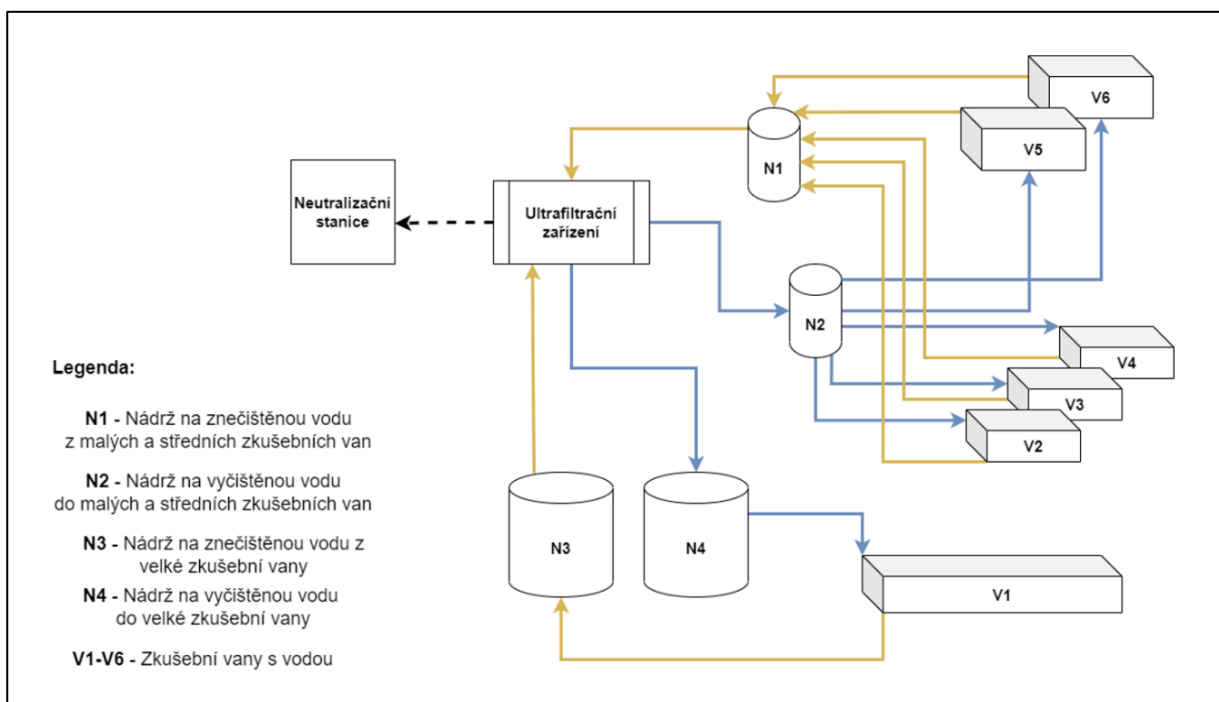
Obr.15 Rozhodovací schéma testování těsnosti výměníků tepla

Základní představa o situaci kontroly těsnosti tepelného výměníku je vyobrazena na následujícím schématu na Obr. 16, který tuto situaci zobrazuje vztaženou na jednu zkušební vanu. Princip tohoto vyobrazení ale platí i pro všechny ostatní zkušební vany. Situace kontroly těsnosti vztažená na jednu zkušební vanu obsahuje 3 samostatná čerpadla. Jedno je na znečištěnou vodu (ČZV) a druhé na vodu vyčištěnou z ultrafiltračního zařízení (ČVV). Třetí čerpadlo je umístěno v rámci pískové filtrace (ČPF). Pro vypuštění znečištěné vody slouží ventil VZN a pro napuštění zase ventil pro přívod vody vyčištěné VVV.

Aby bylo možné získat představu, jak vypadá rozložení celé technologie kontroly těsnosti a jejich jednotlivých částí, je pak dále uvedeno také schéma na Obr. 17, které zobrazuje proudy průmyslové technologické vody využívané ve zkušebních vanách jako detekční kapaliny. Tato detekční kapalina totiž spojuje provoz zkušebních van s nádržemi a zařízeními, které jsou schopné kapalinu čistit a připravovat ji buď pro znovupoužití ve zkušebních vanách či k vypuštění do obecní kanalizace. Modře označené proudy symbolizují vyčištěnou detekční kapalinu a proudy zvýrazněné do hněda zase proudy se znečištěnou detekční kapalinou.



Obr.16 Schéma okruhu recirkulace vody (vztaženo na jednu zkušební vanu)



Obr.17 Schéma proudů průmyslové technologické vody (detekční kapaliny)

5.2.1 Zkušební vany

Pracovní prostor zkušebních van je místem, kde probíhají hlavní operace umožňující realizovat kontrolu těsnosti tepelných výměníků pomocí bublinkové metody. Díky Tab. 3 níže je možné získat základní přehled o značení, rozměrech, objemech a příslušenství jednotlivých zkušebních van.

Číslo vany [-]	Rozměry vany [m]	Objem vany [m ³]	Příslušenství
1	-	17	Jeřáb, písková filtrace, pájecí souprava
2	1,6 × 1,11 × 0,52	0,92	Jeřáb, písková filtrace, hydraulický polohovatelný stůl, pájecí souprava
3	1,6 × 0,95 × 0,52	0,79	
4	2,16 × 2,8 × 0,83	5,02	
6	4,1 × 2,6 × 0,76	8,10	
7	2,8 × 2,2 × 0,82	5,05	

Tab. 3 Technické specifikace testovacích van

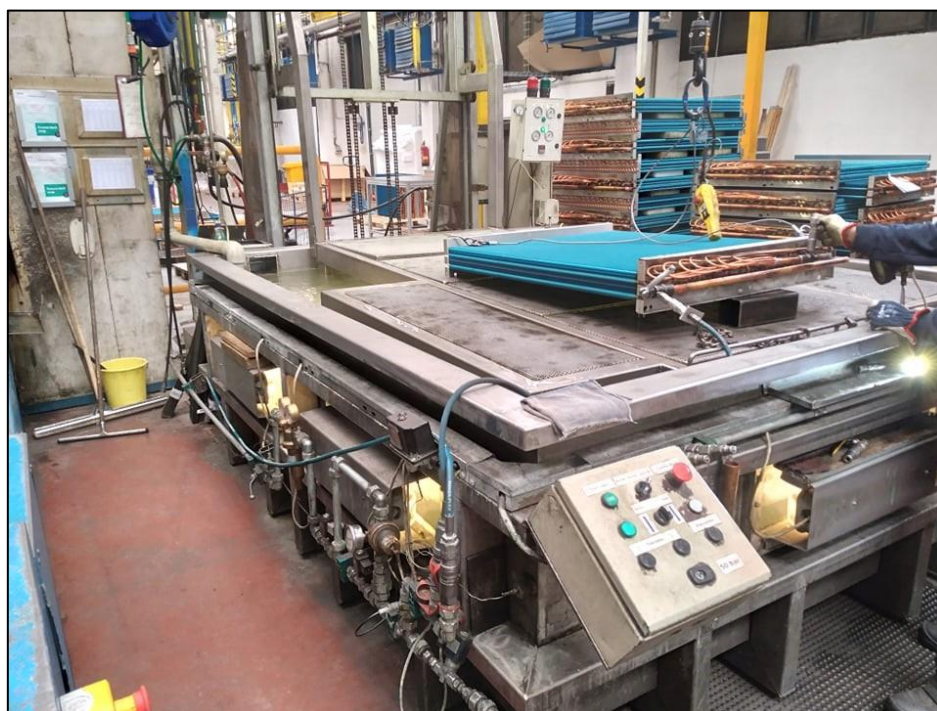
Tepelné výměníky jsou po předchozích výrobních procesech přesunuty blíže k jednotlivým zkušebním vanám. Rozhodnutí o tom, na které vaně se bude daná série tepelných výměníků zkoušet se odvíjí dle aktuální připravenosti zkušební vany k realizaci bublinkové metody. Stav vany se může nacházet totiž v libovolné fázi jejího cyklu. Pracovní cyklus zkušební vany je vysvětlen na Obr. 18 níže, který zobrazuje tento pracovní cyklus pomocí jednoduchého schématu.

Pokud je tedy ve vaně napuštěna voda a její zákal je ještě na přípustné úrovni, je možné zde začít testovat. U menších a středních zkušebních van je možné, aby si pracovník přesunul daný výměník pomocí jeřábu na vertikálně polohovatelný hydraulický „stůl“, na kterém leží i výměník vyobrazený na Obr. 19 níže. Po natlakování vzduchem je zde poté výměník ponořen pomocí vertikálního pohybu tohoto stolu pod vodní hladinu.

Na rozdíl od těchto van, u zkušební vany pro rozměrnější tepelné výměníky se pomocný polohovatelný stůl nenachází, jak lze vidět na Obr. 20 níže, a procesy vyořování a ponořování tepelného výměníku jsou realizovány jen pomocí jeřábu.



Obr. 18 Pracovní fáze zkušební van



Obr. 19 Testovací vana pro testování středních tepelných výměníků o objemu 5 m³



Obr. 20 Testovací vana pro testování větších tepelných výměníků o objemu 17 m³

5.2.2 Sušící pec

Tepelné výměníky jsou po zkoušení těsnosti pomocí bublinkové metody mokré a ulpívají na nich kapky vody. Tyto skutečnosti jsou velice nežádoucí nejen pro balení a následnou expedici, ale také hlavně pro aplikaci povrchových úprav na jejich povrch. Z tohoto důvodu je nedílnou součástí výrobní linky tepelných výměníků také speciální sušící pec spalující zemní plyn.

Tepelný výměník, který projde zkouškou těsnosti je umístěn na pásový dopravník, který lze vidět na Obr. 21. Tento dopravník přesouvá výměník směrem do sušící pece, kterou poté pomalým tempem projede a postupně se z něj vypařuje veškerá vlhkost. Na druhé straně pece jsou připraveni operátoři výroby, kteří tepelný výměník buď přesunou na pracoviště povrchových úprav, anebo ho připraví na balení a následnou expedici.



Obr. 21 Sušící pec s pásovým dopravníkem

Vliv sušící pece na spolehlivost a efektivitu celkového procesu

Provoz plynové pece je i za normálních podmínek velice ekonomicky nákladný, natož pak v dobách napjatých geopolitických vztahů v Evropě, které razantně ovlivňují dostupnost a cenu zemního plynu. Je všeobecně známo, že zemní plyn je odebírán evropskými státy převážně z Ruské federace. Vzhledem k tomu, v jaké situaci se v dnešní době (duben 2022) nacházejí mezinárodní vztahy Evropy s Ruskou federací, je ruský zemní plyn velice nejistým a kontroverzním zdrojem paliva.

Nejen z tohoto důvodu, ale i z důvodu časové a finanční úspory by bylo vhodné zkusit nalézt vylepšení procesu testování těsnosti bublinkovou metodu, která by vedla ke snížení počtu tepelných výměníků, které je nutné sušit v peci. Pokud by byla zavedena přídatná metoda zkoušení těsnosti, která by provedla první selekci toho, zdali výměník obsahuje netěsnosti či nikoliv, mohl by se tak snížit počet výměníků, které je nutné ponořovat do vody ve zkušební vaně a následně je sušit. Tato myšlenka je podrobněji zpracována v kapitole 6.2.1.

Sušící pec má tedy spíše jen okrajově vliv na celkovou spolehlivost procesu testování těsnosti, ale o to větší má poté vliv na čas a náklady v rámci celého procesu výroby tepelných výměníků.

5.2.3 Písková filtrace u testovacích nádrží

Písková filtrace se běžně využívá spíše pro čištění bazénové vody k rekreačním účelům, ale zde byla využita i pro předčištění detekční kapaliny ve zkušebních vanách. Nicméně, dle dosavadních zkušeností nižšího managementu předmětné výrobní společnosti nedošlo k významnějšímu oddálení nutnosti vypustit znečištěnou vodu ve zkušební vaně. Písková filtrace tu tedy hraje momentálně jen vedlejší roli a její další využívání či nahrazení je na budoucím zvážení. Dalším možným zavedením předčišťovacího procesu detekční kapaliny před jejím vypuštěním do ultrafiltračního zařízení je věnována kapitola 6.2.5.

5.2.4 Nádrže na znečištěnou/vyčištěnou vodu

Jak lze vidět na schématu na Obr. 17 v úvodní kapitole 5.2, v procesu se nachází 4 samostatně stojící nádrže s různým stavem detekční kapaliny. V každé nádrži se nachází plovákový hladinoměr, který měří výšku vodní hladiny v dané nádrži. Konkrétně se v procesu

nachází dvě nádrže na znečištěnou detekční kapalinu, jedna určená pro velkou zkušební vanu (17 m^3) a druhá určená pro střední a menší zkušební vany (8 m^3). Ve stejném principu zde figurují i nádrže na permeát – čili kapalinu, která prošla skrz membrány v ultrafiltračním zařízení.

Vliv nádrží na spolehlivost a efektivitu celkového procesu

Kámen úrazu v případě těchto nádrží tkví v jejich objemech. Zatímco bilance pro nádrže k velké zkušební vaně (17 m^3) sedí a nádrže na znečištěnou i vyčištěnou kapalinu disponují tedy stejným objemem jako zkušební vana, v případě nádrží pro zkušební vany na menší a středně velké výměníky tomu tak není a objem nádrží je značně poddimenzován. Této problematice a jejímu možnému řešení se blíže věnuje kapitola 6.2.6. Na Obr. 22 je možné vidět jednu z těchto nádrží a to konkrétně nádrž na permeát (přefiltrovanou vodu).



Obr. 22 Nádrž na permeát z ultrafiltračního zařízení

5.2.5 Čerpadla

Čerpadla jsou jistě v rámci celého procesu nezanedbatelnými strojními zařízeními. V celém procesu jich je přibližně 25. Část čerpadel přísluší k ultrafiltračnímu zařízení a čističce odpadních vod. Další čerpadla se nachází u testovacích van a je jich pochopitelně stejný počet jako testovacích van a tedy 6.

U každé testovací vany se nachází pneumatické čerpadlo s dvojitou membránou. Tato čerpadla jsou určena k vypouštění a napouštění testovacích van. Dopravují tedy buď znečištěnou kapalinu, která putuje do nádrže na znečištěnou vodu, anebo dopravují přefiltrovanou vodu z nádrže na přefiltrovanou vodu. Vzduchem poháněná čerpadla bývají velice nákladná a jejich cena může vystoupat i nad 100 000,- Kč. Nicméně jsou velice vhodná pro práce v náročných podmínkách a k dopravě silně znečištěných médií. Z tohoto důvodu jsou tedy využita i pro dopravu silně zakalených vod z testovacích van. Na Obr. 23 níže je ilustrativní obrázek zmiňovaného pneumatického čerpadla od společnosti *GRACO Husky*. Starší model tohoto čerpadla je využíván právě ve vybrané průmyslové firmě.



Obr. 23 Ilustrativní obrázek pneumatického čerpadla s dvojitou membránou od společnosti GRACO Husky [40]

Jelikož se u všech testovacích van, kromě té největší s objemem 18 m^3 , nachází i systém pískové filtrace, je možné k celkovému počtu čerpadel připočítat také 5 klasických bazénových čerpadel, jejichž cena se pohybuje obvykle v jednotkách tisíců Kč.

Vliv čerpadel na spolehlivost a efektivitu celkového procesu

Pneumatická čerpadla u zkušebních van musí být pravidelně kontrolována a servisována, neboť zajišťují spolehlivou dopravu detekční kapaliny, a tedy napouštění a vypouštění vany. Jejich výkon rozhoduje také o rychlosti proudění této kapaliny, a tudíž přímo ovlivňuje i čas potřebný k napuštění či vypuštění zkušební vany. Výkony čerpadel mají tedy přímý vliv na celkovou efektivitu procesu. Provozní stav čerpadel a jejich kondice poté přímo ovlivňují, jak je proces spolehlivý, neboť při jejich poruše by došlo k znemožnění využití zkušební vany ke zkoušení těsnosti, pokud by voda v ní měla již příliš vysoké zakalení.

5.2.6 Ultrafiltrační membránové zařízení

Ultrafiltrační membránové zařízení, které hraje zásadní roli v rámci procesu testování těsnosti tepelných výměníků, má za úkol zpracovávat znečištěnou průmyslovou vodu z testovacích van. Jakmile tedy dojde v některé z testovacích van k dosažení nepřijatelného zakalení vody pro bublinkovou metodu a operátor není již schopen rozeznat únik bublinek vzduchu, musí tedy vodu vypustit do nádrže na znečištěnou vodu, ze které je pak tato voda čerpána do ultrafiltračního membránového zařízení. Toto zařízení rozdělí vstupní proud průmyslové odpadní vody na proud retentátu a permeátu. Proud permeátu je výsledný přefiltrovaný proud, který je možné opět recyklovat a napustit jím tedy nádrž na vyčištěnou vodu určenou pro testovací vany. Tento proud lze ale také z důvodu servisu či regenerace okruhu vypustit do lokální firemní čističky odpadních vod a poté do kanalizace. Detailnější informace ohledně principu membránových procesů jsou uvedeny v kapitole 3.3. Čistička odpadních vod je věnována poté následující kapitola 5.2.6.

Voda na výstupu ze zařízení nemusí mít pro účely procesu vysokou kvalitu jako například voda pitná či užitková. Důležité jsou zde hlavně kolorimetrické, tedy vizuální vlastnosti, zvláště pak stupeň zakalení (průzračnost) vody, neboť při procesu testování těsnosti výměníků

bublinkovou metodou jde hlavně o to, aby zkušební technik byl schopen dobře rozpoznat místa s netěsnostmi na natlakovaném a do vody ponořeném výměníku.

Části zařízení

Srdcem celého zařízení je recirkulační čerpadlo, které dopravuje znečištěnou kapalinu z pracovní nádrže skrz v sérii řazených válcových membrán, na kterých dochází k oddělení retentátu a permeátu. Součástí zařízení jsou tedy i dvě nádrže, jedna z nich je nádrž pracovní s objemem 1500 l, kam je posílána znečištěná voda z testovacích van a dochází zde také ke koncentrování této vody. Další nádrží je nádrž regenerační, která má objem pouze 80 l a slouží k uskladnění speciální čistící kapaliny k čištění keramických membrán. Pro ovládání a monitoring zařízení slouží elektrický ovládací panel, pneumatické ovládací a škrťací ventily a kontrolní manometr.

Vliv ultrafiltračního zařízení na spolehlivost a efektivitu celkového procesu

Ultrafiltrační zařízení má na spolehlivost a efektivitu procesu zkoušení těsnosti zásadní vliv. Zásadní roli hraje pracovní průtok permeátu ultrafiltračního zařízení, který se pohybuje v mezích od cca. 260-1800 l/h a není možné ho regulovat, neboť jeho aktuální hodnota záleží na stupni znečištění a zanesení keramických membrán uvnitř zařízení. Pro zvýšení výkonu tohoto zařízení je vhodné provádět již zmiňovaný proces regenerace, který vede k vyčištění membrán a ke zvýšení pracovního průtoku.



Obr. 24 Ilustrativní obrázek membránového ultrafiltračního zařízení od společnosti GREEN – TECH M+H, s.r.o. [41]

5.2.7 Průmyslová čistička odpadních vod

Jak již bylo zmíněno, detekční kapalina (voda) z testovacích van je čištěna pomocí ultrafiltračního zařízení. Kapalina může být tedy několikrát recyklována zpět do testovacích van, ale po nějaké době je ale natolik znečištěná, že i po ultrafiltraci se její zákal téměř nesníží a v takovém případě by zkušební technik napustil do testovací vany z nádrže „novou“ vodu, ve které by ale nebylo hned z počátku možné provozovat bublinkovou metodu kontroly těsnosti s dostatečnou spolehlivostí. Této nežádoucí situaci se tedy musí předejít buď pomocí včasné

regenerace ultrafiltračního zařízení, anebo pomocí výměny vody v okruhu. Rozhodnutí o regeneraci a vypuštění vody z okruhu činí školený pracovník na základě pozorování aktuální kvality vody v okruhu a jeho zkušeností. K usnadnění rozhodování o těchto krocích by mohlo být vhodné zavést procentuální měření turbidity (zákalu) vody ve zkušebních vanách. Návrhu týkajícího se této problematiky se věnuje kapitola 6.2.3.

Aby mohla být voda vypuštěna z ultrafiltračního zařízení do obecní kanalizace, musí splňovat dané požadavky na její kvalitu a složení, které určuje obec a hlavně *zákon č. 254/2001 Sb.*, tedy tzv. *Vodní zákon*. Pokud by dané požadavky na vypouštěnou průmyslovou odpadní vodu nebyly splněny, hrozí ze strany státu sankce v podobě tučných pokut. Z tohoto důvodu je jako mezičlánek mezi ultrafiltračním zařízením a obecní kanalizací umístěna průmyslová čistička odpadních vod, která by se měla postarat o dostatečné předčištění průmyslové odpadní vody předtím, než poputuje do obecní kanalizace a následně i do obecní čističky odpadních vod, která bývá většinou mnohem rozsáhlejší a složitější, neboť jejím výstupem může být voda s kvalitou vody užitkové či pitné.

Průmyslová čistička odpadních vod je využívána pro čištění odpadní vody z okruhu ultrafiltračního zařízení pouze druhotně, neboť ve firmě převážně slouží k čištění vody z procesu kontinuálního práškového lakování. Výrobce je toto zařízení konkrétněji specifikováno jako neutralizační stanice pro čištění surové oplachové vody z kontinuální linky práškového lakování. Tato linka slouží k aplikaci povrchových úprav na firmou vyráběné tepelné výměníky a skýtá v sobě řadu podprocesů, jakými jsou například přípravné podprocesy odmašťování a oplachování povrchu tepelných výměníků nebo jejich částí.

Části zařízení

Zařízení tvoří celkem 14 částí. Jedná se konkrétně o sérii různých druhů nádrží, jakými jsou nádrže akumulární, reakční, přečerpávací, zásobní, havarijní a rozpouštěcí. Součástí zařízení je také pískový filtr a kalolis, který je konečným prvkem tohoto zařízení a produkuje konečný výstupní produkt, kterým je odpadní kal. Nezbytnou součástí je také 11 čerpadel. Každé čerpadlo slouží k dopravě jiného druhu média.

Vliv lokální čističky odpadních vod na spolehlivost a efektivitu celkového procesu

Tato část celkového procesu nemá nijak velký vliv na spolehlivost a efektivitu celkového procesu a hraje spíše vedlejší podpůrnou roli, která však v konečném důsledku může mít velký vliv po stránce ekonomické. Pokud by tato technologie nebyla dostatečně udržována a selhala by, mohla by firma nevědomky vypouštět průmyslovou odpadní vodu nesplňující legislativou dané požadavky, což by mohlo vést k nutnosti uhradit vysoké pokuty od místní správy vod a kanalizací.

Hledání nových možností a vylepšení v této okrajové části procesu testování těsnosti tepelných výměníků tedy nenabývá příliš na významu. Velice důležité je zde ale spíše zajištění dostatečné údržby a pravidelného monitoringu funkčnosti jednotlivých částí této technologie.

6 Analýza možností modernizace a vylepšení stávající technologie

Každý průmyslový podnik, který chce zůstat co nejdéle konkurenceschopný a profitabilní, by měl klást důraz na kontinuální zlepšování procesů ve výrobě, managementu a dalších různých odvětví přispívajících k chodu firmy. Jeho zaměstnanci by měli být motivováni ke kreativitě a k invenci nových a lepších řešení a neměli by se bát s jakýmkoliv nápadem přijít za nadřízeným. Leckterý průmyslový podnik si toto uvědomuje, a proto se s nabádáním a motivováním zaměstnanců k vymyšlení nových podnětů setkal téměř každý, kdo někdy někde pracoval.

Hledání nových cest, způsobů a metod, jak nalézt podněty a nápady na zlepšení nějakého průmyslového procesu může probíhat mnoha způsoby. Někdy může vzniknout námět na zlepšovací návrh náhodou při pozorování či provozu průmyslového procesu. Pokud se má ale jednat o hledání systematické, je dobré si vzít ku pomoci některou z již existujících metod pro zlepšování průmyslových procesů. Takové metodologie se nachází i v rámci strategie řízení kvality *Six Sigma*, která je zmíněna v kapitole 1.3.1. Metodologie pro hledání příležitostí na zlepšení v průmyslových procesech, která bude využita v této diplomové práci, se nazývá pomocí zkratky *DMAIC*. Princip této metodologie je zřejmý z jejího využití, které je popsáno v následujících kapitolách 6.1.1 až 6.1.5.

6.1 Popis řešené situace a jejích okolností

Tato diplomová práce se zabývá analyzováním možností zlepšení a modernizace technologie kontroly těsnosti tepelných výměníků v předmětné výrobní společnosti. Navrhované možnosti zlepšení a modernizace si dávají jako hlavní úkol dosažení zvýšení spolehlivosti této technologie. V rámci této technologie existuje spousta faktorů a jednotlivých částí, které mají vliv na její spolehlivost. Synonymem spolehlivosti je také bezporuchovost. Je to tedy vlastnost, která vyjadřuje určitou pravděpodobnost toho, že nastane nežádoucí jev nebo dojde ke vzniku nějakého zmetku. Technologie, které je zde věnován čas, obsahuje jisté části a podprocesy, o jejichž spolehlivosti lze polemizovat. Jak spolehlivý je například operátor kontrolující přítomnost bublinek signalizujících místo úniku, když lidský faktor a jeho spolehlivost může být někdy velice problematickým tématem? Otázkou také může být, jak spolehlivá je zkušební vana, když je rychlost jejího znečišťování velmi vrtkavá a někdy může být vana nepoužitelná už po otestování několika výměníků? Dále je možné se také ptát, jak spolehlivé je ultrafiltrační zařízení, které zažívá proměnlivé zanášení membrán vedoucí k nutnosti regenerovat zařízení, aby dokázalo čistit zkušební kapalinu na přípustný stupeň zátahu? Tyto a další úvahy jsou brány v potaz při hledání možností vylepšení celkové technologie kontroly těsnosti a je o nich psáno v podkapitolách kapitoly 6.2. Je nutno také vzít v potaz myšlenku, že celková spolehlivost technologie je dána spolehlivostí jejích jednotlivých částí či subsystémů.

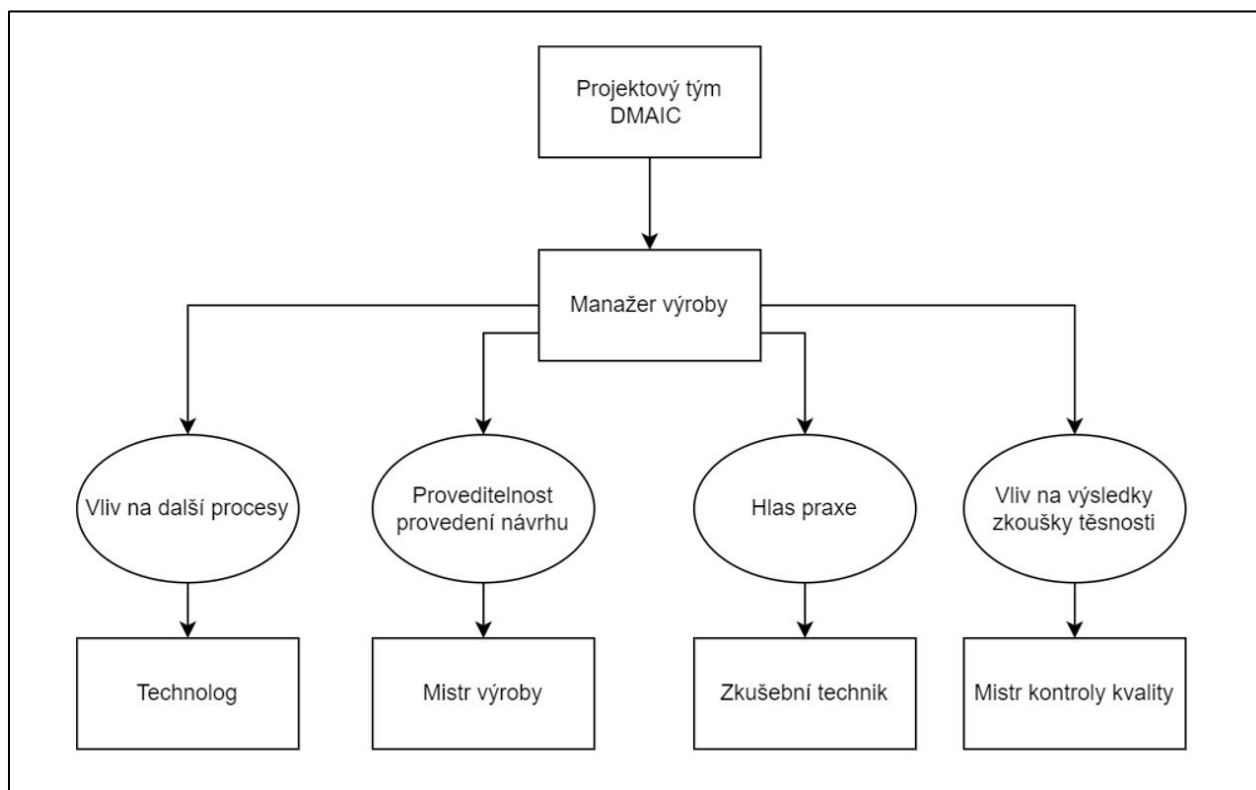
Metodologie *DMAIC*

K získání ucelené představy a k shrnutí základních poznatků o řešené situaci je využito strukturované metodologie *DMAIC*, která je velice důležitou součástí *Six Sigma* zlepšování procesů. Postupy a tipy, jak tuto metodologii využít byly čerpány z [7]. Jedná se o specializovanou příručku *Six Sigma* pro implementaci některých metod v praxi. Metodologie *DMAIC* se dá hojně využít v jakémkoliv měřítku pro systematické řešení libovolného průmyslového problému nebo při vedení zakázkového či zlepšovacího projektu. Označení *DMAIC* v sobě skrývá názvy jednotlivých etap této metodologie. Jedná se o etapy s názvy

Define, Measure, Analyze, Improve, Control. Do češtiny lze tyto etapy přeložit jako slovesa definovat, měřit, analyzovat, zlepšit a řídit. Tyto etapy budou nyní aplikovány na problematiku řešenou v této diplomové práci. Cíle, rady a postupy pro jednotlivé etapy jsou čerpány z [7]. V reálné praxi by tyto etapy byly realizovány prostřednictvím nějakého projektového týmu, ale v této diplomové práci budou tyto etapy hlavně využity pro systematický popis situace a systematické hledání možných zlepšení. Jedná se ale spíše jen o konkrétní nástin toho, jak by mohlo být postupováno v rámci hledání možných zlepšení v procesu testování těsnosti tepelných výměníků, kdyby to byl reálný projekt ve vybrané průmyslové společnosti. Reálně je ale možné v rámci této diplomové práce realizovat fáze Definovat, Měřit a Analyzovat, neboť fáze Zlepšit a Řídit již počítají s implementací nějakého zlepšovacího návrhu či se zavedením pilotního provozu s daným návrhem. Tyto dvě fáze už jsou ale závislé na předmětné výrobní společnosti, neboť ona musí nakonec rozhodnout, jestli se příslušný zlepšovací návrh zrealizuje či nikoliv.

Tedy prvním doporučením je, že by bylo vhodné, aby předmětná výrobní společnost založila v budoucnu vlastní tým pro vedení zlepšovacího projektu a prošla si v rámci technologie kontroly těsnosti všemi fázemi metodologie *DMAIC*, neboť dle zmiňované příručky [7] obvykle trvají jednotlivé fáze i několik týdnů a dosáhne se tak mnohem pečlivějšího a konstruktivnější výsledku, pokud jsou v rámci projektového týmu lidé, kteří přijdou s technologií každý den do styku.

Návrh na složení projektového týmu v rámci předmětné výrobní společnosti by mohl vypadat následovně dle schématu na Obr. 24 níže. V tomto schématu je také přiřazen každému členovi týmu určitý vliv na celkové zhodnocení návrhu a posouzení jeho proveditelnosti.



Obr. 25 Návrh složení projektového týmu pro realizaci zlepšovacích návrhů

6.1.1 Fáze Definovat

Tato úvodní fáze má za úkol utřídit a shrnout základní informace ohledně řešeného projektu. Výstupem z této fáze bývá například projektová listina, mapa procesu či projektové plány, ale pro potřeby diplomové práce bude tato fáze stačit pro již zmíněné utřídění základních informací.

Definování předmětu projektu

Předmětem zlepšovacího projektu, který je vypracováván v rámci této diplomové práce, je hledání možných zlepšení v rámci provozované technologie kontroly těsnosti. Zlepšení jsou zaměřena především na zvýšení spolehlivosti této technologie. Tato diplomová práce je primárně zaměřená na technologii kontroly těsnosti v předmětné výrobní společnosti. Kontrola těsnosti probíhá z větší části právě pomocí bublinkové metody popisované v dřívějších kapitolách. Tato technologie ve firmě v určité formě funguje, ale bohužel zahrnuje mnoho podprocesů a faktorů, které značně snižují spolehlivost celého procesu.

Tyto skutečnosti popisuje následující situace, kdy je nutné vzít v potaz, že testované tepelné výměníky mají různý vliv na znečištění vody ve zkušebních vanách. Některé jsou více či méně znečištěny z předchozích operací například strojním olejem, mastnotou či zbytky po pájení. Navíc v některých časových intervalech se testuje méně a někdy více, a tudíž dochází k proměnné rychlosti znečištění vody ve zkušebních vanách. Při určitém stupni zakalení vody ve vaně již není možné vidět na bublinky vycházející z místa, kde se nachází na výměníku netěsnost. Občas může dojít také k situaci, kdy se voda ve vaně znečistí za velmi krátkou dobu a počet výměníků, který je možné otestovat v dané zkušební vaně je velmi malý. Zkušební technik se v takové situaci musí přesunout k jiné zkušební vaně či podstoupit proces obnovení vody ve zkušební vaně, který zahrnuje vypuštění vody, čištění vany, napuštění čisté vody. V tento moment ale může nastat situace, kdy je nádrž na znečištěnou vodu plná nebo je nádrž na čistou vodu prázdná, neboť se zrovna ultra-filtrační zařízení regeneruje (čištění membrán) nebo nestíhá vodu dostatečně rychle čistit. Pokud jsou ostatní zkušební vany obsazené jinými pracovníky nebo jsou též v nepoužitelném stavu, zbývá v takovém případě pracovníkovi pouze napustit do zkušební vany po jejím vyčištění novou čistou vodu z vodovodní sítě, pokud tedy je kam vypustit znečištěnou vodu, která ve vaně je. Tento krok je sice relativně rychlý, ale velmi neekologický a neekonomický, a navíc naruší celkovou bilanci vody v okruhu.

Faktorů a záležitostí snižujících spolehlivost procesu je tedy vícero. Ke zlepšení spolehlivosti této technologie a k prevenci vzniku problémových situací může vést mnoho zlepšovacích návrhů, zaměřujících se převážně na některé z popisovaných aspektů této situace.

Stanovení cílů a záměrů

Hlavním cílem a výstupem tohoto projektu je získání konečných konkrétních reálných návrhů na zlepšení či modernizaci zmiňované technologie, které by splňovali podmínky kladené technickými okolnostmi a firmou. Cílem je tedy učinit technologii do budoucna spolehlivou a zbavit ji problematických aspektů.

Hlas zákazníka

Dle metodiky je také důležité vzít v potaz, jestli zlepšovací projekt bude mít pozitivní vliv na zákazníky – zde odběratele vyráběných tepelných výměníků. Po krátké úvaze je možné říct, že nepochybně ano, neboť zvýšení spolehlivosti dané technologie by mohlo mít přímý vliv

na snížení počtu zmetkovitých produktů a na zvýšení počtu odhalených netěsností. Technologie by mohla tedy být spolehlivější v odhalování netěsností a předešlo by se tak případným reklamacím ze strany zákazníka.

Hlas podnikání

Co se týče přínosů pro firmu samotnou, tak zvýšení spolehlivosti řešené technologie by mohlo přinést zvýšení zisku, snížení počtu reklamací netěsných výměníků a jako vedlejší produkt navíc ještě úsporu času a práce.

Sběr nápadů a práce s nimi

Sběr dat a podnětů byl prováděn přímo ve vybrané průmyslové společnosti a probíhal formou diskuse a brainstormingu se zaměstnanci této firmy včetně manažerů a některých pracovníků výroby. Všechny návrhy na zlepšení byly navrženy na základě vyřčených dílčích problémů a požadavků nebo návrhy přišli přímo od těchto zaměstnanců. Všechny tyto nápady, problémy a podněty byly zpracovány v rámci afinitního diagramu, který je vhodný k uspořádání nečíselných údajů. Metoda afinitního diagramu proběhla tak, že shluk nápadů a potíží byl rozdělen do příslušných logických skupin a poté byla tato skupina vhodně nazvána. Závěrem tedy vznikly následující 3 okruhy, které ovlivňují spolehlivost v oblasti vodního okruhu, zkušebních van a také okruh související se spolehlivostí samotné bublinkové metody:

A) Spolehlivost vodního okruhu:

- 1) Zvýšení objemů nádrží na znečištěnou a vyčištěnou vodu,
- 2) zvýšení počtu regenerací ultrafiltračního zařízení,
- 3) transformace okruhu vody v celé technologii na průtočný systém,
- 4) přidání usazovacího zařízení do systému čištění vody,
- 5) zdlouhavé vypouštění a napouštění zkušebních van.

B) Spolehlivost zkušební vany:

- 1) Snížení objemu vody ve zkušebních vanách,
- 2) kvantifikace monitoringu zákalu ve zkušebních vanách,
- 3) využití metod pro čištění plaveckých bazénů (přepady, chlorové tablety),
- 4) konstrukční úpravy zkušebních van k lepšímu čištění,
- 5) zavedení operace předčištění/odmaštění tepelných výměníků,
- 6) doplňkové předčišťování vody ve zkušebních vanách,
- 7) zdlouhavé a náročné čištění zkušebních van a odstraňování silné vrstvy usazenin na jejich dnech,
- 8) tepelné výměníky jsou z předchozích operací silně znečištěny strojním olejem.

C) Spolehlivost bublinkové metody:

- 1) Hledání zlepšení v technické normě týkající se bublinkové metody,
- 2) přidání více inspekčních nástrojů, jakými jsou například zrcadla, lupy endoskopy či teleskopy,
- 3) změna detekční kapaliny či použití vody se smáčivým prostředkem,
- 4) zavedení předkontrolního stanoviště kontroly těsnosti jinou nežli bublinkovou metodou – prvotní selekce výměníků bez netěsností,
- 5) částečné nahrazení bublinkové metody pomocí testování těsnosti v héliové komoře,

- 6) částečné nahrazení bublinkové metody pomocí testování těsnosti ultrazvukovým detektorem.

6.1.2 Fáze Měřit

V této fázi je hlavním úkolem určit veličiny a hodnoty, které by mohly dobře popsat záležitosti týkající se projektu a mohly by být zároveň vhodnými metrikami pro porovnání, jaký efekt by měla plánovaná zlepšení na danou technologii. Dále je vhodné naměřit či sesbírat relevantní data, která by ukázala aktuální výkonnost procesu.

Nicméně tato fáze je v rámci této diplomové práce pouze jakýmsi doporučením toho, která data by bylo užitečné v rámci procesu sledovat a měřit, neboť předemtná výrobní společnost zatím neměla potřebu ani zájem v rámci této řešené technologie nějak více sledovat či měřit více druhů dat. Parametry, které jsou v momentální době sledovány jsou průtok ultrafiltračním zařízením, na jehož základě se rozhoduje o nutnosti regenerovat zařízení, a poté ještě objemy v nádržích na znečištěnou a vyčištěnou vodu.

Dalšími parametry procesu, které by mohly být užitečné, kdyby byly měřeny či sledovány, jsou například:

- 1) Počet tepelných výměníků, které je možné otestovat bublinkovou metodou, než se voda ve zkušební vaně stane nezpůsobilou k testování,
- 2) počet netěsností objevených bublinkovou metodou,
- 3) časy testování jednotlivých velikostí tepelných výměníků,
- 4) časy vypouštění a napouštění zkušební vany,
- 5) čas potřebný k vyčištění zkušební vany.

Zavádění výrobních norem a měření času potřebného k realizaci různých operací a procesů je ve firmě aktuálně řešeným tématem, a tak využití různých druhů dat a výrobních časů bude možné ve firmě naplno využívat až s odstupem času od zavedení nějaké formy monitorování těchto dat.

6.1.3 Fáze Analyzovat

Nyní přichází fáze, která má za úkol vyhodnotit aktuální informace, data a nápady týkající se řešeného projektu. Výstupů a kroků je v této části nespočet, ale v rámci diplomové práce bude tato část využita převážně k zúžení získaných nápadů, které by mohly být navrženy a brány jako potenciální řešení, a také k vyhodnocení rizik a podmínek realizace.

Potenciální zlepšovací návrhy

Po shrnutí všech podnětů a nápadů došlo nejdříve k jejich prvotní selekci a úpravě. Po zvážení jejich základní proveditelnosti v rámci předemtné výrobní společnosti, proběhla další schůzka, na níž již byly předběžné návrhy diskutovány přímo ve výrobní lince s manažerem výroby. Došlo tak k dalšímu zúžení seznamu návrhů na zlepšení momentální situace. Tyto návrhy byly pečlivěji prozkoumány a budou hlavním výstupem kapitoly 6. Návrhy vhodné na realizaci obsahuje konkrétně kapitola 6.2.

Rizika a podmínky realizace

Rizika, která obsahují jednotlivé návrhy, jsou probrána v rámci jednotlivých návrhů v rámci kapitoly 6.2. Obecně lze ale konstatovat, že hlavním rizikem je převážně situace, resp.

obava, že po realizaci daného návrhu nebude navrhované vylepšení fungovat, protože narazí na některé nečekané situace, které by mohly vyplynout v rámci běžného provozu a dojde tedy ke ztrátě financí, které byly na tento návrh vynaloženy ve formě investice.

Co se týče podmínek realizace, ty sice byly předběžně předmětnou výrobní společností konzultovány a nastíněny, ale nejedná se o oficiální stanovisko společnosti, neboť ta má aktuálně nové majitele a momentálně není znám rozsah investic, které tak do předmětné výrobní společnosti poputují v letošním či příštím roce. I přesto však byly stanoveny určité neoficiální podmínky pro zlepšovací návrhy, které byla snaha dodržet a zní následovně:

- 1) Investiční strop je 300 000,- Kč, ale ideální by bylo vylepšení pohybující se v desítkách tisíc Kč,
- 2) pokud by měla být přidána nějaká operace či jakákoliv práce navíc některému z pracovníků, kteří se podílejí na procesu kontroly těsnosti, mělo by se to pohybovat v jednotkách minut vztažených na jeden výměník,
- 3) návrh by neměl nějak razantně zasahovat do aktuálních layoutů pracovišť,
- 4) návrh by měl počítat s průměrným počtem zkušebních techniků při testování těsnosti, který činí 3–5 zaměstnanců.

6.1.4 Fáze Zlepšit

Nyní přichází na řadu vytvoření potenciálních návrhů, vytvoření implementačního plánu, zkoušení a zavedení pilotního provozu daného návrhu a diskuse dalších alternativ. Nicméně tyto kroky už jsou dále na zvážení a na odsouhlasení předmětnou výrobní společností, takže jediným výstupem z této fáze je v rámci této diplomové práce pouze vytvoření potenciálních návrhů, které jsou obsaženy v kapitole 6.2. Pokud by se firma rozhodla některé z návrhů využít, přikročilo by se poté k dalším krokům obsahujícím implementační plán návrhu, oslovení dodavatelů a například i monitoringu pilotního provozu daného návrhu. Pokud by měla předmětná výrobní společnost k dispozici data, získaná během fáze Měřit, bylo by možné je srovnat s pozdějším stavem po implementaci příslušného návrhu.

6.1.5 Fáze Řídit

Tato fáze nastává po výběru vhodného návrhu na zlepšení a zahrnuje monitoring zavádění daného zlepšení, vymýšlení dodatečných zlepšení, odlaďování provozu s daným zlepšením a post monitoring vylepšeného procesu. Jedná se tedy o konečnou fázi projektu určenou k dalšímu řízení procesu s implementovaným zlepšením, která ale může trvat i několik měsíců po zavedení daného zlepšovacího návrhu. Po určité době může dojít k srovnání původních a nově sesbíraných dat a může být otevřena diskuse ohledně reálného efektu zlepšovacího návrhu. Jak již bylo zmíněno, reálně tato fáze v rámci diplomové práce neproběhne a je zde tak jen jakousi představou do budoucna, pokud by byl nějaký návrh z této práce realizován.

6.2 Návrhy na zlepšení stávající technologie

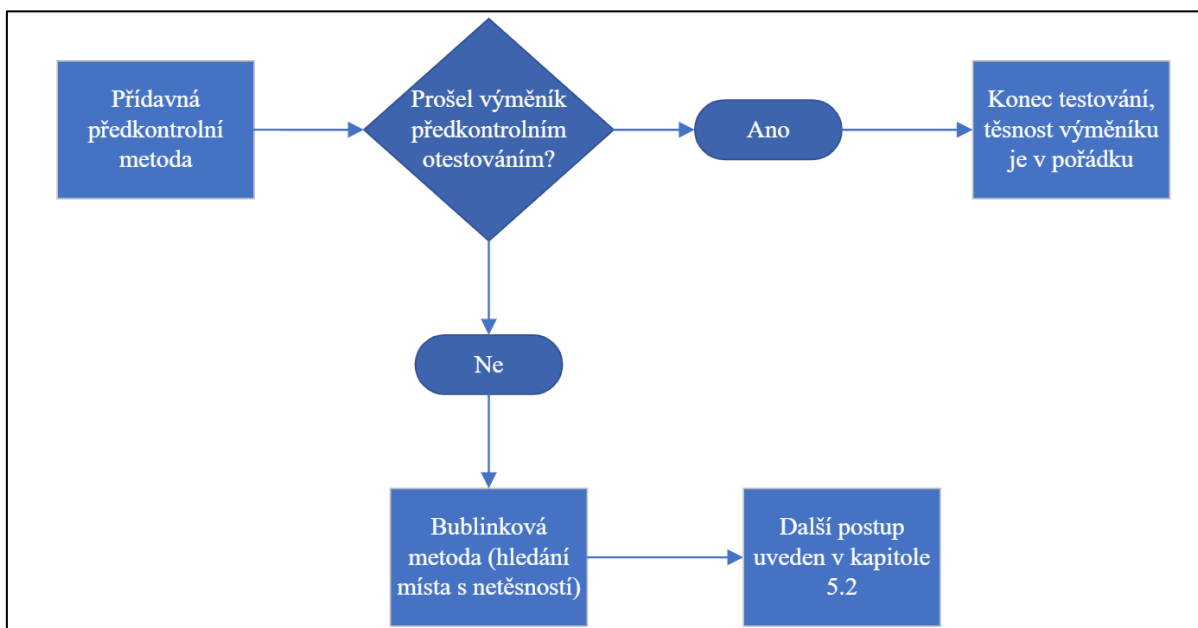
Po aplikaci metodologie *DMAIC* a několika schůzkách v předmětné výrobní společnosti je možné nyní přistoupit ke konkrétním návrhům na zlepšení stávající technologie, které byly zároveň konzultovány s lidmi z předmětné výrobní společnosti. Cílem této diplomové práce není některé z návrhů přímo zrealizovat, ale vytvořit konkrétní seznam reálných zlepšovacích návrhů s odhadem investic na jejich realizaci, do kterých by pak firma mohla přímo

zainvestovat nebo je použit jako jakýsi odrazový můstek a inspiraci k realizaci vlastních komplexnějších zlepšovacích projektů většího rozsahu.

Seznam návrhů není jistě vyčerpávající a nezahrnuje úplně všechny možnosti, ale obsahuje možnosti, které se po diskusích se zainteresovanými pracovníky jevily jako optimální pro předmětnou výrobní společnost.

6.2.1 Zavedení předkontrolní integrální metody kontroly těsnosti

Hlavním cílem pro zavedení předkontrolní metody kontroly těsnosti je určitá prvotní selekce toho, u kterého výměníku je nutné použít bublinkovou metodu a hledat místo s netěsností k přepájení, a který výměník je bez netěsnosti a nemusel by tak zbytečně zanášet detekční kapalinu ve zkušební vaně a následně být sušen v plynové sušící peci. Jde tedy o to, zavést určitou předkontrolní metodu nejlépe v prostoru zkušebních van či na samostatném pracovišti, která by byla schopná nějakým způsobem rozhodnout o existenci netěsnosti na tepelném výměníku, ale už by nebyla schopna tuto netěsnost lokalizovat – takováto metoda kontroly těsnosti se mnohdy označuje jako metoda integrální. K lokalizaci netěsnosti by zde i nadále sloužila bublinková metoda. Princip navrhované předkontrolní metody je znázorněn pomocí rozhodovacího schématu na Obr. 25 níže. Na tomto obrázku je vidět, jak by se celkový proces zjednodušil, pokud by výměník prošel předkontrolním otestováním a nebylo by tak nutné ho testovat pomocí bublinkové metody, jejíž celkový proces a okolnosti blíže ukazuje Obr. 15 z kapitoly 5.2. K tomuto zjednodušení by, podle těchto úvah, došlo právě pokud by bylo zavedeno takovéto předkontrolní pracoviště, které by určilo, zda se ve výměníku vůbec nějaká netěsnost vyskytuje.



Obr. 26 Schematické znázornění principu zavedení předkontrolní metody kontroly těsnosti

K realizaci tohoto návrhu je možné dojít hned několika způsoby, pomocí různých metod kontroly těsnosti. Metody, které jsou pro tento účel vhodné, budou nyní detailněji popsány v následujících odřázkách.

- **Předkontrolní stanoviště s ultrazvukovou metodou**

Prvním způsobem, jakým lze tento návrh provést, by mohlo být pomocí speciálního ultrazvukového detektoru SONOCHEK od firmy Prüftechnik, který je na Obr. 26. Tento detektor využívá faktu, že v místech netěsností, kde dochází k úniku média, vzniká turbulentní proudění unikajícího média, které generuje zvuky spadající do ultrazvukového pásma. Přístroj tak není nijak rušen ruchem z běžného průmyslového provozu. Detektor je dle výrobce primárně určen pro detekování netěsností a úniků v průmyslových potrubních trasách a různých rozvodech vzduchu či nějakého jiného plynu, ale v tomto případě by mohl být využit v rámci sériové výroby tepelných výměníků po tom, co by byly natlakovány na požadovaný zkušební tlak.

Návrh bere v potaz využití pracovního prostoru zkušebních van. Výměník položený na pracovní stůl zkušební vany by se natlakoval vzduchem a poté by proběhla rychlá inspekce výměníku pomocí zařízení SONOCHEK. Pokud by zařízení nedetekovalo žádné úniky, výměník by se poté nemusel dále testovat pomocí bublinkové metody. Pokud by zařízení v tomto duchu fungovalo, bylo by možné jím i částečně či úplně nahradit bublinkovou metodu zkoušení, neboť pomocí tohoto zařízení je možné místa úniku spolehlivě lokalizovat. Bylo by ale potřeba zařízení pilotně ozkoušet, zdali by bylo opravdu schopné takto fungovat a zdali ultrazvuk, který by produkovali netěsnosti na tepelných výměnících, spadl do přístrojem rozeznatelného intervalu. Toto by bylo vhodné detailně prodiskutovat při návštěvě odborníka z firmy, která tyto přístroje pro detekci úniků distribuuje.

Výše investice

Využití ultrazvukového přenosného detektoru Prüftechnik – SONOCHEK bylo telefonicky konzultováno s odborníkem ze společnosti LAMI KAPPA, která tato detekční zařízení distribuuje v rámci ČR. Cena základního balíčku tohoto zařízení SON 6.001 činí cca. 140 – 150.000,00 Kč bez DPH. Základní balíček společně s odborným proškolením k používání zařízení by se odhadem vešel do 200 000,- Kč i s DPH.



Obr. 27 SONOCHEK – Ultrazvukové zařízení pro detekci netěsností (převzato z webových stránek firmy Prüftechnik [42])

- **Předkontrolní stanoviště s metodou měření změny tlaku**

Druhou možností realizace tohoto návrhu je využít ke zřízení předkontrolního stanoviště některou z tlakových metod kontroly těsnosti. Mohlo by být využito takřka jakékoliv metody popisované v kapitole 2.3.4.

Stěžejním bodem v těchto metodách je vhodný výběr zkušebního přístroje. Dle normy ČSN EN 13184:2001, by měla být citlivost zkušebního přístroje alespoň pětikrát až desítkrát vyšší, než je předpokládaný tlak. K realizaci může být použit absolutní či diferenciální tlakoměr.

Nejjednodušší formou je zkouška poklesem tlaku, jejíž princip tkví pouze v natlakování tepelného výměníku na určitý tlak, následném odpojení zdroje tlaku a měření poklesu tohoto tlaku za určitý čas. Pokud je změna tlaku po určitém časovém úseku zanedbatelná, je možné výměník pokládat za dostatečně těsný. Detailnější popis provedení této zkoušky těsnosti je možné nalézt v již zmiňované technické normě ČSN EN 13184:2001.

Výše investice

Tato varianta by byla zřejmě nejjednodušší a nejlevnější na realizaci. Místem realizace by mohl být přímo vertikální polohovatelný pracovní stůl umístěný v prostoru zkušebních van. Zavedení zkoušky poklesem tlaku by si žádalo investici téměř jen do absolutních tlakoměrů, které by se pro tyto účely pohybovali maximálně v jednotkách tisících Kč.

Kromě přímé finanční investice musí však firma počítat také s časovou investicí na provedení testovacího stanoviště a na zaškolení zkušebních techniků. Dá se tedy dojít k závěru, že celková investice k implementaci této metody na jednu zkušební vanu by se odhadem mohla vejít do 20 000,- Kč.

- **Vakuová heliová komora pro testování menších tepelných výměníků**

Princip této metody, která by mohla být užitečná pro částečné vyselektování alespoň menších tepelných výměníků, je blíže vysvětlen v kapitole 2.3.3. Myšlenka využití této metody je stejná jako ta, která je popisována na začátku této kapitoly, s tím rozdílem, že by mohla být využita především pro tepelné výměníky s menšími rozměry. Předmětná výrobní společnost totiž vyrábí tepelné výměníky, jejichž rozměry se pohybují v desítkách centimetrů, ale také výměníky s rozměry v jednotkách metrů. Jelikož je nutné v rámci této metody celý testovaný objekt umístit do speciální testovací komory, ve které je poté vytvořeno vakuum, je nutné se zamyslet nad tím, jaké rozměry komory zvolit, neboť samozřejmě s velikostí vakuové heliové komory roste i výše investice i čas, který je potřeba k vytvoření vakua.

Výše investice

Tento investiční návrh je poněkud složitější a vyžaduje poptávku u firmy, která se přímo specializuje na realizaci či distribuci podobných zkušebních komor. Bylo tedy nutné požadavky na tuto technologii a rozměry vakuové komory diskutovat s takovou firmou detailně, pro získání bližší představy o ceně. Potenciálním dodavatelem této technologie by mohla být mezinárodní společnost *MARPOSS s.r.o.*, která má jednu ze svých poboček i v Praze.

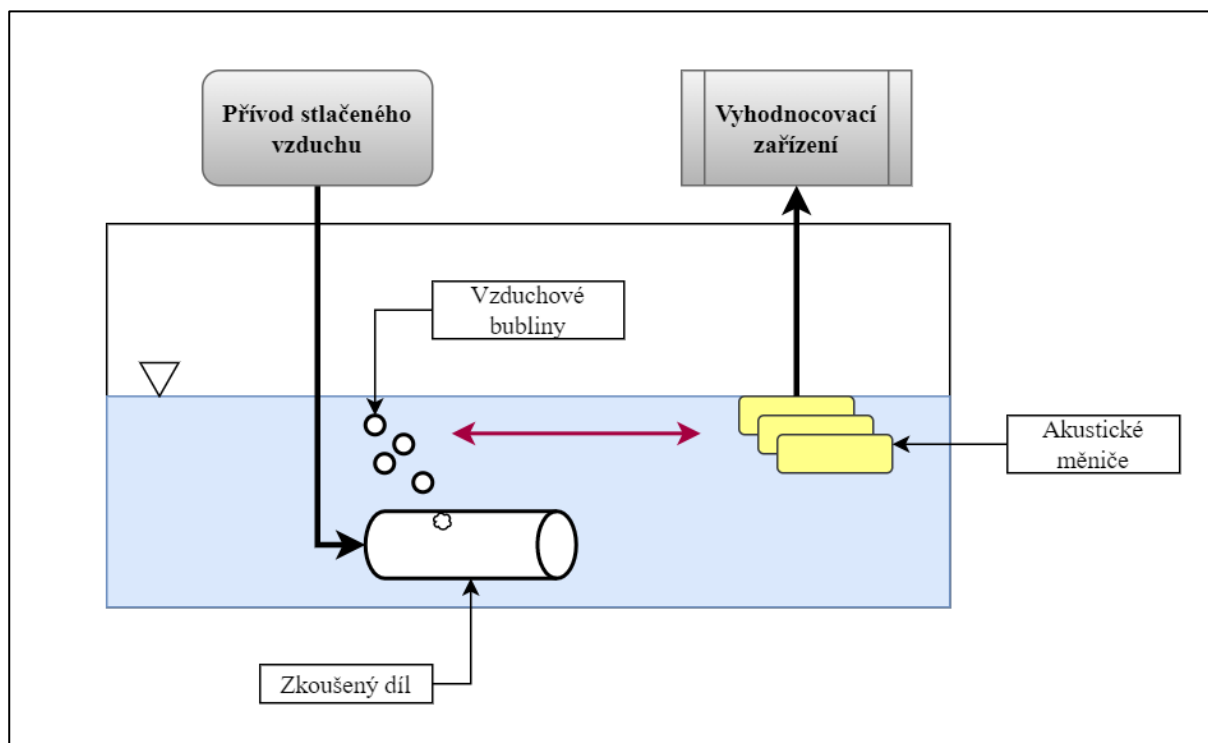
Konečná výše investice by zahrnovala cenu samotné hermeticky uzavřené komory, systému pro vytvoření vakua, měřicího a vyhodnocovacího softwaru a cenu za dodání a proškolení obsluhy. Odhadem lze tedy říct, že se konečná cena bude jistě pohybovat minimálně v jednotkách statisíců Kč.

6.2.2 Ultrazvuková nadstavba k bublinkové metodě

Tento zlepšovací návrh může mít největší potenciál ke zvýšení spolehlivosti bublinkové metody kontroly těsnosti. Společnost *SONOTEC s.r.o.*, která se zabývá distribucí různých měřicích zařízení a návrhy měřicích systémů, prezentovala v časopise *Automa* v roce 2006

speciální nadstavbu přímo pro zkoušení těsnosti pomocí bublinkové metody ve zkušebních vanách. Tato nadstavba zvyšuje spolehlivost bublinkové metody tím, že téměř úplně vyřazuje vliv lidského faktoru na výsledek testování, a navíc ještě je nezávislá na stupni zakalení vody ve zkušební vaně.

Princip této nadstavby tkví v instalaci zařízení s prodejním názvem *Bubbleson*, jehož součástí jsou ultrazvukové měniče a vyhodnocovací zařízení, jak lze vidět na Obr. 27. Ultrazvukové měniče jsou schopny detekovat i bubliny nepatrných velikostí a při překrytí dosahu jednotlivých měničů je možné metodu využít nejen jako metodu integrální, ale také jako metodu lokalizační.



Obr. 28 Bublinková metoda ve spojení s ultrazvukem (převzato a upraveno z [43])

Výše investice

Jelikož firma *SONOTEC s.r.o.* prezentovala tuto technologii už v roce 2006, bylo by prvním nutným krokem zjistit, zdali firma tuto technologii ještě nabízí. Pokud ano, bylo by pak možné tuto technologii popsat a pokusit se ji realizovat třeba nejprve jako pilotní projekt na jednu zkušební vanu a pokud by se osvědčila, bylo by možné ji zavést i na ostatní zkušební vany. V popisu metody společnost uvádí, že je zařízení „cenově efektivní“, ale je těžké blíže čísla definovat, co toto označení v roce 2006 mohlo znamenat. Stanovení výše investice do této nadstavby k bublinkové metodě na jednu zkušební vanu je tedy nutné detailněji konzultovat se zmíněnou firmou.

6.2.3 Monitorování zákalu vody ve zkušebních vanách

Pokud by bylo možné velikost znečištění v jednotlivých zkušebních vanách nějak kvantifikovat a vyjádřit ho například poté procentuálně, měli by vedoucí pracovníci na

pracovišti větší přehled o aktuálním stavu znečištění van a mohli by toho využít pro efektivnější rozhodování o tom, na jaké zkušební vaně se bude daná sada tepelných výměníků zkoušet. Problémem je zde ale skutečnost, že nepřijatelný stupeň zakalení vody ve zkušební vaně je individuální pro jednotlivé zkušební techniky, tudíž stanovení přijatelného intervalu turbidity pro zkoušení těsnosti by mohlo narazit na stížnosti ze strany zkušebních techniků.

Hlavní myšlenkou tohoto zlepšovacího návrhu tedy je nepřetržité měření turbidity ve zkušebních vanách, které by bylo převáděno na procentuální velikost znečištění zkušební vany a tato hodnota by byla poté vyobrazena na displeji u příslušné zkušební vany. Problémové však může být již zmiňované vymezení převodního intervalu a stanovení, jaká hodnota turbidity v jednotkách NTU by odpovídala nule procent a jaká hodnota turbidity by byla kritická a odpovídala by stoprocentnímu znečištění vody ve zkušební vaně a nemožnost dalšího zkoušení.

Výše investice

Realizace tohoto návrhu bude vyžadovat značnou finanční i časovou investici, a navíc také náklady na údržbu a kalibraci senzorů turbidity. Samotné senzory turbidity pro online měření v reálném čase se pohybují u dodavatelů těchto senzorů *Mettler - Toledo, s.r.o.* či *HACH LANGE s.r.o.* v rozmezí od 60 000,- do 100 000,- Kč za kus [44][45].

Cenu za návrh a realizaci schématu zapojení těchto senzorů s následnou komunikací s informačním displejem je nutné také vzít v potaz. Pokud by tedy byl tento zlepšovací návrh zrealizován na všech zkušebních vanách, tak výše investice by se jistě blížila k hranici jednoho milionu Kč a možná by i tuto hodnotu překročila.

6.2.4 Zavedení operace předčištění/odmaštění tepelných výměníků

Z důvodu snížení rychlosti znečišťování vody ve zkušebních vanách, by bylo vhodné zavést určitou přípravnou operaci předčištění či odmaštění vyráběných tepelných výměníků. K těmto úkonům nabádá i norma *ČSN EN 1593*, která se právě touto metodou zabývá a specifikuje podmínky pro její realizaci. Testovaná součást by se tedy měla důkladně očistit od mastnoty, rzi či strusky po svařování či pájení, a to nejen kvůli snížení rychlosti znečišťování vody ve zkušebních vanách, ale také kvůli skutečnosti, že takovéto nečistoty mohou přispět ke vzniku bublin, které nemusejí indikovat netěsnost a jsou pouze falešnou indikací.

Výše investice

Nacenit realizaci tohoto zlepšovacího návrhu není jednoduché, ale po krátké úvaze lze konstatovat, že pracovní čas vynaložený navíc k čištění či odmaštění jednoho tepelného výměníku, by mohl být přebit časovou úsporou v podobě snížení rychlosti znečišťování vody ve zkušební vaně, a tedy zvýšení počtu otestovaných tepelných výměníků před tím, než dojde k dovršení nepřijatelné úrovně znečištění vody ve zkušební vaně.

Otázkou ale je, zdali lze v okolí zkušebních van zajistit dostatek místa k realizaci tohoto pracoviště pro hrubé předčištění tepelných výměníků a zdali by bylo možné tuto operaci provádět pouze na nějaké podpůrné konstrukci či na nějakém pracovním stole. Nachází se zde tedy mnoho faktorů, které mohou ovlivnit výši investice a její návratnost. Nejlepším možným řešením tak může být bylo pokusit se v předmětné výrobní společnosti zavést pilotní realizaci tohoto návrhu na jedné vybrané zkušební vaně a vyzkoušet, zdali zavedení této přípravné operace opravdu bude mít významný vliv na rychlost znečišťování vody ve zkušebních vanách a na zvýšení počtu otestovaných výměníků.

6.2.5 Průběžné odstraňování olejových skvrn z vodní hladiny

Jelikož jsou tepelné výměníky z předchozích operací značně znečištěny strojním olejem, který se, jak známo, drží na vodní hladině, neboť má menší hustotu než voda, jeví se užitečné zmapovat dostupné metody pro odstraňování takovýchto olejových skvrn z vodní hladiny zkušebních van.

Motivací pro využití některých z předčišťovacích metod pro odstranění strojního oleje z vodní hladiny je skutečnost, že pokud by se prodloužila doba, po kterou by bylo možné využívat detekční kapalinu ve zkušební vaně k bublinkové metodě, zvýšil by se i počet tepelných výměníků, které by bylo možné otestovat před tím, než to znemožní zvýšený vodní zákal. Postupným odstraňováním strojního oleje z vodní hladiny by se tedy mohla prodloužit doba zkoušení těsnosti bublinkovou metodou a rychlost znečištění vody by závisela na ostatních zakalujících částicích a nečistotách.

Cíle návrhu:

- Zvýšení počtu výměníků, které lze otestovat v testovací vaně – oddálení stavu s nedostatečnou průzračností vody, při které již není vidět na unikající vzduchové bubliny,
- snížení denního počtu vypouštění/napouštění a čištění testovacích van,
- zvýšení účinnosti ultra-filtračního zařízení díky sníženému obsahu oleje ve vodě – membrány ultra-filtračního zařízení by se pomaleji znečišťovaly a zanášely, což by vedlo k delšímu udržení většího průtoku zařízením, a tedy k oddálení nutnosti regenerace.

Hydrofobní sorpční rohože

Hydrofobní sorpční rohože jsou vysoce savé sorpční prostředky na všechny druhy strojních olejů. Jsou voděodolné a plavou na vodní hladině i ve stavu plného nasycení olejem. Díky přílnavému účinku mezi povrchem vlákna a kapalinou je možné je z vodní hladiny libovolně přemístit, aniž by došlo k výraznému vykapávání oleje ze sorpční rohože.



Obr. 29 Hydrofobní sorpční rohože (převzato z webových stránek společnosti DENIOS [46])

Postup využití:

- 1) Umístění sorpční rohože na vodní hladinu,
- 2) sycení sorpční rohože olejem,
- 3) odebrání rohože (pomocí nitrilových rukavic) či nějakým nástrojem

- 4) umístění nasycené rohože do nádoby na nebezpečný odpad v okolí vany.

Výše investice:

Jedno balení 100 ks hydrofobních sorpčních rohoží o velikosti 40×50 cm vychází na 2 178,- Kč s DPH. Jednalo by se ale o měsíční pravidelné výdaje dle toho, kolik rohoží by se za nějaký časový úsek využilo, pokud by jejich použití mělo smysl a předemtná výrobní společnost se rozhodla je používat. Sortiment a ceny sorpčních rohoží byly vyhledávány z webových stránek společnosti *Denios* [46].

Hydrofobní sorpční kostky

Hydrofobní sorpční kostky jsou vysoce savé sorpční prostředky na oleje typu I a II SF. Jsou vodě-odolné a plavou na vodní hladině i ve stavu plného nasycení olejem.



Obr. 30 Hydrofobní sorpční kostky (převzato z webových stránek společnosti *DENIOS* [46])

Sorpční kostky *DENSORB* [46] by mohly být využity buď jednorázově k zachycení oleje na vodní hladině, anebo by mohli být ponechány v testovací vaně i během testování a kontinuálně by tedy mohli odstraňovat olej z vodní hladiny. Při velkém či úplném nasycení by se sorpční kostka vyměnila za novou.

Výše investice:

Jedno balení 10 kg hydrofobních sorpčních kostek vychází na 2 359,50 Kč s DPH. Jednalo by se ale o měsíční pravidelné výdaje dle toho, kolik sorpčních kostek by se za nějaký časový úsek využilo, pokud by jejich použití mělo smysl a předemtná výrobní společnost se rozhodla je používat. Pokud by bylo potřeba, bylo by možné zainvestovat do nějakého nástroje, který by se prakticky skládal jen z malé klíčky na konci dlouhé tyče. Do malé klíčky by byly vloženy sorpční kostky a operátor by s tímto nástrojem „posbíral“ olej z vodní hladiny. Výroba takového nástroje by se jistě pohybovala maximálně v tisících Kč. Sortiment a ceny byly vyhledávány z webových stránek společnosti *Denios* [46].

6.2.6 Zvýšení objemu detekční kapaliny v okruhu

Jednou ze skutečností, která vnáší do chodu technologie jistou míru nespolehlivosti je skutečnost, že základní objemová bilance středních a menších zkušebních van a jejich příslušných nádrží na znečištěnou a přefiltrovanou vodu poněkud nesedí a je poddimenzována. Jak lze vidět v tab. č. 3 v kapitole 5.2.1, celkový objem zkušebních van číslo 2,3,4 a 6 je zaokrouhleně 20 m^3 . K těmto zkušebním vanám přísluší nádrž na znečištěnou vodu a nádrž na vodu přefiltrovanou. Obě nádrže mají ale objem pouze 8 m^3 , takže v případě, že by došlo ke kritické situaci, kdy by bylo potřeba vypouštět všechny vany najednou nebo jen zkušební vanu číslo 5 (neboť má objem 8 m^3), kapacita nádrže na znečištěnou vodu by nestačila a mohlo by tak dojít k neproduktivním časovým prostojeům.

Taková situace v předmětné výrobní společnosti občas nastává, a proto vyvstává otázka, zda by nebylo vhodné navýšit kapacitu těchto nádrží, aby zde byla určitá rezerva odpovídající alespoň sumě objemů zkušebních van. Tato rezerva by mohla zamezit situaci, ve které je nutné vypouštět znečištěnou vodu ze zkušební vany, ale nádrž na znečištěnou vodu je plná, a zároveň předejít situaci, kdy je nádrž na přefiltrovanou vodu prázdná a není možné doplnit novou vodu do zkušební vany.

Výše investice

Investice do větších nádrží by nezahrnovala pouze částku za nádrže samotné, ale také sumu za plovákové senzory vodních hladin a za připojení k ultrafiltračnímu zařízení, neboť stav hladiny v obou nádržích je důležitý pro chod tohoto zařízení. Ultrafiltrační zařízení si totiž musí samo kontrolovat, zdali je ještě nějaký volný objem v nádrži na přefiltrovanou vodu, a naopak jeho chod je sepnut jen pokud je hladina v nádrži na znečištěnou vodu na určité minimální úrovni, na které je výhodné zařízení uvést do chodu. Dále by bylo vhodné tuto změnu konzultovat s firmou, která ultrafiltrační zařízení dodala a nainstalovala, neboť by bylo dobré se ujistit, zdali by se nevyskytli nějaké nevyžádané technologické obtíže při změně objemu obou nádrží.

Nejdražší možnou variantou by bylo poptání nádrží na míru, každou o objemu 20 m^3 a vyměnit je za stávající nádrže o objemu 8 m^3 . Takové nádrže by firma mohla poptat u firmy, která ji dodala nádrže o objemu 17 m^3 ke zkušební vaně č.1. Další variantou by mohlo být zanechání aktuálních nádrží o objemu 8 m^3 a dodat k nim pomocné nádrže, které by navýšili kapacitu o 12 m^3 . V takovémto případě by možná ani nebyla nutná instalace dalších plovákových senzorů vodní hladiny a ultrafiltrační zařízení by se i nadále řídilo dle hladin stávajících nádrží.

Pro stanovení přesnější ceny je nutné nádrže poptat a blíže specifikovat dané výrobní firmě, aby bylo možné je přesněji nacenit, ale někteří výrobci uvádějí alespoň orientační cenové rozmezí. Výrobci plastových samonosných nádrží uvádějí přesné ceny přímo v prodejních katalozích a ty se pohybují okolo 30 000 – 50 000,- Kč s DPH za objem 10 m^3 .

S odhadem cen za ocelové a nerezové nádrže je to poněkud složitější vzhledem k aktuální situaci na trhu s materiály, kdy dochází k poměrně velkým fluktuacím jejich cen. Za základní jednoduché nádrže okolo 10 m^3 , jakou je například nádrž na Obr. 30, lze u ocelových nádrží z uhlíkové oceli třídy 11 počítat s rozmezím okolo 180 000 – 300 000,- Kč a za ty nerezové se cena pohybuje i okolo půl milionu Kč a více. Ceny byly hrubě odhadnuty na základě přibližné váhy materiálu takovýchto nádrží a s navýšením o 50% za práci a marži.

Co se týče plovákových senzorů vodní hladiny, pokud by byly potřeba, jejich ceny se pohybují v tisících Kč za kus. Kvalitnější magnetický plovákový hladinoměr vychází například okolo 8 000,- Kč [47].



Obr. 31 Ilustrativní obrázek nádrže na vodu (převzato z webových stránek společnosti Rolf [48])

6.2.7 Zvýšení počtu regenerací filtračního zařízení

Průtok membránovým ultrafiltračním zařízením se snižuje v závislosti na znečištění membrán. Po nějaké době musí proběhnout tzv. regenerace, která pročistí membrány a celkově i celé zařízení pomocí speciální emulze tak, aby zařízení zase bylo schopné pracovat s efektivní hodnotou průtoku v rozsahu, který výrobce uvádí v technické dokumentaci k zařízení. Dříve probíhala regenerace jednou denně a účinnost zařízení byla relativně nízká, kvůli nízkému průtoku znečištěné vody. Od doby, kdy je proces více monitorován, se přistoupilo k zavedení dvou regenerací za den, což vedlo ke zvýšení průměrného denního průtoku ultrafiltračním zařízením, a tudíž také ke zvýšení jeho účinnosti.

Výše investice

Tento návrh souvisí pouze se změnou provozu ultrafiltračního membránového zařízení, takže znamená pro předmětnou výrobní společnost zanedbatelnou finanční zátěž a pouze určitou časovou investici, která se ale ve výsledku projevila časovou úsporou v podobě zefektivnění chodu ultrafiltračního zařízení.

6.2.8 Doplnkové potenciální oblasti zlepšení vycházející z normy ČSN EN 1593

Tato norma se blíže zabývá bublinkovou metodou zkoušení těsnosti a nabízí vesměs pouze základní informace ohledně této metody a také základní popis, jakým způsobem ji lze zrealizovat. Je tedy možné z ní vyčíst pouze jakési základní tipy a rady pro realizaci této metody, které ale vyžadují vlastní detailnější prozkoumání od provozovatele bublinkové metody. Oblasti, které mají potenciál k tomu, aby byly předmětnou výrobní společností blíže prozkoumány, zda obsahují možnosti ke zlepšení procesu zkoušení těsnosti bublinkovou metodou jsou následující:

- 1) Stabilizační doba – čím menší netěsnost, tím delší čas je potřeba k její spolehlivé detekci,
- 2) použití inspekčních nástrojů (např. přídavné svítilny, lupy, zrcadla, endoskopy či teleskopy)
- 3) nutnost důkladného očištění zkoušené součásti pro zamezení falešných detekcí netěsností,
- 4) volba detekční kapaliny – je možné využít například vodu se smáčivým prostředkem, ethylenglykol či minerální olej s nízkou viskozitou,
- 5) odborné školení zkušebních techniků v rámci nedestruktivních testovacích metod.

7 Kritické zhodnocení stávající technologie a možnosti jejího nahrazení

Myšlenka úplného nahrazení bublinkové metody jako hlavní metody kontroly těsnosti v předmětné výrobní společnosti je sice (dle zjištěných poznatků uvedených v následující kapitole 7.1) na místě, ale je nutno dodat, že její investiční a časová náročnost by byla enormní. Jak již bylo výše v této práci zmíněno, bublinková metoda je sama o sobě velice jednoduchá a relativně spolehlivá, ale při její realizaci v rámci rozsáhlejší či sériové výroby se stane dramaticky velmi složitou a energeticky náročnou metodou.

Jak je zřejmé z výše uvedené kapitoly 5, doplňkové technologie, nezbytné pro provoz bublinkové metody, obsahují energeticky náročné procesy jako je sušení, ultrafiltrace, čištění odpadní vody v rámci neutralizační stanice či dopravu tekutin. Celková technologie se všemi jejími částmi se kvůli tomu rozprostírá odhadem na ploše větší jak 300 m^2 .

Zavedení úplně nové metody kontroly těsnosti, která by nahradila tu stávající, by tedy vyžadovalo i pracné odstranění všech prvků původní technologie, která se rozprostírá na ploše o výše zmíněné velikosti. Nehledě k tomu, že do některých technologií, jakou je například ultrafiltrační zařízení, bylo relativně nedávno předmětnou výrobní společností zainvestováno. Nová technologie by musela být navíc dodána dodavatelskou firmou na míru tak, aby splňovala nároky na místo či testovací vytížení a musela by se také nějak popasovat s velkou rozměrovou variabilitou vyráběných tepelných výměníků, která se pohybuje od rozměrů v desítkách centimetrů po výměníky s rozměry v jednotkách metrů.

Nicméně nahrazení stávající technologie od jejích základů jakoukoliv z metod uvedených v kapitole 2.3 by momentálně nedávalo smysl z výše uvedených důvodů, které vedou k závěru, že by se předmětné výrobní společnosti vyplatilo přikročit k takovému kroku někdy v budoucnu, až se její výrobní kapacity značně rozšíří nebo až hodnota lidská práce stoupne výrazně na ceně. V takovýto moment by mohla hrát největší roli metoda kontroly těsnosti, která bude nejspíše automatizovatelná a za nejpříjemnější výši investice.

7.1 Výhody a nevýhody bublinkové metody

V rámci zhodnocení stávající technologie je důležité uvést její slabá a silná místa, a proto se tato kapitola zaměřuje na výhody a nevýhody bublinkové metody, které jsou vztaženy na provozní podmínky předmětné výrobní společnosti.

Výhody:

- 1) Jednoduchý a intuitivní princip,
- 2) jednoduchý postup realizace,
- 3) nízká cena zkušebního plynu a detekční kapaliny (vzduch/voda),
- 4) metoda je ve firmě zažitá, plně implementovaná a zkušební technici ji dobře znají.

Nevýhody:

- 1) Stabilizační doba – odhadem $20 \text{ s} - 2 \text{ min}$ dle velikosti výměníku,
- 2) závislost na způsobilosti, postřehu a kvalitě zraku pracovníka – unavené oči a špatné světelné podmínky mohou vést k přehlednutí netěsnosti,
- 3) čím menší netěsnost, tím menší vznikají bublinky a jsou tudíž obtížněji detekovatelné lidským okem a je snadné je přehlédnout,
- 4) zkoušené výměníky jsou povětšinou znečištěné z předchozích operací a přenášejí toto znečištění i do detekční kapaliny, která se pomalu zakaluje, a s rostoucím zákalem

- může být poté obtížné rozhodnout o existenci či o místu netěsnosti – následná výměna či čištění této kapaliny zvyšuje časovou, ekonomickou a energetickou náročnost metody,
- 5) kontaminace součástky detekční kapalinou,
 - 6) ke snížení rychlosti znečišťování kapaliny je nutno zavést přípravnou operaci, při které se zkoušená součást nejdříve odmastí a zbaví nečistot – kromě časové náročnosti dochází tedy i k růstu nákladů,
 - 7) tato metoda může být pro zkušebního technika velmi diskomfortní, protože se při ní může lehce zamazat či zamáčet od detekční kapaliny – diskomfort se zvyšuje v případě, že ten samý pracovník musí objevenou netěsnost i zapájet,
 - 8) před expedicí, balením či aplikací povrchových úprav součásti je nutné ji po zkoušení očistit a vysušit,
 - 9) vysoké nároky na prostor pro celou technologii (ve firmě více jak 300 m²),
 - 10) náklady na údržbu čistících a sušících zařízení, čerpadel a čističky odpadních vod,
 - 11) nutnost ponoření celého objemu součásti vede k závislosti velikosti součásti na objemu zkušební vany.

Mimo výše uvedené řady nevýhod, je zde ještě nevýhoda spojená s frekvencí výměny detekční kapaliny. Pokud je frekvence výměny detekční kapaliny kvůli jejímu znečištění vyšší, pojí se to s růstem nákladů i případě, že detekční kapalinou je voda a bere se v potaz její cena za metr kubický. Pokud je možnost detekční kapalinu recyklovat v nějakém čistícím zařízení, nemuselo by být snížení nákladů zaručené, neboť k vyčištění vody je zapotřebí citlivější technologie, která je schopná odstranit zákal dané kapaliny. Pro tyto účely se používají membránová mikrofiltrační či ultrafiltrační zařízení, jejichž provoz bývá ale energeticky náročný. Cenu zvyšují poté další důležité součásti, které k takovému membránovému filtračnímu zařízení musí být přidruženy jako různé pomocné nádrže či potrubní trasy. Z ekonomického hlediska by proto bylo na místě tedy blíže zhodnotit, která možnost se více vyplatí a zda nedojde pouze k přesunutí nákladů do jiné oblasti. Nicméně z hlediska ekologického je myšlenka recyklace vody ve zkušebních vanách mnohem přijatelnější.

8 Diskuse poznatků ke zvyšování spolehlivosti provozované technologie

Analýza technologie testování těsnosti tepelných výměníků realizovaná v rámci reálného provozu předmětné výrobní společnosti poukázala na slabá místa a části technologie, které mají negativní vliv na spolehlivost celého procesu. O těchto oblastech byly vedeny diskuse a konzultace návrhů na jejich zlepšení, které jsou i hlavním výstupem z této diplomové práce.

Avšak i tak může dojít k situaci, kdy teoretický návrh může kolidovat s reálnou provozovanou praxí, která je mnohdy mnohem složitější a obsahuje mnohem více hlavních a vedlejších problémů, které v konečném důsledku dokáží vyřadit teoretický zlepšovací návrh ze hry.

I přes sérii schůzek a konzultací realizovaných při vypracovávání této diplomové práce samozřejmě může dojít k situaci, kdy navrhované zlepšení nevzalo v potaz všechny faktory a omezení, které operace zkoušení těsnosti může skrývat. Plnohodnotný zlepšovací návrh zahrnující všechna omezení a všechny související problémy může přijít pouze z iniciativy člověka, který s danou technologií přijde každý den do styku a dokonale zná celý reálný průběh daného procesu a jeho nástrahy a úskalí. V tomto případě by mohli v rámci této výrobní společnosti „přinést nejzralejší ovoce“ nápady, podněty a návrhy přímo od zkušebních techniků, mistrů či přímo od manažera výroby, neboť tito lidé mohou vidět a soudit skutečný stav technologií v rámci delšího časového úseku.

Samotné zlepšení spolehlivosti procesu nemusí vyjít vždy až z obsáhlého a nákladného zlepšovacího návrhu, ale také samozřejmě z menších postupných vylepšení, která by celkový proces mohla postupnými kroky stále více a více vyladřovat. Celková spolehlivost procesu se totiž skládá ze spolehlivosti jeho jednotlivých podprocesů a pokud v těchto podprocesech existují faktory, které mají vliv na spolehlivé nalezení netěsnosti, spolehlivý a kontinuální chod zkoušení či na spolehlivé určení doby trvání zkoušení, tak je nutné takovýmto podprocesům věnovat větší míru pozornosti.

Návrhy prezentované v této diplomové práci po diskusích s pracovníky předmětné výrobní společnosti a monitoringu technologie při osobních návštěvách jsou realistické a měli by být pro předmětnou výrobní společnost i investičně dostupné. Nicméně jsou ve své podstatě pouze takovým „náčrtem“ a je potřeba z nich udělat plnohodnotný „výkres“. Jejich proveditelnost tedy musí být detailněji prozkoumána odpovědnými lidmi z předmětné výrobní společnosti či členy navrhovaného projektového týmu z kapitoly 6.1 a ověřena například pomocí pilotního provozu ještě před tím, než by byly implementovány v plném rozsahu s rizikem ztráty vložené investice, pokud by se objevily komplikace, které by proveditelnost návrhu znemožnili.

Bublinková metoda je principiálně velmi primitivní, a proto zde byly od počátku vypracovávání diplomové práce tendence k úplné modernizaci a k návrhu kompletní výměny celé technologie zastřešující realizaci bublinkové metody, ale po konzultacích s pracovníky předmětné výrobní společnosti a úvaze uvedené v kapitole 7, vyšly na povrch jasné důvody pro to, že úplné nahrazení modernější technologií není pro předmětnou výrobní společnost o střední velikosti cesta, která by momentálně vedla k její prosperitě.

Jak to tak ale většinou bývá, nejrozumnější a nejlepší možné řešení je obvykle někde uprostřed a vyhýbá se extrémům a v tomto případě se zdá, že tomu nebude jinak. V rámci této technologie by se jednalo například o zachování stávající, ale vylepšené a vyladěné, bublinkové metody a v jejím doplnění pomocí některé z jiných metod kontroly těsnosti. Nejbliže k tomuto řešení má návrh z kapitoly 6.2.1, který se zabývá myšlenkou zavedení pomocné integrální metody kontroly těsnosti, která by mohla bublinkovou metodu vhodně doplnit a zvýšit zároveň spolehlivost celého procesu.

9 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala analýzou technologie kontroly těsnosti tepelných výměníků ve společnosti *4 COILS TECH s.r.o.* sídlící v pražském Radotíně. K seznámení se s provozovanou technologií kontroly těsnosti a s procesy, které se k ní vážou, bylo zapotřebí diskutovat se zaměstnanci zmiňované výrobní společnosti a realizovat schůzky sloužící ke sběru dat, informací a zkušeností zaměstnanců, díky kterým bylo možné celý proces zmapovat, popsat a hledat v něm jeho slabá místa a nedostatky.

K porozumění principům a odbornému pozadí problematiky kontroly těsnosti, byla využita odborná tuzemská i zahraniční literatura a k porozumění využívaných postupů v průmyslovém procesu napomohly evropské technické normy, týkající se metod kontrol těsnosti. Pro získání všeobecného přehledu v problematice zkoušení těsnosti, byla v kapitole 2 provedena rešerše nejčastěji používaných metod, které se v běžné průmyslové praxi ke kontrole těsnosti využívají.

Na základě konzultací se zaměstnanci předmětné výrobní společnosti, provedené rešerší témat týkajících se řešené technologie a získaného povědomí o různých metodách kontroly těsnosti bylo možné začít identifikovat a hledat potenciální návrhy na zlepšení analyzované technologie.

Bylo využito systematického postupování pro hledání slabých míst technologie a míst s potenciálem na zlepšení prostřednictvím metodologie *DMAIC*, která je obsažena ve strategii a filosofii řízení jakosti nejen v průmyslových podnicích *Six Sigma*. Tato metodologie výrazně napomohla k utřídění informací o analyzované technologii, ke specifikaci problémů a problematických situací snižujících spolehlivost celého procesu a poskytla také metody pro selekci realizovatelných zlepšovacích návrhů s potenciálem na zvýšení spolehlivosti dané technologie. Tyto návrhy byly ještě konzultovány s manažerem výroby vybrané společnosti a byly tak konfrontovány s reálnou provozní praxí.

Celkem tedy bylo finálně navrženo 8 návrhů, vycházejících z reálných možností technologie kontroly těsnosti a jejích okolností, které by mohly vést ke zvýšení spolehlivosti této analyzované technologie. Některé návrhy obsahují navíc i více způsobů k realizaci. Například návrh v kapitole 6.2.1 obsahuje celkem 3 způsoby, jakými lze předkontrolní pracoviště kontroly těsnosti s integrální metodou realizovat. Ačkoliv to bylo mnohdy složitější, byl u většiny návrhů proveden alespoň hrubý odhad investice k jejich realizaci.

Diplomová práce má tedy v této formě potenciál podílet se na zlepšení provozních podmínek a spolehlivosti reálné průmyslové technologie a udávat určitý myšlenkový směr odhalující slabá místa technologie, kterým se mohou ubírat praktické zlepšovací návrhy v rámci této analyzované technologie. Kromě tohoto potenciálu poskytuje diplomová práce v předložené formě také informace související s úvodní fází řešení zlepšovacího projektu v rámci konkrétního reálného provozu průmyslového podniku a ukazuje význam takzvaných „měkkých“ dovedností uplatňujících se v rámci schůzek a diskusí s lidmi z průmyslové praxe.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Thulukkanam, K.: *Heat Exchanger Design Handbook*. CRC Press, 2000.
- [2] Nabídka produktů firmy 4 COILS TECH [online]. Dostupné z: <https://4coilstech.eu/cs/produkty/produkty>
- [3] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/68/EU [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0068&from=CS>
- [4] LOŠÁK, Pavel. Konstrukce procesních zařízení II – KKR [Přednáška]. Brno, Fakulta strojního inženýrství, ústav procesního inženýrství, 2021.
- [5] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/68/EU [online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0068&from=CS>
- [6] ČSN EN ISO 9001. Systémy managementu jakosti – Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [7] Pyzdek, T., Keller, P.: *The Six Sigma Handbook – A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*, 3rd edition. McGraw-Hill 2010. 548 p. ISBN: 978-0-07-162337-7.
- [8] Kato, I., Smalley, A.: *Toyota Kaizen Methods – six steps to improvement*. Taylor and Francis Group, LLC, 2011. 280 p. ISBN 978-1-4398-8400-3.
- [9] Kaushik, P.: *Inspection and quality control in manufacturing*. Indian Institute of Technology Roorkee. [cit. 14. října 2021]. Dostupné z: <https://nptel.ac.in/courses/112107259>
- [10] Pullarcot, S.: *Practical Guide to Pressure Vessel Manufacturing*. New York/Basel: Marcel Dekker, Inc., 2002. 347 p. ISBN: 0-8247-0740-0
- [11] Murvay, P.-S., Silea, Ioan: A survey on gas leak detection and localization techniques. In *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* [online], 2011. s. 966-972. Department of Automatics and Applied Informatics, Faculty of Automatics and Computers, “Politehnica” University of Timisoara, Timisoara, Romania. [cit. 22.2.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423012000836>
- [12] Halliday, D., Resnick, R. Walker, J. Fyzika. Část 2. Mechanika – Termodynamika. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 81-7196-214-7.
- [13] ČSN EN 1779. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Kritéria pro volbu metod a postupů, 2000.
- [14] ČSN EN ISO 20484. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Slovník. Český normalizační institut, 2018.

- [15] Výpočty a jednotky [online]. Telnice: LABTECH s.r.o. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.detekce-netesnosti.cz/vypocty-a-jednotky/>
- [16] Lukavský J., Tomáš J.: Přírubové spoje – dosažení požadované těsnosti [online]. Praha: ČVUT v Praze, fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky, TECHSEAL s.r.o.. Zveřejněno dne: 20.6.2015. [cit. 14.2.2022]. Dostupné z: <https://www.technicka-zarizeni.cz/prirubove-spoje-dosazeni-pozadovane-tesnosti/>
- [17] ČSN EN 1593. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Bublínková metoda. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [18] ČSN EN ISO 20485. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Metoda zkušebního plynu. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [19] ČSN EN 13184. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení těsnosti – Metoda změny tlaku. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [20] ČSN EN ISO 18081. Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení akustickou emisí (AT) - Detekce úniků akustickou emisí. Český normalizační institut, 2016.
- [21] ČSN EN 131455-5. Netopené tlakové nádoby – Část 5: Kontrola a zkoušení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [22] Moon C., Brown W.C., Mellen S., Frenz E., Pickering D.J.: Ultrasound Techniques for Leak Detection [online], 2009: SAE international. [cit. 26.2.2022]. Dostupné z: <https://www.bksv.com/media/doc/bn1831.pdf>
- [23] Zkoušky těsnosti [online]. TECHNOTEST s.r.o., [cit. 17.3.2022]. Dostupné z: <http://www.technotest.cz/zkouskytesnosti>
- [24] Lokalizace netěsností plochých střech pomocí jiskrové zkoušky [online]. FLO Lokalizace netěsností s.r.o., [cit. 17.3.2022]. Dostupné z: https://www.flo-lokalizace.cz/jiskrova-zkouska-tesnosti/?gclid=CjwKCAjwoduRBhA4EiwACL5RPz6_0iY6RYWOQzHz3ZkWKDld9ZuZv-jMj-O1O5wZR8JRtvZLRJ1vixoCDn0QAvD_BwE
- [25] Leak testing of components (heat exchanger) [online]. Inficon. [cit. 15.2.2022]. Dostupné z: [https://www.inficon.com/v1/attachment/Leak-testing-heat-exchangers_english/Leak%20Testing%20Heat%20Exchangers%20-%20miae00en-a%20\(1507\).pdf](https://www.inficon.com/v1/attachment/Leak-testing-heat-exchangers_english/Leak%20Testing%20Heat%20Exchangers%20-%20miae00en-a%20(1507).pdf)
- [26] Fink, A.: Leak testing of heat exchanger systems using the hydrogen method [online]. Graz: Resom GmbH. [cit. 17.2.2022]. Dostupné z: https://www.resom.com/fileadmin/user_upload/Hydrogen_Leak_Detection.pdf
- [27] Lyle E.: Best Practices for Heat Exchanger Cleaning, Leak Detection [online]. In *Heat Exchanger World conference & expo Americas.*: Projectile Tube Cleaning Inc. [cit. 14.2.2022]. Dostupné z: https://www.heatexchangerexpo.com/uploads/ckfinder/files/Evan%20Lyle,%20Projectile%20Tube%20Cleaning_Best%20Practices%20for%20Heat%20Exchanger%20Cleaning%20Leak%20Detection.pdf

- [28] Katalog produktů firmy GOODWAY BENELUX [online]. Dostupné z: <https://www.goodwaybenelux.nl/en/tube-cleaning/leak-detection/leak-detection-systems/>
- [29] Seznam nabízených služeb firmou Projectile tube cleaning Inc. [online]. Dostupné z: <https://www.projectiletube.com/tube-leak-detection-service/>
- [30] Differential Pressure Decay Leak Standard Calibration Cycle [online]. Cincinnati test systems. Dostupné z: <https://www.cincinnati-test.com/pressure-decay-test/differential-pressure-decay-standard-calibration>
- [31] Mostafapour, A., Davoudi, S.: Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method. *Applied Acoustics* [online], 2013. s.335-342. [cit. 26.2.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X12002551>
- [32] Piazzetta, G. R., Flesch, R. C. C., Pacheco, A. L. S.: Leak Detection in Pressure Vessels Using Ultrasonic Techniques. In *ASME 2017 Pressure Vessels and Piping Conference*, July 16–20, 2017 Waikoloa, Hawaii, USA. Zveřejněno dne 26.10.2017. [cit. 26.3.2022]. Dostupné z: <https://asmedigitalcollection-asme-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/PVP/proceedings/PVP2017/57984/Waikoloa,%20Hawaii,%20USA/285790>
- [33] Malý, J. & Malá, J.: *Chemie a technologie vody*. 2. doplněné vyd. Brno: ARDEC, 2006. 331 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [34] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Zákony pro lidi* [online]. Praha: ©AION CS, 2010–2022 [cit. 27.3.2022]. Dostupné z: [254/2001 Sb. Vodní zákon \(zakonyprolidi.cz\)](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/254/2001).
- [35] Logsdon, Gary S. *Water filtration practices: including slow sand filters and precoat filtration*. Denver: American Water Works Association, 2008, xvii, 295 s.: il., tab. ISBN 978-1-58321-595-1.
- [36] Medek, J.: *Hydraulické pochody*. 3. vyd. Brno: VUT Brno, 2000. 339 s. ISBN 80-214-0563-5.
- [37] Spellman, Frank R. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. Milton: CRC Press, 2020. ISBN 9780367485559.
- [38] Crittenden, John C. (John Charles), R. Rhodes Trussel, HAND D. W., Howe K. J., Tchobanoglous G.: *MWH's water treatment: principles and design*. Third edition. Hoboken: John Wiley, 2012, xviii, 1901 p. ISBN 978-0-470-40539-0.
- [39] Böhm, Pavel. Tematická oblast "Voda a její využití"[online]. 2012. [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.vernier.cz/experimenty/aquamundi/mereni-zakalu.pdf>
- [40] Internetový katalog společnosti Media CZ s.r.o.[online]. Media CZ s.r.o., [cit. 25.4.2022]. Dostupné z: <https://www.mediacz.cz/produkt/pneumaticke-cerpadlo-graco-husky-1590-ss-s-pripojenim-bspt-1-1-2-in-51-mm-stredni-cast-pp-sedla-ss-koule-sst-a-membrana-ptfe/>

- [41] Ultrafiltrace [online]. GREEN-TECH M + H s.r.o., [cit. 25.4.2022]. Dostupné z: <https://www.green-tech.cz/ultrafiltrace/>
- [42] SONOCHEK – The ultrasonic testing device for leak detection [online], Fluke Deutschland GmbH, [cit. 27.4.2022]. Dostupné z: <https://www.pruftechnik.com/com/Products-and-Services/Condition-Monitoring-Systems/Leak-detection-and-Ultrasound-Testing/Ultrasound-Testing-devices/SONOCHEK/>
- [43] *Automa – časopis pro automatizační techniku* [online]. Ústí nad Labem: FCC Public, 2014. ISSN 1210-9592. 12x ročně. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/zkouska-tesnosti-ultrazvukem-2006_06_31190_1571/
- [44] Internetový katalog společnosti HACH [online]. HACH s.r.o., [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/analyzatory-zakalu/online-laserove-turbidimetry-tu5300sc-tu5400sc/family?productCategoryId=25113540691>
- [45] Internetový katalog společnosti METTLER TOLEDO [online]. METTLER TOLEDO s.r.o., [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: https://www.mt.com/int/en/home/products/Process-Analytics/turbidity-meter.html?cmp=sea_16010123&SE=GOOGLE&Campaign=MT_PRO_EN_ROW_Ingold&Adgroup=Turbidity+-+Measurement&bookedkeyword=%2Bmeasurement%20%2Bof%20%2Bturbidity&matchtype=b&adtext=392849671094&placement=&network=g&kclid=k_EAIaIQobChMIkdCHve3l9wIVV-d3Ch1Ssgq1EAAYASAAEgJEgvD_BwE_k_&cq_src=google_ads&cq_cmp=220381974&cq_con=15948720534&cq_term=%2Bmeasurement%20%2Bof%20%2Bturbidity&cq_med=&cq_plac=&cq_net=g&cq_pos=&cq_plt=gp&gclid=EAIAIQobChMIkdCHve3l9wIVV-d3Ch1Ssgq1EAAYASAAEgJEgvD_BwE
- [46] Internetový katalog společnosti DENIOS [online]. DENIOS s.r.o., [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: <https://www.denios.cz/>
- [47] Internetový katalog společnosti MERECOM [online]. MERECOM s.r.o., [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: <https://www.merecom.cz/plovakovy-hladinomer-plast-tmn-300-tb-pvc>
- [48] Internetový katalog společnosti ROLF [online]. ROLF s.r.o., [cit. 28.4.2022]. Dostupné z: https://www.rolf.cz/produkty/nerezove-akumulacni-nadrze?typ_ohrivace=jednoduch%C3%A9

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr.1 Výměníky tepla v provedení 1 od předmětné výrobní společnosti [2]*
- Obr.2 Výměníky tepla v provedení 2 od předmětné výrobní společnosti [2]*
- Obr.3 Schéma akumulární metody za atmosférického tlaku s větráním (převzato z [25])*
- Obr.4 Schéma akumulární vakuové metody (převzato z [25])*
- Obr.5 Schéma lokalizační čichací „sniffer“ metody (převzato z [25])*
- Obr.6 Metoda diferenciálního měření poklesu tlaku v čase (převzato z [30])*
- Obr. 7 Metoda tlakové pistole (převzato z [29])*
- Obr. 8 Metoda detekce úniků akustickou emisí (převzato z [31])*
- Obr. 9 Aktivní ultrazvuková metoda kontroly těsnosti (převzato z [32])*
- Obr. 10 Speciální inspekční otvor pro generátor ultrazvuku (převzato z [32])*
- Obr. 11 Pasivní ultrazvuková metoda kontroly těsnosti (převzato z [32])*
- Obr. 12 Srovnání principů membránové filtrace a filtrace na přepážce (převzato z [38])*
- Obr. 13 Stupnice zákalu v jednotkách NTU [39]*
- Obr. 14 Obecné schéma výroby tepelných výměníků v předmětné výrobní společnosti*
- Obr.15 Rozhodovací schéma testování těsnosti výměníků tepla*
- Obr.16 Schéma okruhu recirkulace vody (vztaženo na jednu zkušební vanu)*
- Obr.17 Schéma proudů průmyslové technologické vody (detekční kapaliny)*
- Obr. 18 Pracovní fáze zkušební van*
- Obr. 19 Testovací vana pro testování středních tepelných výměníků o objemu 5 m³*
- Obr. 20 Testovací vana pro testování větších tepelných výměníků o objemu 17 m³*
- Obr. 21 Sušící pec s pásovým dopravníkem*
- Obr. 22 Nádrž na permeát z ultrafiltračního zařízení*
- Obr. 23 Ilustrativní obrázek pneumatického čerpadla s dvojitou membránou od společnosti GRACO Husky [40]*

Obr. 24 Ilustrativní obrázek membránového ultrafiltračního zařízení od společnosti GREEN – TECH M+H, s.r.o. [41]

Obr. 25 Návrh složení projektového týmu pro realizaci zlepšovacích návrhů

Obr. 26 Schematické znázornění principu zavedení předkontrolní metody kontroly těsnosti

Obr. 27 SONOCHEK – Ultrazvukové zařízení pro detekci netěsností (převzato z webových stránek firmy Prüftechnik [42])

Obr. 28 Bublínková metoda ve spojení s ultrazvukem (převzato a upraveno z [43])

Obr. 29 Hydrofobní sorpční rohože (převzato z webových stránek společnosti DENIOS [46])

Obr. 30 Hydrofobní sorpční kostky (převzato z webových stránek společnosti DENIOS [46])

Obr. 31 Ilustrativní obrázek nádrže na vodu (převzato z webových stránek společnosti Rolf [48])

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti vzduchu, vodíku a hélia (převzato z [26])

Tab. 2 Membránové procesy a jejich rozdělení dle typu filtrační přepážky a potřebného tlakového rozdílu (převzato z [33])

Tab. 3 Technické specifikace testovacích van