



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠENÍ PLASTOVÝCH PŘÍRUB

DESIGN EQUIPMENT FOR TESTING OF TIHTNESS AT PLASTIC FLANGES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Richard Vašek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

BRNO 2013

Místo tohoto listu bude vloženo zadání (oboustranně). Zadání musí být vevázáno v obou vyhotoveních práce. Do druhého výtisku bude vložena kopie.

Tento list není třeba tisknut!

ABSTRAKT

Hlavním cílem práce je navrhnout průmyslově použitelnou metodu nebo zařízení pro zkoušení těsnosti plastových přírub s vysokou hodnotou rozlišení. Výsledkem je porovnání dostupných metod a navržení vhodné metody. V závěru celé práce je definována vhodná metoda, která bude schopna rozpoznávat definované úniky pro stanovená zákaznická kritéria a bude splňovat interní požadavky společnosti Robert Bosch spol. s r.o..

Klíčová slova

Těsnost, zkoušky těsnosti, palivový modul, příruba

ABSTRACT

The main diploma thesis's target is to propose applicable industrial method for the industrial leak testing with high definition. The result is to compare available methods and to propose the suitable one. The final target of the diploma thesis is definition of the defined method that will be able to detect leaks required by customer and fulfil internal requirements of the Robert Bosch ltd. Company.

Key words

Tightness, leakage test, fuel supply module, flange

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAŠEK, R. *Návrh zařízení pro zkoušení těsnosti plastových přírub*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 64 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc..

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh zařízení pro zkoušení plastových přírub** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Richard Vašek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanovi Bezdíčkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Zároveň bych rád poděkoval vedení a pracovníkům ústavu strojírenské technologie za vstřícný přístup při zpracování diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI ROBERT BOSCH	10
2 POPIS PROBLEMATIKY ZKOUŠENÍ TĚSNOSTI	12
2.1 Definice netěsnosti.....	12
2.2 Náplň oboru zkoušení těsnosti	13
2.3 Emisní normy Evropské.....	13
2.3.1 Normou limitované látky	14
2.4 Emisní normy USA.....	15
3 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY	16
3.1 Jednotky používané pro vyjádření hodnot úniku - těsnosti	16
3.2 Stanovení netěsnosti	18
3.3 Vztah mezi poklesem tlaku a objemovým únikem	19
3.4 Proudění plynu netěsností a jeho kritéria.....	20
3.5 Povrchové jevy a praktický význam	21
4 ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY TĚSNOSTI VŮČI RBCB	23
4.1 Postup zkoušení HELIEM dle zákaznické specifikace.....	25
4.2 Postup zkoušení na principu poklesu tlaku dle zákaznické specifikace	25
4.3 Budoucí zákaznické požadavky zkoušek těsnosti	25
5 MEDIA POUŽÍVANÁ V RBCB	25
6 DOSTUPNÉ MĚŘÍCÍ METODY	26
6.1 Metoda na principu poklesu tlaku.....	26
6.2 Metoda na principu rozdílu tlaku.....	27
6.2 Metoda na principu nárůstu tlaku	28
6.3 Metoda na principu průtoku plynného media	29
6.4 Metody na principu úniku bublin v kapalném mediu	30
6.5 Metoda na principu hledání uhlovodíků	31
6.6 Metoda na principu detekce helia	31
6.6.1 Hledání úniku helia skenováním.....	32
6.6.2 Hledání úniku jímáním do rukávce	33
6.6.3 Hledání úniku jímáním do komory	33

6.6.4 Hledání úniku helia vnikáním do vakua-skenování.....	33
6.6.5 Hledání úniku pomocí dvou komor	34
6.6.6 Hledání úniku akumulací helia - bombing test	34
6.7 Metoda na principu detekce vodíku	35
6.8 Porovnání metod	36
7 PRAKTICKÁ ČÁST	36
7.1 Úvod do problematiky zkoušení těsnosti přírub	36
7.2 Výroba testované součásti a základní funkce	37
7.3 Analýza stavu zařízení ATEQ F520 a heliového testu fa. LAB-TECH	39
7.3.1 Popis zařízení ATEQ – diferenciální pokles tlaku	39
7.3.2 Základní typy testů ATEQ F520	42
7.3.3 Posouzení schopnosti metody dle postupu č. 1	44
7.3.4 Ověření způsobilosti měřicího procesu dle postupu č.3	45
7.3.5 Možné příčiny ovlivňující proces	46
7.3.6 ISHIKAWŮV diagram	46
7.3.7 Optimalizace stávajícího procesu.....	47
7.3.8 Shrnutí	55
7.4 Analýza stavu stávajícího zařízení Heliový test	55
7.4.1 Popis zařízení Heliový test.....	55
7.4.2 Průběh měření a základní typy testů	57
7.4.3 Posouzení schopnosti metody dle postupu č. 1	58
7.4.4 Ověření způsobilosti měřicího procesu dle postupu č.3	58
7.4.5 Shrnutí	58
7.5 Technicko-ekonomické zhodnocení	58
7.5.1 Porovnání metod	59
8 DISKUSE.....	59
ZÁVĚR	59
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	60
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Všeobecně těsnost a zkoušky těsnosti jednotlivých dílů, sestav i finálních produktů jsou součástí všech odvětví moderního průmyslu. Jedná se o nedestruktivní zkoušení, přičemž se kontroluje množství unikajícího média (plyn, kapalina, páry) ze zkoušeného výrobku. Významnou a důležitou se staly zkoušky těsnosti zejména v medicíně, leteckém a automobilovém průmyslu, kde je jejich využití nejvýznamnější. Výsledek zkoušky je považován za jednoznačný ukazatel kvality, bezpečnosti a výkonnosti zkoušeného produktu. Díky testování těsnosti potažmo úniku je primárně zajištěna bezpečná a správná funkce výrobku a společně s tím jsou redukovány náklady spojené s výpadky zaviněných vadnou funkcí výrobku u koncového spotřebitele.



Obr. 1 Palivová nádrž vozu VW se zabudovanými palivovými moduly

1 Predstavení společnosti Robert Bosch [11]

Společnost byla v roce 1886 založena Robertem Boschem (1861 - 1942) ve Stuttgartu jako „dílna pro jemnou mechaniku a elektrotechniku“. Obchodně-právní struktura společnosti Robert Bosch GmbH zajišťuje podnikatelskou samostatnost Bosch Group. To umožňuje společnosti dlouhodobě plánovat a investovat do důležitých podnikatelských záměrů pro zabezpečení budoucnosti. 92 % majetkových podílů Robert Bosch GmbH patří veřejně prospěšné společnosti Robert Bosch Stiftung GmbH / Nadaci Roberta Bosche. Většinová hlasovací práva má však společnost Robert Bosch Industrietreuhand KG, která má zároveň také právo vykonávat funkci společníků. Ostatní podíly a hlasovací práva má rodina Boschových a Robert Bosch GmbH.

Bosch Group je vedoucím mezinárodním dodavatelem technologií a služeb. Více než 306 000 zaměstnanců dosáhlo v roce 2012 obratu v hodnotě 52,5 miliard eur. Se začátkem roku 2013 se činnost Bosch Group rozdělila do čtyř oblastí: Automobilové technika, Energetika a technika budov, Průmyslová technika a Spotřební zboží. Bosch Group zahrnuje společnost Robert Bosch GmbH a více než 360 dceřinných a regionálních společností ve více než 50 zemích světa. Po započtení prodejních a servisních partnerů je společnost Bosch zastoupena ve zhruba 150 zemích. Tento celosvětový svazek vývojových, výrobních a odbytových firem je předpokladem pro další růst. V roce 2012 Bosch investoval přibližně 4,8 miliard eur do vývoje a výzkumu a celosvětově přihlásil přes 4 800 patentů. Výrobky a služby Bosch zlepšují kvalitu života tím, že přinášejí nejen inovativní, ale také užitečná a fascinující řešení. Díky tomu společnost Bosch celosvětově nabízí technologie, které jsou „Stvořené pro život“.

Svou přítomnost na českém území datuje společnost Robert Bosch od konce 19. století, kdy obchodovala také s firmou Laurin & Klement. První oficiální pobočka Bosch byla založena roku 1920 v Praze a po nucené 44leté přestávce se po roce 1989 vrátila. Od prosince roku 1991 je opět činná. V Česku sídlí několik na sobě nezávislých dceřinných firem Robert Bosch GmbH Stuttgart.

Obchodní aktivity Bosch zajišťují společnosti v Praze - firmy Robert Bosch odbytová s.r.o., Bosch Termotechnika s.r.o. a částečně firma Bosch Rexroth s.r.o. v Brně. V Praze ještě sídlí dceřinná firma Bosch-Siemens Hausgeräte GmbH, společnost s 50% majetkovou účastí Robert Bosch GmbH, která obchoduje s domácími spotřebiči - BSH domácí spotřebiče s.r.o.

Výrobní závody Bosch se nacházejí v Jihlavě - Bosch Diesel s.r.o., v Českých Budějovicích - Robert Bosch, spol. s r.o., v Brně - Bosch Rexroth s.r.o, v Krnově a městě Albrechtice - Bosch Termotechnika s.r.o..

Za dobu své přítomnosti na českém trhu si Bosch v zahraničí vybudoval nezaměnitelnou image významného výrobce a investora. Výrobky Bosch se od automobilové techniky přes elektrické nářadí, domácí spotřebiče až po tepelnou a průmyslovou techniku úspěšně zabydlely nejen v českých domácnostech, ale i automobilech, servisech a průmyslových podnicích.

V České republice ve svých dceřinných firmách zaměstnává Bosch Group okolo 7700 pracovníků a celkový obrat Bosch Group v České republice dosáhl v roce 2011 1200 milionů euro.

Společnost Robert Bosch v Českých Budějovicích byla založena 1. května 1992 jako společný podnik stuttgartského koncernu Bosch GmbH, Stuttgart a Motoru Jikov a. s. V roce 1995 se koncern Bosch stal jediným vlastníkem společnosti v Českých Budějovicích. Výrobní program zahrnuje komponenty automobilové techniky pro koncernovou divizi GS

Gasoline Systems (benzínové systémy) a DS Diesel Systems (dieselové systémy). Českobudějovická společnost exportuje přes 90% své produkce zákazníkům, jimiž jsou téměř všechny významné evropské automobilky.

Pro novou společnost v Českých Budějovicích byl kompletně vystavěn nový závod s nejmodernějším vybavením a infrastrukturou na koncernové úrovni. Mimo jednotlivých výrobních úseků vybudovala společnost vlastní oddělení vývoje a výzkumu, včetně zkušebního centra pro dlouhodobé zkoušky. Rozvoj společnosti v Českých Budějovicích lze v její nedlouhé historii označit jako prudký a tento trend bude pokračovat i do budoucna, k čemuž významně přispívají vysoce kvalifikovaní a motivovaní pracovníci společnosti, kteří přicházejí z celé České republiky. K zajištění odpovídající kvalifikace přispívá mimo jiné i středisko praktického vyučování pro zhruba 40 učňů zřízené přímo v areálu společnosti, které představuje z hlediska regionu nový prvek umožňující zvyšování kvalifikace budoucích pracovníků společnosti.



Obr. 2 produkty fa. Robert Bosch České Budějovice a,c,e) Vstřikovací modul, b) palivové čerpadlo, d,f) Čerpadlo AdBlue, systém DNOX

2 POPIS PROBLEMATIKY ZKOUŠENÍ TĚSNOSTI [1],[2],[3]

Těsnost je obecně schopnost materiálu popř. výrobního celku, propouštět jiný materiál (zkušební medium) mikropóry, mikrotrhlinami nebo permeací (prostup média molekulární vazbou materiálu). Únik media přes daný díl je tedy možné pozorovat vždy a je proto nutné určit, zda tento únik na zkoušeném dílu nebude ohrožovat bezpečnost a funkci sestavy do které vstupuje, popřípadě nebude plnit podmínky ekologické zátěže prostředí např. Limity pro CO₂, HC, N_x. Povolenou mez uniku definuje zákon, norma, zákaznický předpis a vnitropodniková dokumentace.

Definovaná hodnota úniku ve fa. ROBERT BOSCH s.r.o. je předepsána ve zkušebním předpise „Pruefvorschrift“, ten je nastaven tak, aby plnil zákaznické požadavky, které plynou z norem odkazujících se na zákony dané země popřípadě zemí přijímajících společné normy. Jde například o evropské normy EURO I÷VI, nebo normy LEV (Low emission vehicles), SULEV (Super ultra low emission vehicles) platné v USA.

Literatura [7] zmiňuje, (1) že termín netěsnost se nejlépe definuje negativně tzn. těsnost je odpor stěn a spojů z rozmanitých materiálů, proti pronikání tekutin (plynů, par a kapalin) ze strany jejich větší koncentrace na stranu menší koncentrace. Netěsnost je potom ztráta, nebo zhoršení této vlastnosti. Vymezení velikosti průniků je dáno na jedné straně permeací (přirozený průnik plynné fáze fází pevnou) a na druhé straně se obor zabývá velkými netěsnostmi, jejichž projevy jsou nezaměnitelně patrné – trhliny, praskliny a defekty, jimiž uniká plyn a nebo kapalina s nepřehlédnutelnou intenzitou. Mezi těmito extrémny je oblast zkoušení těsnosti. Netěsnost může být jednotlivá vada, ale také plošný shluk milionů mikrokomunikací.

Jestliže vznikne prasklina na palivové nádrži a viditelně uniká palivo, nejsou zapotřebí žádné další informace a je možno neprodleně přikročit k opravě. Také toto jde mimo obor zkoušení netěsnosti. Existence defektu je evidentní a poloha rovněž.

Pokud je nutno například pro palivovou nádrž automobilu doložit dle EURO normy popř. LEV normy únik uhlovodíků do ovzduší, jde o úkol pro obor zkoušení těsnosti, neboť se musí aplikovat vhodná technika, zkušební postup a vyčíslit velikost netěsnosti s korelací pro reálný stav, kdy bude palivová nádrž automobilu naplněna palivem.

2.1 Definice netěsnosti – intenzita průtoku – velikost [1][4]

Velikost vady (netěsnosti) je definována intenzitou průtoku a nikoliv geometrií. V oboru zkoušení těsnosti je velikost proudu plynu netěsností uvnitř intervalu o rozpětí 15 řádů. Musíme vzít v úvahu, že přijatelný průtok plynu netěsností se velice liší podle toho, co a kde se na těsnost zkouší. V praxi se netěsnost odvozuje od přípustných průniků pracovní látky za čas. Tuto hodnotu musíme přepočítat na zkušební podmínky při reálném stavu (pokud je to možné). Intenzitě měřeného průniku se přizpůsobí metodika, zkušební postup a technika. V každém průmyslovém oboru se zkoušky přizpůsobují nárokům kladených na finální produkt. Jiné požadavky budou na těsnost lodního tělesa nebo například na zmiňovanou palivovou nádrž popř. kardiostimulátor.

2.2 Náplň oboru zkoušení těsnosti [1]

Obor se zabývá netěsnostmi, způsobujícími úniky plynů, par a kapalin z hermetických systémů všeobecného zaměření kromě těch, které spadají pod separátní legislativu (kosmonautika). Obor se rovněž nezabývá netěsnostmi, jejichž velikost se projevuje zjevnými a masivními úniky.

Zkoušení je zaměřené na hledání poloh netěsností, na změření jejich velikosti, případně na polohu a velikost současně. Obor se zabývá zkouškami těsnosti během výroby, montáže, uvádění do provozu a během provozu dílů, sestav technologických celků. Do náplně oboru patří posuzování projektů, konstrukčního řešení a technologických postupů, pokud mají vazbu na těsnost a zkoušení těsnosti. Po vyzkoušení těsnosti se v oboru vypracovávají písemné předpisy, postupy a instrukce. Následně se vyhodnocují výsledky a sestavují zkušební protokoly. Náplní oboru je volba zkušební techniky, její komplectace, oživení a provozování. Pro strojní zkoušení se zhotovují podklady ve formě zkušebních postupů vhodných pro automatizaci.

2.3 Emisní normy evropské [5]

Aby mohl být automobil homologován, musí plnit řadu norem, mezi jinými i důležitou emisní normu. Emisní norma určuje množství spalin, které automobil může vypouštět do ovzduší. V České republice upravuje tyto hodnoty zákon č. 56/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Tyto předpisy vycházejí z norem Evropské hospodářské komise EHK a Evropského společenství (ES). Jako souhrnné označení norem emisních předpisů se používá označení EURO + číslo normy, například v současné době platné EURO 5. Díky těmto normám se v Evropě daří snižovat emise např. CO₂, i když trochu paradoxně norma EURO limit pro oxid uhličitý nestanovuje. Od roku 1995 do roku 2003 klesly průměrné emise CO₂ ze 186 na 164 g/km. Cílem evropské hospodářské komise je všeobecný průměru 120 g/km CO₂ do roku 2012.

První norma zabývající se množstvím výfukových zplodin vznikla v Kalifornii v roce 1968. První emisní norma začala platit až v roce 1971 – EHK 15. První EURO se objevilo v roce 1992. Od té doby téměř pravidelně každé čtyři roky vyjde nová emisní norma EURO. Čím vyšší číslo tím, větší přísnost normy. V roce 2009 vstoupila v platnost Euro 5 a od září 2014 nastoupí Euro 6.

EURO norma je závazná emisní norma stanovující limitní hodnoty výfukových exhalací. Například nová norma Euro 5 omezuje množství oxidu uhelnatého CO, uhlovodíků HC, oxidů dusíku NO_x a množství pevných částic PM. Hodnoty se uvádějí v miligramech na ujetý kilometr.

Zavedení nové EURO normy není jednorázová akce. Změny se nejprve týkají modelů nově představených na evropském trhu (pro Euro 5 byl stanoven termín 1.9.2009). Od roku 2011 musí Euro 5 plnit všechny nově vyrobené automobily.

2.3.1 Normou limitované látky [4][5]

CO: Bezbarvý plyn, bez chuti a bez zápachu, lehčí než vzduch, nedráždivý, výbušný; oxid uhelnatý se váže na hemoglobin (krevní barvivo) 200-300 krát rychleji než kyslík, který je tímto způsobem vytěšňován, tím je zabráněno přenosu vzduchu z plic do tkání – je jedovatý. Vzniká při nedokonalém spalování uhlovodíků. V normálních koncentracích v ovzduší poměrně brzo oxiduje na oxid uhličitý CO₂.

CO₂: Bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu; není jedovatý, ale zvyšuje účinky CO a podílí se na vzniku skleníkového efektu. Emisní norma EURO nelimituje množství CO₂

HC: Nespálené uhlovodíky, obsahují karcinogenní aromáty, jedovaté aldehydy a nejedovaté alkany a alkeny, plus další složky. Vznikají v průběhu spalování, pokud není dostatečný přísun kyslíku nebo je příliš chudá směs a obsah válce dostatečně neprohoří. Na slunečním světle reagují s oxidy dusíku a vytvářejí látky dráždivé sliznici. V létě se tyto látky podílejí na vzniku jedovatého přízemního ozónu.

NO_x: Oxidy dusíku mají podobné účinky jako NO, NO₂, napadají plíce a sliznice. Vznikají v motoru za vysokých teplot a tlaků během hoření při nadbytku kyslíku. Některé oxidy dusíku jsou zdraví škodlivé. Opatření vedoucí ke snižování spotřeby paliva mohou vést ke zvýšení podílu oxidů dusíku ve výfukových plynech, neboť účinnější spalování vede k vyšším teplotám spalování. Často se stává, že „ekologický“ turbodiesel má sice nízké emise CO₂, ale díky nadměrné produkci NO_x dosahuje pouze emisní normy Euro 4. Řešení redukce oxidů dusíku je například aditivum AdBlue.

SO₂: Štiplavě páchnoucí, bezbarvý, nehořlavý plyn, napadá sliznici a plíce. Podporuje vznik onemocnění dýchacích cest. Používáním paliva s nižším obsahem síry se obsah oxidu siřičitého ve výfukových plynech sníží.

Hodnoty dovolených koncentrací látek naleznete v tab. 1 pro vznětové motory a v tab. 2 pro zážehové motory.

Evropské emisní standardy pro osobní vozy (g/km) – DIESEL					
	DATE	CO	NO _x	HC + NO _x	PM
EURO I	07/1992	2,72	-	0,97	0,14
EURO II	01/1996	1	-	0,7	0,08
EURO III	01/2000	0,64	0,5	0,56	0,05
EURO IV	01/2005	0,5	0,25	0,3	0,025
EURO V	09/2009	0,5	0,18	0,23	0,005
EURO VI	09/2014	2,72	-	0,97	0,14

Tab. 1 přípustné hraniční limity pro osobní automobily se vznětovými

Evropské emisní standardy pro osobní vozy (g/km) – Bezolovnatý benzín

	DATE	CO	NO _x	HC + NO _x	PM
EURO I	07/1992	2,72	-	0,97	-
EURO II	01/1996	2,1	-	0,5	-
EURO III	01/2000	2,3	0,15	-	-
EURO IV	01/2005	1	0,08	-	-
EURO V	09/2009	1	0,06	-	0,005
EURO VI	09/2014	1	0,06	-	0,005

Tab. 2 přípustné hraniční limity pro osobní automobily se zážehovými

2.4 EMISNÍ NORMY USA [4]

Vzhledem k závažným problému s dopravou, zejména na západním pobřeží USA a tím spojeným uvolňováním NO_x do ovzduší, dostal stát Kalifornie zvláštní pravomoc stanovovat ve své zemi vlastní automobilové emisní normy. Ostatní spojené státy se mohou rozhodnout, zda normu budou na svém území přijímat národní normu stanovovanou organizací EPA (Environmental Protection Agency) nebo přijmou přísnější standard státu Kalifornie (Maine, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New Mexico, New York, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Vermont a Washington, -DC). Tyto země jsou dále označovány jako CARB (California Air Resources Board).

Organizace EPA přijala Kalifornskou emisní normu od roku 2016 a tím dojde k celoplošnému zpřísnění emisních norem na celém území USA.

Kalifornská norma LEV (Low Emission vehicles) je v současnosti přísnější než národní Americká norma a rozděluje vozidla do pěti kategorií

TLEV	Transitional low emission vehicle: Nejméně přísná emisní norma v Kalifornii ukončena v roce 2004
LEV	Low emission vehicle: Minimální standard pro všechny nové automobily prodávané v Kalifornii od roku 2004
SULEV	Super Ultra low emission vehicle: Emise jsou o 90% čistší než u průměrného nového automobilu pro daný modelový rok
PZEV	Partial zero emission vehicle: Splňuje SULEV normu výfukových emisních norem, a zároveň nemá emise způsobené vypařováním (tj. žádné nespálené palivo neopouští palivový systém)
ZEV	Zero emission vehicle: je o 98% čistší než průměrný nový model roku vozidel, a nemá žádné emise výfukových plynů.

3 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VELIČINY

Tlak p [Pa] je fyzikální veličina obvykle označovaná symbolem p (z anglického *pressure*), vyjadřující poměr velikosti síly F , působící kolmo na rovinnou plochu a rovnoměrně spojitě rozloženou po této ploše a obsahu této plochy tedy

$$p = \frac{F}{S} \quad [1]$$

Hlavní jednotkou tlaku v soustavě SI je pascal (Pa). Je to tlak, který vyvolává síla 1 newtonu (1 N) rovnoměrně a spojitě rozložená a působící kolmo na plochu o obsahu 1 čtverečního metru (1 m²).

Objem V [m³] je veličina, která vyjadřuje velikost prostoru, kterou zabírá těleso. Z matematického hlediska představuje objem míru charakterizující danou část prostoru.

Teplota T [°C] je základní fyzikální veličinou soustavy SI s jednotkou kelvin (K) a vedlejší jednotkou stupeň Celsia (°C). Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly (0 K; -273,15 °C), ke které se lze libovolně přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout. V přírodních a technických vědách a jejich aplikacích je to skalární intenzivní veličina, která je vzhledem ke svému pravděpodobnostnímu charakteru vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů. Teplota souvisí s kinetickou energií částic látky.

Čas t [s] je jedna ze základních fyzikálních veličin, jíž se měří vzdálenost mezi událostmi

Objemový průtok (objemový tok) Q_v [m³.s⁻¹] je objem kapaliny, který proteče jedním místem (celým průřezem v jednom místě trubice) za jednotku času. Podle definice objemového toku se jedná o množství kapaliny procházející za časový interval daným průřezem, tzn.

$$Q_v = \frac{dV}{dt} \quad [2]$$

Hmotnostní průtok Q je [kg/s] hmotnost plynu, která proteče jedním místem za jednotku času a je registrována měřicím zařízením.

Re – Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu (tedy odpor prostředí v důsledku vnitřního tření). Je pomocí něj možné určit, zda je proudění plynu laminární, nebo turbulentní. Čím je Reynoldsovo číslo vyšší, tím nižší je vliv třecích sil částic plynu a celkový odpor.

3.1 Jednotky používané pro vyjádření hodnot úniku – těsnosti [5], [7]

Používané jednotky, jimž se hodnota úniku a průtočného množství měří mají v dnešní podobě za sebou jasný historický vývoj. Počátky zkoušení těsnosti jsou spojené s rozvojem vakuové techniky na začátku 20 století.

K měření se používalo skleněných měřicích přístrojů obsahujících rtuť. Jednotkou tlaku byl proto zvolen 1 mmHg (milimetr rtuťového sloupce) a 1 μHg (tisícina milimetru rtuťového sloupce). Množství plynu je pak za konstantní teploty dáno součinem objemu a

tlaku. Z toho pak jednotka množství $1\mu\text{Hg.l}$ a jednotka proudu (průtoku) plynu $1\mu\text{Hg.l/s} = 1\mu\text{l/s}$.

Vyčíslením množství protečeného plynu za čas získáme velikost netěsnosti. To znamená, že prvotní je definice množství. U kapalin volíme hmotnost buď ve váhových jednotkách (kg), nebo v objemových (m^3). U plynů je toto vyjádření z důvodů neustálé nutnosti naměřené množství přepočítávat nepraktické. (7) Proto se k vyjádření používá stavové rovnice plynu, která určuje změnu množství rozdílem stavu na začátku a konci měření. Z toho pak rovnice:

$$dQ = (p_1 \times V_1) - (p_2 \times V_2) \quad [\text{Pa} \cdot \text{m}^3] \quad [3]$$

Jednotky tlaku se v průběhu let několikrát změny, z mmHg na Torr (fyzik Torricelli), později bar, milibar a následně Pa. Pro definici množství plynu se jednotka (p.V) neměnila. Řada zemí si však tyto historické jednotky zachovala, proto se stále setkáváme například s různými jednotkami tlaku p (Pa, mbar, Torr atd.) Soustava SI uznává pro tlak a objem pouze jednotky Pa a m^3 a pro netěsnost $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pokud zahrneme jednotky používané v anglosaských zemích, musíme jednotky opět přepočítávat viz. tabulka 4 a 5.

Tab. 3 Převodní tabulka objemů [7]

OBJEM					
-	inch ³	ft ³	litr	cm ³	m ³
inch ³	1	0,00056	0,0136	16,38	0,000016
Ft ³	1728	1	28,316	28316	0,0283
litr	61,02	0,035	1	100	0,001
cm ³	0,061	0,00003	0,001	1	0,000001
m ³	61023	35,33	1000	1000000	1

Tab. 4 Převodní tabulka tlaků [7]

TLAK (p)						
-	Torr	Mbar	Pa	mTorr	Psi	atm
Torr	1	1,33	133	1000	0,0193	0,00193
Mbar	0,751	1	100	750	0,014	0,0009
Pa	0,00751	0,01	1	7,5	0,00014	0,000009
mTorr	0,001	0,0013	0,13	1	0,000019	0,0000013
Psi	51,72	68,69	6896	51710	1	0,07
atm	760	1013	101300	760000	14,7	1

Používané jednotky pro stanovení hodnoty úniku jsou **SCCM**- standart cubic centimeter per minute (standardní kubický centimetr za minutu). Pro představu jde o množství plynu v krychličce o objemu 1 cm³ při standardních podmínkách tj. teplota 0°C (273,15 K) a tlaku 1013,25 mbar(101,325 kPa), které unikne za jednu minutu.

HODNOTA ÚNIKU / TĚSNOSTI (q-proud)					
	Atm cc/s	Mbar l/s	Torr l/s	Pa m3/s	sccm
Atm cc/s	1	1	0,76	0,1	60
Mbar l/s	1	1	0,76	0,1	60
Torr l/s	1,3	1,3	1	0,13	80
Pa m3/s	10	10	7,5	1	600
sccm	0,016	0,016	0,0125	0,0016	1

Tab. 5 Převodní tabulka úniků

Další používanou jednotkou je **mbar.l/s** jde o hodnotu stanovenou jako pokles tlaku o 1 mbar za 1 sekundu z nádoby o objemu 1 litr. Tato veličina se používá při vyhodnocování menších úniků například zkoušek těsnosti He, popřípadě H. Tabulka č. 5 ukazuje poměr mezi jednotlivými veličinami.

3.2 Stanovení netěsnosti [6], [8]

Jako již bylo naznačeno, stanovení hodnoty netěsnosti lze určit pomocí hodnoty uniklého množství plynu za jednotku času.

$$Q = \frac{\text{množství media}}{\text{jednotka času}} \quad \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right] \quad [4]$$

Hodnotu úniku lze určit dvěma způsoby:

Měřením poklesu tlaku ve zkušebním objemu za jednotku času

$$Q_1 = \frac{\text{rozdíl tlaku} \times \text{objem}}{\text{jednotka času}} \quad \left[\frac{\text{mbar} \times \text{l}}{\text{s}} \right] \quad [5]$$

Měřením množství media unikající ze zkušebního objemu do atmosféry za jednotku času

$$Q_2 = \frac{\text{okolní tlak} \times \text{množství media}}{\text{jednotka času}} \quad \left[\frac{\text{mbar} \times \text{l}}{\text{s}} \right] \quad [6]$$

3.3 Vztah mezi poklesem tlaku a objemovým únikem [8]

Boyleův-Mariottův zákon říká, že součin tlaku a objemu plynu je stálý. Teplota, při které se součin $p \cdot V$ se změnou tlaku nemění, se nazývá Boyleova teplota.

Z toho plyne:

$$p \cdot V = \text{konst.} \quad [7]$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad [8]$$

kde:

ptlak plynu uvnitř zkušebního objemu	[bar]
Vobjem daného množství plynu	[cm ³]
nlátkové množství plynu	[mol]
Rplynová konstanta	[$\frac{J}{\text{mol} \times K}$]
Tabsolutní teplota plynu	[K]

Z toho pak:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \rightarrow m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} \quad [9]$$

kde:

mmnožství plynu	[kg]
-------------------------	------

Množství plynu před měření se rovná množství plynu po měření a ztrátám vzniklých únikem do volné atmosféry

Z toho:

$$m_1 = m_2 + m_u \quad [10]$$

kde:

m_1množství plynu ve zkušebním zařízení před zkouškou	[kg]
m_2množství plynu ve zkušebním zařízení po zkoušce	[kg]
m_umnožství plynu uniklé netěsností do atmosféry	[kg]

následným dosazením m do vzorce získáme

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T} = \frac{P_2 \cdot V_2}{R \cdot T} + \frac{P_u \cdot V_u}{R \cdot T} \quad [11]$$

kde:

P_1tlak před měřením	[Pa]
P_2tlak po měření	[Pa]
P_utlaková ztráta způsobená únikem	[Pa]
V_1objem media před zkouškou	[m ³]
V_2objem media po zkoušce	[m ³]
V_uobjem uniklého media	[m ³]
Rplynová konstanta	[$\frac{J}{\text{mol} \times K}$]

T.....absolutní teplota plynu

[K]

Podle Boyle-Mariottova zákona:

$$p \cdot V = \text{konst. a } V_1 = V_2 \quad [12]$$

za předpokladu, že jde o děj kde se teplota po celou dobu nemění (Izotermický) a plynová konstanta R zůstává stejná před i po zkoušce, platí:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 + P_u \times V_u \quad [13]$$

Z toho

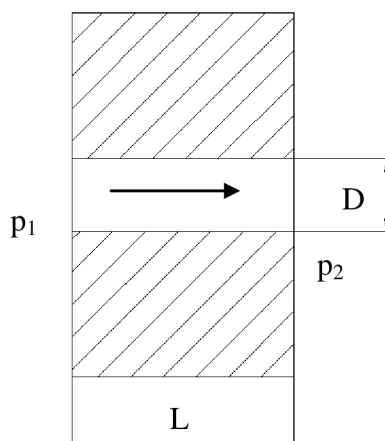
$$V_1(P_1 - P_2) = P_u \times V_u \quad [14]$$

Tlakový úbytek za čas

$$\frac{P_1 - P_2}{t} = \frac{P_u \times V_u}{V_1 \times t} \quad [15]$$

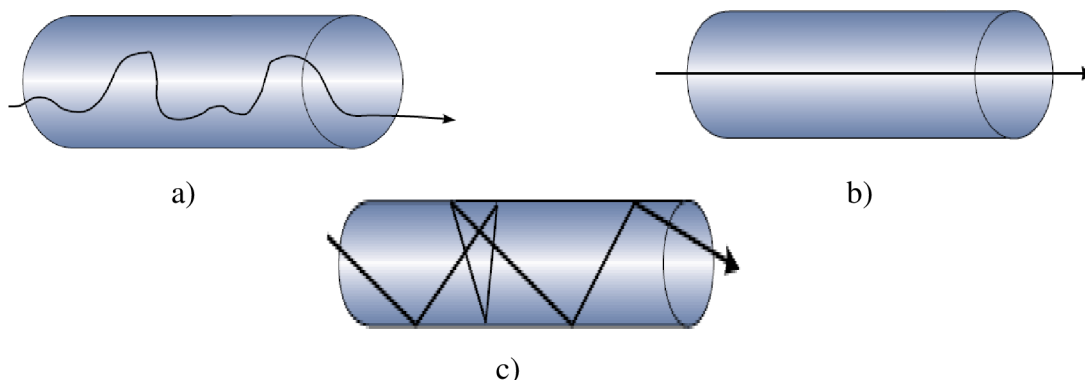
3.4 Proudění plynu netěsností a jeho kritéria [8], [7]

Pro proudění plynu netěsností je nutno tuto netěsnost idealizovat do kapiláry kruhového průřezu o stejném průměru po celé jeho délce viz. obrázek 3. Jde o jeden z přístupů jak proudění plynu definovat.



Obr. 3 Schéma kapiláry kde D je průměr kapiláry, L je délka kapiláry, p_1 hodnota tlaku na vstupu do kapiláry (větší hodnota), p_2 hodnota tlaku na výstupu z kapiláry.

Při prostupu plynu kapilárou může docházet k několika typům proudění. Typ proudění je závislý na velikosti tlaku p_1 a průměru D. Typy proudění se mohou měnit po celé délce kapiláry. Pro plyny známe tyto proudění viz obr. 4.



Obr. 4 Grafické znázornění typů proudění a) Turbulentní, b) Laminární, c) Molekulární
Každé z těchto proudění má za následek jiné průtočné množství při stejném rozdílu tlaků.

Kritéria proudění

KRITÉRIA PROUDĚNÍ	
Turbulentní proudění	$Re > 4000$
Viskózní proudění	$Re < 2300$ až do $p \cdot D \ 0,6 \text{ Pa} \cdot \text{m}$
Přechodové proudění	$0,6 \text{ Pa} \cdot \text{m} > p \cdot D > 0,01 \text{ Pa} \cdot \text{m}$
Molekulární proudění	$p \cdot D < 0,01 \text{ Pa} \cdot \text{m}$

Tab. 6 Kritéria proudění v závislosti na rozměrech kapiláry [7]

ZÁVISLOST ÚNIKU NA VELIKOSTI OTVORU								
Průměr otvoru	1 cm	1 mm	0,1 mm	0,01 mm	1 μm	0,1 μm	0,01 μm	1 nm
Velikost úniku [mbar × l/s]	10^{+4}	10^{+2}	10^0 (=1)	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}

Tabulka 7: Závislost úniku na velikosti otvoru. Podmínky testu (0,5 Bar, $t=22^\circ\text{C}$, Helium), [8]

3.5 Povrchové jevy a praktický význam [8]

Jde o ulpívání plynů a par na povrchu pevných těles. Jde vždy o ulpění plynu o síle několika molekul. Tento jev vzniká na hranici dvou fází za pomoci přitažlivých sil (kohesních) mezi molekulami obou fází. Tato síla ovšem působí jen na velmi malou vzdálenost a proto množství takto adsorbovaného plynu závisí na ploše. Množství adsorbovaného plynu roste s narůstajícím tlakem a klesá s rostoucí teplotou. Adsorbovanou látku je tady možno odstranit zvýšenou teplotou ve vakuu.

U kovových povrchů může docházet při styku s vodou k tzv. kapilární kondenzaci. Adsorbce molekul na kovovém povrchu vede v kapilárách k převaze molekul vody, které mají větší vazební energii, a tedy k růstu molekulární vrstvy vody do té míry, že dojde k uzavření kapiláry. Doba pro takovéto ulpění na povrchu je velice krátká (mikrosekundy). Z těchto důvodů je zkouška těsnosti vodou pro některé případy zcela nepoužitelná (Test

přírub RBCB).

Požadované kritérium těsnosti závisí na prostředí (mediu), ve kterém se bude vzorek nacházet. Následující tabulka uvádí míru požadované těsnosti pro některá prostředí:

MÍRA TĚSNOSTI			
	[kg air / h]	[mbar l s ⁻¹]	SCCM
Těsný vůči vodě	10 ⁻⁵	10 ⁻²	0,6
Těsný vůči páře	10 ⁻⁶	10 ⁻³	0,06
Těsný vůči bakteriím	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	0,006
Těsný vůči benzínu	10 ⁻⁸	10 ⁻⁵	0,0006
Těsný vůči virům	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	0,00006
Těsný vůči plynům	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁷	0,000006

Tabulka 8. Míra požadované těsnosti pro některá prostředí [8]

1 mbar l s⁻¹ odpovídá 4,3 · 10⁻³ kg/h vzduch při 20° C a stejném zkušebním tlaku

Praktický význam

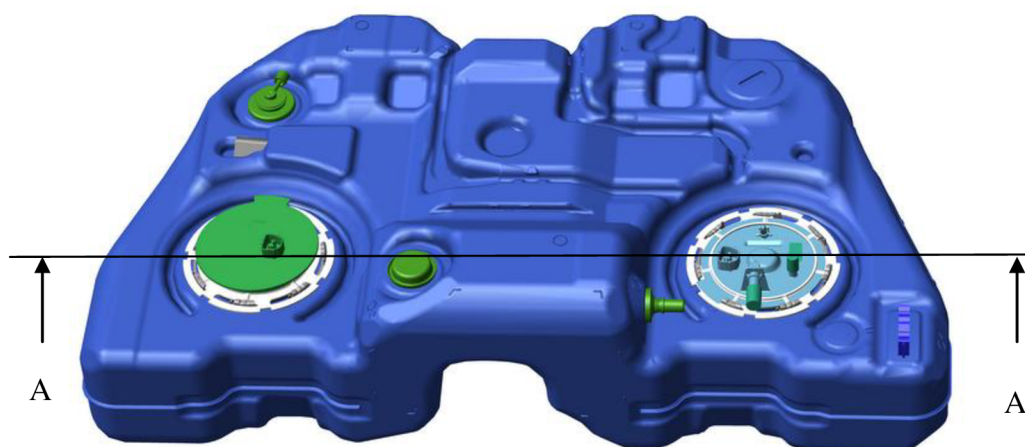
Porovnáním mezi jednotlivými vzorci zjistíme, že pro každé ze zmíněných proudění je určující jiný parametr.

TURBULENTNÍ proudění: Hustota plynu a rozdíl tlaků je u tohoto typu proudění určující. Vliv viskozity je omezen. Tento typ proudění je charakteristický pro velké úniky (Rychle proudící netěsnosti). Je vhodné detekovat ultrazvukovým snímačem.

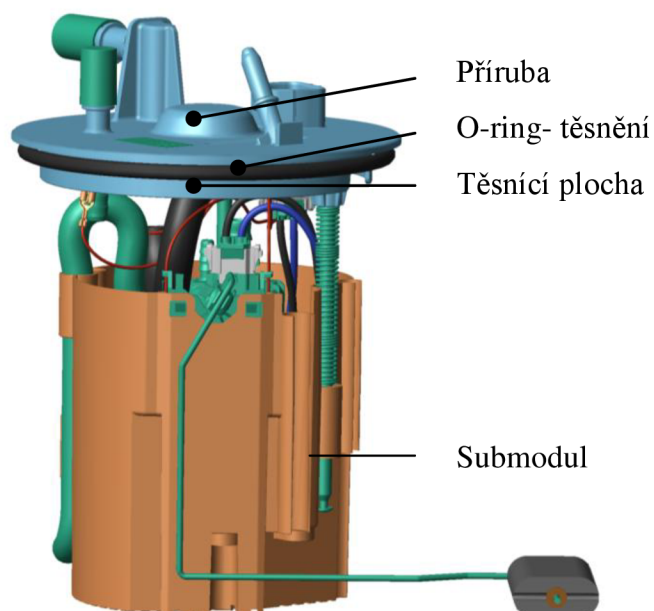
VISKÓZNÍ proudění: Pro toto proudění je charakteristická čtvrtá mocnina průměru a druhá mocnina tlaku. Délka a dynamická viskozita mají vliv jen lineární. Viskózní proudění je charakteristické pro středně velké netěsnosti.

MOLEKULÁRNÍ proudění: Největší vliv má při tomto typu proudění teplota a molekulová hmotnost. Viskozita nemá žádný vliv a tlak pouze lineární. Tento typ proudění se vyskytuje pouze u malých netěsností detekovatelných vodíkovou popř. heliovou zkouškou. Zajímavý jev u tohoto typu proudění je, že vede dva plyny dvěma různými směry. Při zkoušce netěsnosti heliem uniká molekulární netěsností helium a zároveň opačným směrem vnikají složky vzduchu, každá svojí parciální rychlostí.

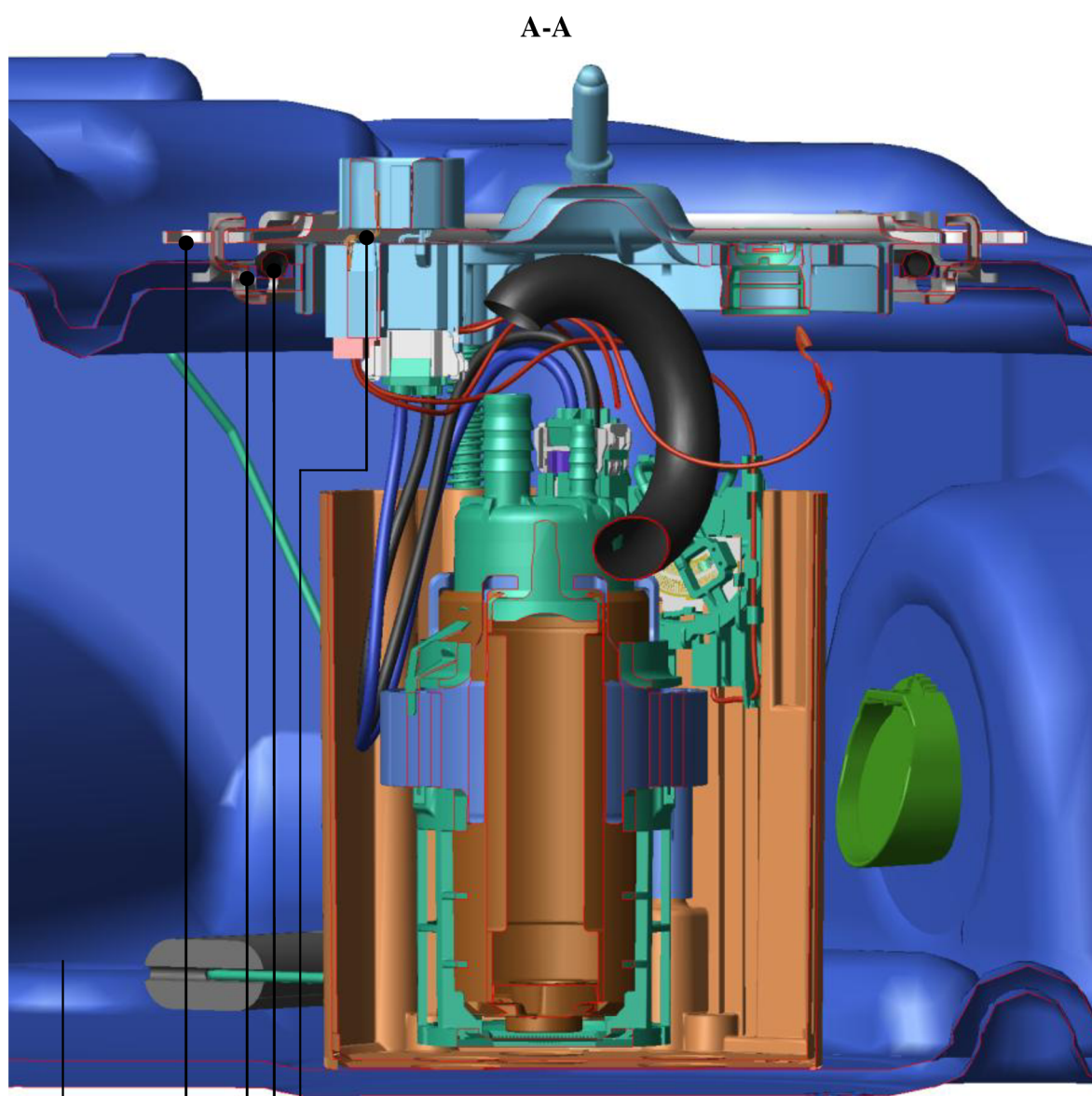
4 ZÁKAZNICKÉ POŽADAVKY TĚSNOSTI VŮČI RBCB



Obr. 5. Palivová Nádrž včetně palivového modulu-čerpádkla



Obr.6. Palivový modul detail



El. kontakty čerpadla a palivového senzoru

Těsnící kroužek nádrže

Těsnící plocha nádrže

Těsnící plocha příruby

Palivová nádrž

Obr.7. Řez palivovým modulem a nádrží

4.1 Postup zkoušení HELIEM dle zákaznické specifikace [10], [1]

4.2 Postup zkoušení na principu poklesu tlaku dle zákaznické specifikace

4.3 Budoucí zákaznické požadavky zkoušek těsnosti [4], [5]

Názorným příkladem může být zpřísnění kritérií dle normy LEVIII pro únik uhlovodíků z vozidla. To má za následek např. změnu materiálu příruby (plats→kov, změna permeace) viz. obr. 8 a následný vývoj nového produktu, změnu technologie výroby a investice do nových výrobních zařízení.

US emisní požadavky pro únik uhlovodíků

LEV	2,0 g / test with E0	car level	1994 – 2003
LEVII	0,5 g / test with E0	car level	2004 –
LEV II	0,5 g / test with E10	car level	2014 -
LEV III	0,35 g / test with E10 fuel	car level	2014 plan
LEV III	0,5 g / test with E10 fuel	LDT1/2 car level	2014 plan

EU emisní požadavky pro únik uhlovodíků

Euro III	2,0 g / test	car level	2000 – 2005
Euro IV	2,0 g / test	car level	2005 -
Euro V	2,0 g / test with E5	car level	2009 –
Euro VI	2,0 g / test with	car level	09/2014

5 MÉDIA POUŽÍVANÁ V RBCB

SUCHÝ VZDUCH:

K výrobě stlačeného vzduchu se používají kompresory, které stlačují vzduch na požadovanou hodnotu 6 a 10 bar. V RBCB jde o centrální výrobu vzduchu a jeho následný rozvod potrubím k pneumatickým zařízením.

Důležitým požadavkem je zabezpečení čistoty dodávaného vzduchu z důvodu zajištění životnosti výrobních zařízení.

HÉLIUM:

chemická značka **He**, (*lat. Helium*)

Jde o plyný chemický prvek patřící mezi vzácné plyny a tvořící druhou nejvíce zastoupenou složku vesmírné hmoty. Bezbarevný plyn, bez chuti a zápachu, chemicky zcela inertní. Atom hélia má velmi malý průměr, snadno difunduje i skrze pevné materiály. Helium se získává nejekonomičtějším způsobem ze zemního plynu.

Použití: Laboratorní, v sériové výrobě.

VODÍK:

chemická značka **H**, (*lat. Hydrogenium*)

Je nejlehčí a nejjednodušší plyný chemický prvek tvořící převážnou část hmoty ve vesmíru. Má široké praktické využití jako zdroj energie, redukční činidlo. Vodík je hořlavý a výbušný jen při dostatečně vysoké koncentraci. Pokud je vhodně zředěný 7%, je absolutně nehořlavý. Proto se vodík ve správné koncentraci může bezpečně používat při zjišťování netěsností. Jiné detekční plyny se také používají ve formě směsí, ale většinou z

důvodu snížení ceny. Vhodná koncentrace k používání je standardní směs s obsahem 5% vodík / 95% dusík, která je na průmyslové úrovni dostupná od většiny dodavatelů plynu. Její cena je jen zlomkem ceny hélia. Speciální směsi se dají vyrobit na objednávku, ovšem za mnohem vyšší cenu. 5% směs je klasifikovaná jako nehořlavá podle mezinárodního standardu ISO 10156. Tento standard nepopisuje jen posuzování limitů hořlavosti směsí plynů, ale prohlašuje také, že vodíkovo-dusíkové směsi obsahující méně než 5,7% vodíku jsou nehořlavé bez ohledu na to, jak se tato směs promíchává se vzduchem. Takto dodávané plyny se označují jako formovací.

Použití: Laboratorní, v sériové výrobě

SF₆:

Sulfur hexafluoride

Je anorganická sloučenina. Je bezbarvý, bez zápachu, netoxický, nehořlavý. Běžně se používal v krátkodobých experimentech výkonosti ventilace, těsnosti budov, dveří apod. Jeho koncentraci je možné měřit s dostatečnou přesností i v případě, že je nízká. Patří mezi skleníkové plyny, proto jeho požití podléhá normám.

Použití: Laboratorní

VODA

jako detekční kapalina

používá se – obvykle pitná nebo destilovaná - na bublinkové testy, kdy se pozoruje (někdy i počítá) únik bublinek netěsností. Použití: Laboratorní

6 DOSTUPNÉ MĚŘÍCÍ METODY [1], [2], [7], [8], [9]

Mezi nejrozšířenější zkoušky těsnosti ve fa. Robert Bosch České Budějovice patří testy těsnosti založené na principu změny tlaku. Jejich správná funkce je založena na tvrzení, že v hermetickém systému se existence netěsnosti musí projevit změnou tlaku v plynu. V případě přetlakového systému dochází k poklesu tlaku. Pokud jde o systém podtlakový (vakuový) dochází naopak k jeho nárůstu. To je základ celé skupiny metod, které budou popsány v dalších kapitolách. Měření a vyhodnocení vychází ze stavové rovnice.

6.1 Metoda na principu poklesu tlaku [2], [8]

Principem je měření poklesu tlaku ve vzorku obr. 8, ke kterému dochází v důsledku netěsnosti vzorku za určitý čas. Tato metoda je použitelná pro odhalení úniku do 0,1 SCCM.

Test se skládá z následujících kroků:

Založení zkoušeného dílu do přípravku

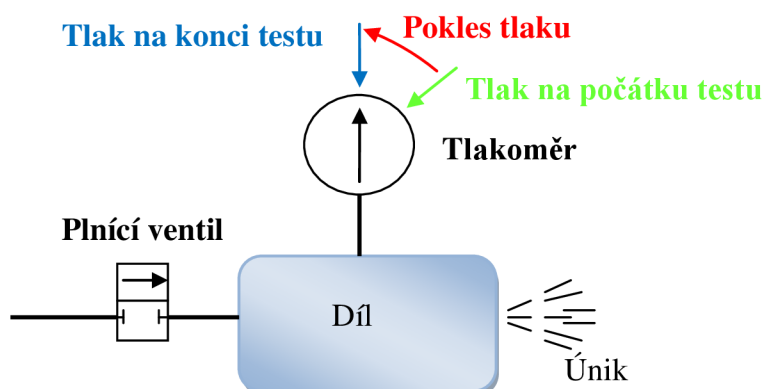
Připojení dílu, přípravku ke zkušebnímu tlaku „ natlakování “

Odpojení od dílu, přípravku od zdroje tlaku

Stabilizace zkušebního média

Měření poklesu tlaku za čas

Přepočet na hodnotu úniku



Obr. 8 Metoda poklesu tlaku

Vyhodnocení zkoušky

Pro početní vyhodnocení zkoušky je použito stavové rovnice pro ideální plyn, z Charles a Boyleova zákona.

Z toho pak obecná forma pro netěsnost:

$$Q_1 = \frac{\text{rozdíl tlaku} \times \text{objem}}{\text{rozdíl času}} \quad \left[\frac{\text{mbar} \times \text{l}}{\text{s}} \right] \quad [16]$$

Důležité je u všech zkoušek pracujících s tlakem zahrnout vliv změny teploty při tlakování systému. V důsledku komprese plynu do zkoušeného objemu dochází k jeho ohřívání. Při velkých objemech může být rozdíl teplot zásadní pro výsledek zkoušky. Např. při tlakování systému příruby bez výplně dojde k ohřátí plynu a zvětšení objemu. Při jeho zchladnutí se zmenšuje i objem a zařízení vyhodnocující pokles tlaku může vyhodnotit OK díl jako NOK (neshodný) v důsledku velké ztráty objemu způsobené zchladnutím. Alternativou k tomuto typu testu je metoda měření poklesu tlaku proti referenčnímu dílu.

Při tomto testu se porovnává zkoušený díl s dílem referenčním, který má definovanou hodnotu úniku měřenou na přesnějším zařízení než je zkušební. Referenční těleso musí být velikostí a tvarem shodné s dílem zkušebním. Výsledkem zkoušky je pak porovnání úniku referenčního a zkoušeného dílu. Pokud je únik zkoušeného dílu roven nebo menší než je hodnota referenčního dílu, je výsledek považován za uspokojivý a díl vyhodnocen jako OK.

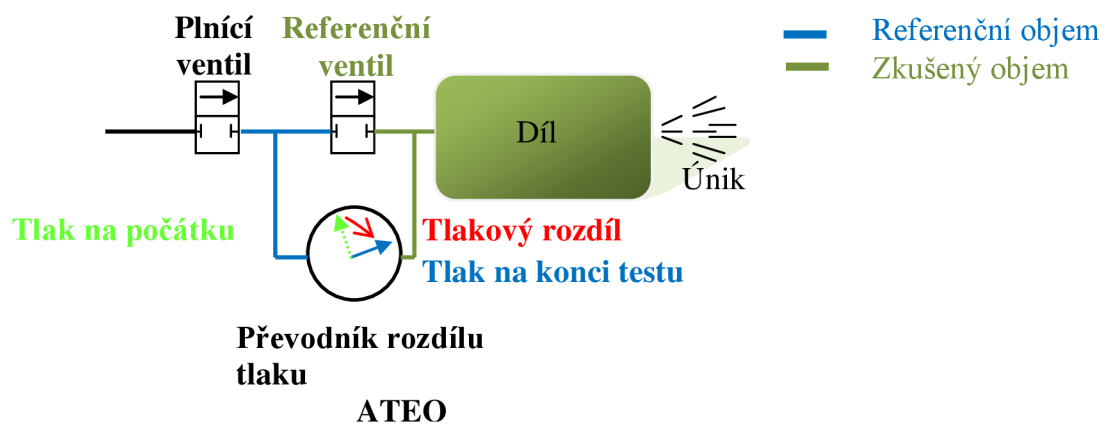
6.2 Diferenciální metoda na principu rozdílu tlaku [2], [8]

Podobně jako metoda měření poklesu tlaku také tato metoda měří pokles tlaku ve vzorku za určitý čas způsobený netěsností vzorku. Hlavním rozdílem je, že se měří změna tlaku ve vzorku vzhledem ke změně tlaku v referenčním objemu. Používají se snímače tlaku, schopné zachytit i velmi malou změnu tlaku (v řádu Pascalů). Tato metoda je použitelná

pro odhalení úniku do 0.01 SCCM.

Test se skládá z následujících kroků:

- Založení zkoušeného dílu do přípravku
- Připojení dílu a referenčního okruhu ke zkušebnímu tlaku „natlakování“ na zkušební hodnotu
- Odpojení od dílu a referenčního okruhu od zdroje tlaku
- Stabilizace zkušební média
- Měření rozdílu tlaku
- Převedení na hodnotu úniku



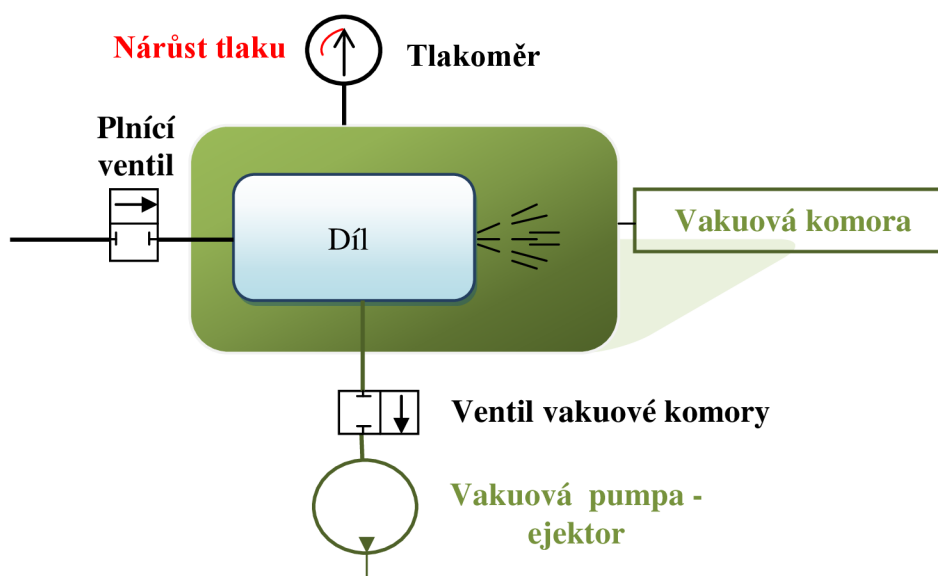
Obr. 9 Metoda rozdílu tlaku

6.3 Metoda na principu nárůstu tlaku [2], [8]

Při této metodě se testovaný vzorek nachází v prostředí s výrazně nižším tlakem než je ve vzorku. Tlak prostředí je nižší než atmosférický tlak. Mezi vzorkem a prostředím vzniká tlakový spád. Dochází k úniku tlaku ze vzorku do prostředí. Měří se změna tlaku v prostředí, která je způsobena plynem, jenž unikl ze vzorku. Touto metodou mohou být testované i vzorky s jinou než pokojovou teplotou. Tlak ve vzorku může být atmosférický, ale z důvodu urychlení testu se v praxi používá přetlak ve vzorku.

Test se obvykle skládá z následujících kroků:

- Evakuace komory, ve které se vzorek nachází na požadovaný podtlak (p_{abs})
- Evakuace vzorku na požadovaný podtlak
- Natlakování vzorku na požadovaný objem testovacím plynem
- Stabilizace systému
- Měření změny tlaku v okolí vzorku

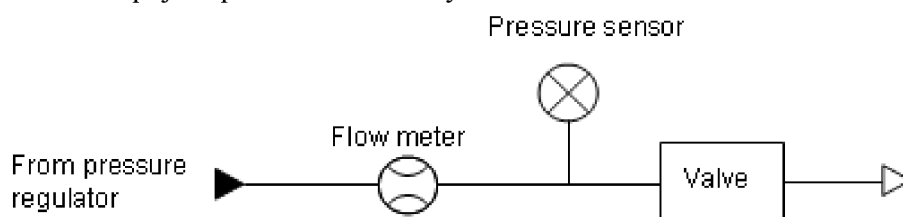


Obr. 10 Metoda nárůstu tlaku

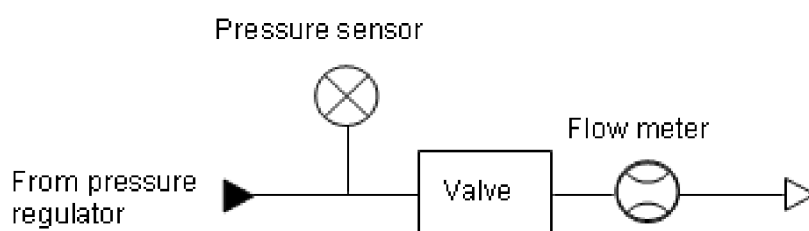
6.4 Metoda na principu měření průtoku plynného media [8]

Principem je měření průtoku media daným průřezem za jednotku času při známé hustotě měřeného plynu. Tato měřidla využívají princip ochlazování žhaveného drátku proudícím měřeným médiem. Při měření ve volném prostředí fungují jako anemometry. Pokud se jimi měří rychlost proudění v uzavřených systémech za definovaných podmínek, pak měří průtok (termální průtokoměry). Metoda využívá buď měření ochlazení žhaveného drátku, nebo spotřebovaný elektrický výkon pro zachování stále stejné teploty ochlazovaného drátku. Tato metoda pracuje s přesností **0,01 SCCM**

Schéma zapojení průtokoměru do systému:



Obr.11 Ok zapojení



Obr.12. NOK zapojení

6.5 Metody na principu úniku bublin v kapalném mediu [8]

Bublínkové metody využívají několik technik zkoušení. Základem je zviditelnění média (plynu) pronikajícího netěsností tím, že prochází kapalinou nebo pěnivým roztokem. Souvislý vývoj bublin je jasným důkazem netěsnosti.

Princip testu spočívá v ponoření testovaného vzorku do nádoby s kapalinou, nejčastěji demineralizovanou vodou s přísadou pro zmenšení povrchového napětí a protikorozní přísadou, a natlakování zkoušeného vzorku vzduchem popřípadě jiným plynem.

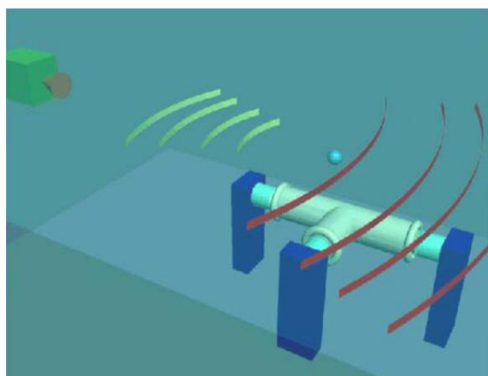
Po ustálení hladiny se pozoruje únik bublin na hladině nebo ve zkušební nádobě. Zkušební nádoba je nejčastěji otevřená a pro menší díly průhledná. Další alternativou bublínkového testu je aplikace detekčního média na vnější povrch vzorku. Viz obr. 13 netěsnost je pak možné pozorovat jako bubliny vznikající v místě úniku. Jako zkušební plyn se nejčastěji volí čistý, vysušený vzduch. Je možno použít také dusík a kterýkoliv inertní plyn (He, Ar, SF₆). Jedná se také o jednu z mála metod, kde může být místo úniku přesně určeno.

Způsoby vyhodnocování úniku bublin:



Vizuální metoda - operátor pozoruje fyzicky únik ze vzorku. Jde pouze o informativní metodu bez přesně určené hodnoty úniku. V některých případech se dá korelovat počet unikajících bublin za jednotku času k hodnotě úniku. Tato zkouška je vhodná pro rychlé vyhodnocení úniků do 10^{-4} mbar.l/s = 0,006 ml/min

Obr. 13 Zobrazení netěsnosti pomocí emulze



Ultrazvuková metoda – unikající bubliny ze vzorku jsou detekovány pomocí ultrazvukového senzoru viz. Obr. Použitím této metody se dá dosáhnout při specifických podmínkách přesnosti měření 0,001 SCCM.

Obr. 14 Zobrazení detekce bublin pomocí ultrazvuku



Popsat metodu, kdy se bubliny pozorují v průhledné nádobě

Obr. 15 Pozorování bublin v průhledné nádobě

6.6 Metoda na principu hledání uhlovodíků [1]

Pro detekci se nejčastěji využívá některý z následujících fyzikálních principů

Rozdílná tepelná vodivost: Tepelná vodivost par a plynů je rozdílná. Pokud budeme v proudu plynu zahřívat element, bude jeho ochlazení tím větší čím větší je velikost tepelné vodivosti určitého plynu. Například vezmeme-li dva stejným příkonem vytápěné elementy, jejichž snímače jsou zapojené do můstku, z nichž jeden bude v proudu vzduchu a druhý v proudu plynu s rozdílnou tepelnou vodivostí. Jejich konečná teplota bude různá a můstek se rozváží.

Rozdílná absorpce infračerveného záření: Jde o podobný způsob jako předchozím případě. Plyny a páry při průchodu infračerveného záření jeho část absorbují a tak ovlivňují jeho intenzitu. Pokud vezmeme dva stejné duté válce a na jednom z konců bude zdroj infračerveného záření a na druhém konci zařízení citlivě detekující intenzitu dopadajícího infračerveného záření zapojené do můstku. Můstek se opět v tomto případě rozváží v důsledku rozdílných teplot na obou detekčních zařízeních.

Měření na principu katalytického spalování: V přítomnosti vhodného katalyzátoru dochází k hoření i za velmi malých koncentrací vzduchu a spalitelných uhlovodíků. Katalytické hoření probíhá bezplamenným způsobem, nicméně vývoj tepla si tento druh spalování uchovává. Poté při proplachu katalyzátoru vzdušinou dochází k vývinu tepla úměrné ke koncentraci spalitelných složek. Toto teplo je měřitelné jako změna teploty katalyzátoru.

Všechny tři způsoby se využívají zejména k detekci sloučenin par benzínu, acetonu, alkoholu, propan-butanu, zemního plynu a par lehkých olejů.

6.7 Metoda na principu detekce helia [7], [9]

Zařízení pracuje na principu hmotnostního Dempsterova spektrometru (MSLD – Mass Spectrometr Leak Detector) s magnetickou separací (detekce pouze helia) nebo jako průletový kvadrupólový spektrometr (širší spektrum detekovatelných látek). Oba principy jsou známy zhruba od roku 1940 v souvislosti s jadernou technikou. Použití je zcela universální a rychlostí stačí výrobním linkám.

Tato metoda detekce netěsnosti spočívá v použití tzv. značkovacího plynu - helia, který je zaveden do testovaného objektu připojeného k detektoru netěsností. Detektory jsou nastaveny právě na hmotnost helia ^4He . Helium unikající z/do testovaného objektu proniká do detekčního systému, kde je měřen jeho parciální tlak a výsledky jsou zobrazovány na displeji. Princip detektoru netěsností využívá magnetického sektorového hmotnostního spektrometru. Analyzované vstupní plyny (v našem případě Helium) jsou ionizovány ve vakuu. Ionty Helia jsou urychlovány za pomoci přiloženého napětí a dále separovány v magnetickém poli. Proud iontů je za pomoci speciálního detektoru převeden na elektrický proud, který je následně zesílen a zobrazen na displeji ve formě jednotek úniku (netěsnosti). Měřený proud je úměrný koncentraci helia a tudíž i měřenému úniku. Tato metoda pracuje s přesností až 1×10^{-9} mbarl/s.

Kompletní detektor netěsností jako systém se skládá z následujících modulů:

- Hmotnostní spektrometr nastavený pro detekci Helia
- Vakuový systém pro udržování dostatečně nízkého tlaku ve spektrometru
- Primární vakuová pumpa pro evakuaci testovaného objektu
- Ventily, které umožňují řídit jednotlivé fáze měřicího cyklu od evakuace přes testování k zavzdušnění
- Elektronický měřicí a řídicí systém
- Napájecí zdroje pro jednotlivé komponenty - ventily, ochranné obvody atd.
- Upínací zařízení (adapter), které zajišťuje připojení testovaného objektu k detektoru



Obr. 16 Komplexní měřicí zařízení pro detekci helia od fa. Pfeiffer Vacuum

6.7.1 Hledání úniku helia skenováním

Při této zkoušce je zkušební objem naplněn heliem o příslušném tlaku. Případnou netěsností uniká helium do volné atmosféry. Ruční sonda nasává vzduch a dopravuje ho k heliovému hledači. Tento způsob se využívá pro objekty s místem předpokládaného úniku (svary, ventily, kohouty). Citlivost této zkoušky se pohybuje až do 1×10^{-6} m.bar.l/s. Větší hodnoty úniků rychle kontaminují ovzduší a znemožňují detekci úniku.

U těchto typů zkoušení se musí dbát na průchodnost hledané netěsnosti, a proto jsou zkušební díly před testem čištěny. Kontaminace vodou, tuky apod. by významně ovlivňovaly test. Životnost atmosférických sond je omezená. Proto musí probíhat časté kontroly měřicího zařízení pomocí kalibračních netěsností (kapilární kontrolní netěsnost), kterou kontrolujeme životnost a pak účinnost sondy.



Obr. 17 Princip zkoušky: vnikání helia do vakua

6.7.2 Hledání úniku jímáním do rukávce

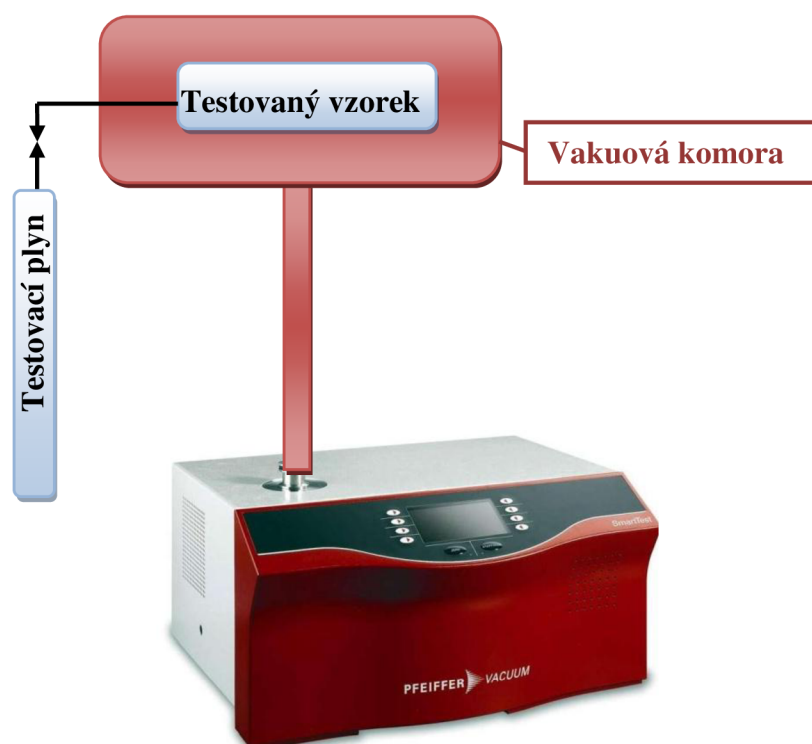
Jde o obdobnou metodu jako je skenování s tím rozdílem, že předem vytypované možné místo uniku je umístěno do plastové folie, ve kterém se zvyšuje parciální tlak unikajícího plynu He. Tato technika umožňuje zvýšit citlivost až na $1 \times 10^{-8} \text{ m.bar.l/s}$ za předpokladu vhodně utěsněné komůrky a dostatku času.

6.7.3 Hledání úniku jímáním do komory

Zkouška je opět obdobou zkoušky předchozí s rozdílem, že případná netěsnost uniká do vakua v kovové zkušební komůrce, kde vzrůstá parciální tlak He. Velikost tlaku je přímo úměrná času a nepřímo úměrná objemu jímacího prostoru. Takto konstruované zařízení z předpokladu vysoké těsnosti celého systému a zvyšování zkušební tlaku je schopno detekovat netěsnosti až o dva řády citlivěji než předchozí metoda.

6.7.4 Hledání úniku helia vnikáním do vakua – skenováním

Tento princip zkoušky spočívá v připojení zkušební tělesa na hrdlo heliového hledače. Pomocí čerpací soustavy se v dutině zkoušeného tělesa vytvoří vakuum. Kolem potenciálně možných netěsností se z vnější strany ofukuje zkoušený díl. Helium proniká z venku do vakua a je detekováno v řádu $1 \times 10^{-11} \text{ m.bar.l/s}$. viz. obr. 18.



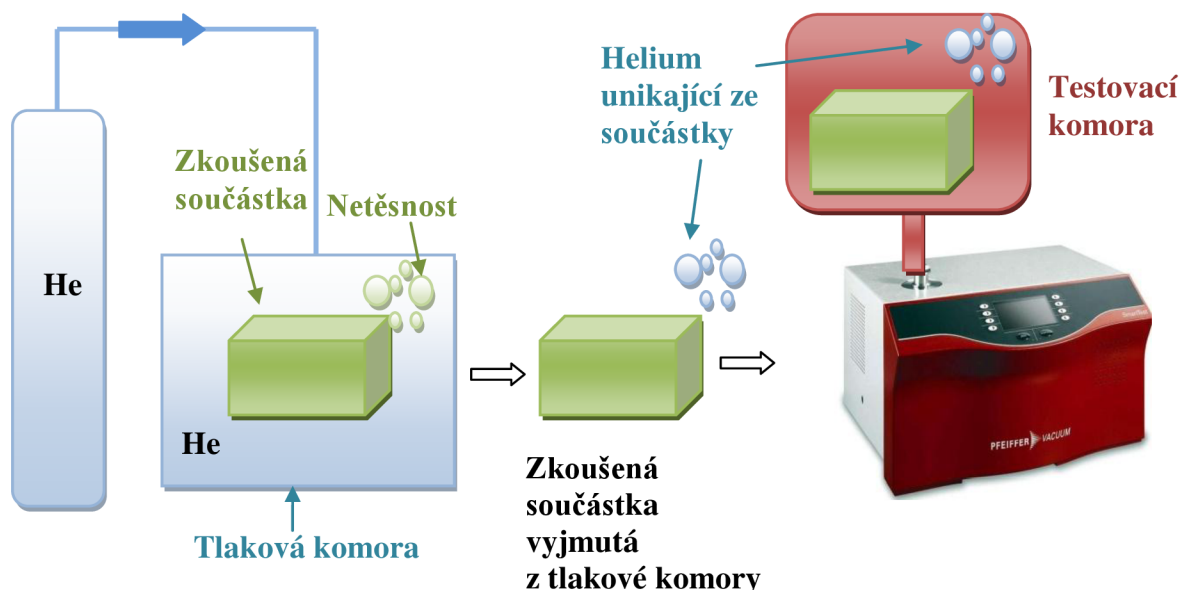
Obr. 18 Princip zkoušky vnikání helia do vakua

6.7.5 Hledání úniku pomocí dvou komor

Základem tohoto typu zkoušky je dvojice komor ustavená na zkoušený díl proti sobě. Zkouška obvykle začíná vizuální kontrolou dílu. Je nutné, aby díl neobsahoval žádné škrábance nebo rýhy, které by znemožňovaly hermetické připojení obou komor. Díl se vloží do zařízení a spustí se vakuová vývěva. Po dosažení dostatečného vakua je vývěva vypnuta. Po té se připojí druhá komora zařízení a začne se odsávat prostor mezi dílem a druhou komorou na požadovanou hodnotu vakua. Po dosažení se vhodného vakua je vývěva vypnuta a do odsátého prostoru se začne vpouštět helium. Tlak helia bývá obvykle 80% atmosférického tlaku. Na tomto tlaku se setrvá po celou dobu zkoušky. Po ukončení testu se obě komory napustí vzduchem a dojde k vyjmutí dílu.

6.7.6 Hledání úniku akumulací helia - bombing test

Zkušební zařízení je složeno ze dvou základních částí, plnicí a zkušební. Základem plnicí části je tlaková komora, do které se vkládá zkoušený vzorek. Tlaková komora je připojena ke zdroji helia a zároveň k vývěvě vytvářející vakuum. Zkušební zařízení je vybaveno heliovým hledačem.



Obr. 19 znázornění Bombing testu

6.8 Metoda na principu detekce vodíku [8]

Vodíkové detektory netěsností pracují metodou detekce vodíku unikajícího přes netěsnost zkoušeného subjektu. Subjekt je naplněn detekčním plynem, který je v tomto případě směsí 5% H_2 / 95% N_2 . Princip je založen na čidlu – senzoru - zabudovaném v krčku sondy, které je extrémně senzitivní na vodík. Detekovaný vodík je tímto čidlem pohlcovaný, jeho elektrony jsou přeměněné na malé napětí, které je následně na zesilovači podle potřeby zesílené a výsledný signál je přístrojem vyhodnocený. Sonda nemá žádné nasávání, funguje na principu rozptylu uniklého vodíku okolo netěsnosti. Nenasává proto žádný vzduch, prach a jiné nečistoty.

Rozšířena mylná představa, že výbušnost vodíku znemožňuje využít jeho výhodných vlastností při kontrole netěsností. Ve skutečnosti je vodík hořlavý jen při koncentraci v rozsahu 4% - 75% ve vzduchu nebo kyslíku a k výbuchu může dojít jen při koncentraci 18% - 60% ve vzduchu nebo kyslíku. Při použití rozředěného vodíku lze jakémukoliv riziku úplně předejít. Standardní vodíko-dusíkové směsi se například běžně používají jako ochranná atmosféra v průmyslových tavných pecích.

Extrémně nízká hmotnost vodíku je užitečná při provádění celkové kontroly těsnosti tj. při kontrole celého objektu naráz namísto samostatné kontroly celého povrchu. Testovaný objekt se jednoduše uzavře do ochranného krytu, kde se vzduch odsává ventilátory. Tato technika je často neúspěšná při těžších plynech, ale extrémně dobře funguje s vodíkem. Metoda s použitím vodíkového detektoru, který pracuje při atmosférickém tlaku, je mnohem rychlejší než běžná vakuová metoda. Absence vakuové pumpy na získání podtlaku a detekci detekčního plynu šetří zkušební času. Další důvod použití vakuové pumpy ve spojení s heliovými zkouškami je redukce úrovně plynu v prostředí. Toto je při použití vodíku málokdy potřebné.

6.9 Porovnání metod

Pro detektory, které se používají pro detekci značkovacích plynů v testech netěsností, kdy plyny nejsou zcela vyčerpány, je limit detekce určen koncentrací nebo přesněji úrovní pozadí značkovacího plynu v okolní. Vzduch, který v ideálním případě vykazuje hodnoty koncentrace helia 5ppm ($1\text{ppm}=1/1000000=0,0001\%$) a pro vodík je to 0,5 ppm. Díky tomuto rozdílu můžeme předpokládat, že zkouška za použití vodíku by měla být výrazně citlivější, protože se dá očekávat desetkrát nižší signál hodnoty pozadí značkovacího plynu.

Kvůli výbušnosti vodíku je zapotřebí pracovat s formovacím plynem, který je ředěn v poměru 95% N, 5% H. Díky naředění je citlivost detekce snižena dvacetkrát. To ukazuje na fakt, že měření za pomoci helia by mělo být použitelné s dvakrát větší citlivostí než u vodíku.

Další, který ovlivňuje porovnání těchto dvou metod je viskozita formovacího plynu, která je o 10 % nižší než viskozita helia. Množství proudícího helia potenciální netěsností je nižší než množství vodíku. Nicméně u heliové zkoušky je helium nuceně nasáváno díky vývěvě, která vytváří podtlak. Tímto způsobem se k heliovému hledači dostane větší množství obsahu než při vodíkovém testu, který probíhá bez nuceného nasávání plynu.

Díky těmto faktům lze říci, že v praxi je použití Helia popř. Vodíku srovnatelné. Ve skutečnosti, je celá řada jiných faktorů, které ovlivňují výsledky testů více, než teoretické rozdíly značkovacích plynů (netěsné ventily regulátorů, úniky regulátorů, další zdroje plynu)

Proto je hrubým odhadem většinou očekáván detekční limit 10-7mbar.l/s bez ohledu na to, jestli je využito helium nebo formovací plyn. Nižší hodnoty limitu detekce jsou většinou spíše reklamní triky, než seriózní technická data.

V příložené rozhodovací matici tab.20 je posouzena celá řada vlastností a aspektů vybraných metod. Na základě hodnocení ve skupině bylo provedeno ohodnocení jednotlivých metod a byla vybrána dvě zařízení vhodná k porovnání.

Tab. 20 porovnání dostupných metod zkoušek těsnosti.

7 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části je řešen stav a optimalizace dvou v současnosti používaných měřících zařízení vybraných na základě rozhodovací matice. Řešeným problémem bylo navržení vhodné metody pro seriové použití. Cílem bylo využít potenciál stávajících metod měření pro nové přísnější kritéria vyhodnocování úniku.

Výsledkem je návrh vhodné metody schopné plnit nově požadované zákaznické kritéria a zároveň splňovat interní požadavky fa. Robert Bosch spol.s.r.o

7.1 Úvod do problematiky zkoušení těsnosti přírub

V současnosti jsou v závodě RBCB instalovány všechny typy zkušebních zařízení zmíněných v úvodních kapitolách. Pro seriové podmínky jsou používány pouze čtyři typy zkoušek. Jde o zkoušku vodíkovou, zkoušku heliovou, zkoušku na principu rozdílu tlaku a

zkoušku na principu průtoku plynného média. Ostatní metody zkoušek jsou využívány pouze laboratorně.

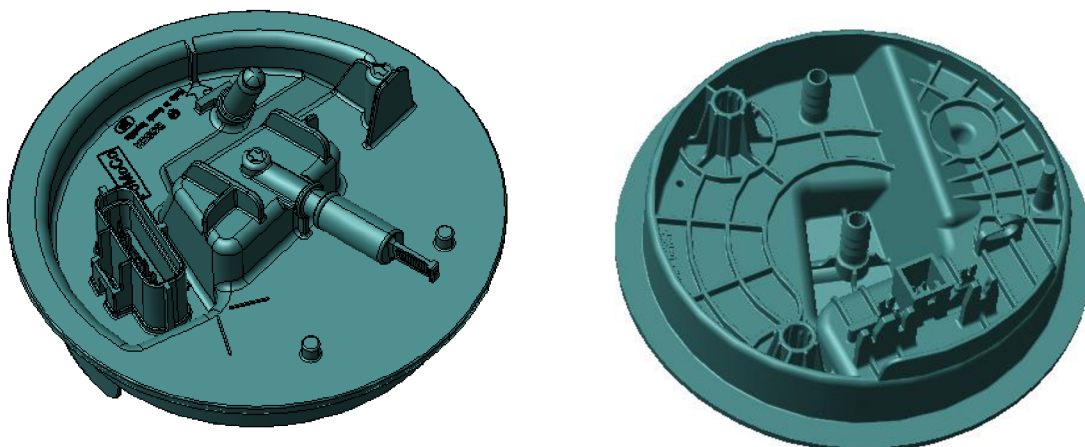
Z ekonomickotechnických důvodů je cílem RBCB používat co nejefektivnější metodu zkoušení, tzn. metodu schopnou, způsobilou, rychlou a ekonomicky dostupnou. Pohled na požadavky ve výhledu 5-ti let ukazují na stále se zpřísňující se kritéria zákazníků. Proto je vhodná volba metody v současnosti klíčová. Zajištění schopnosti plnit zákaznické požadavky je prioritou. Na základě rozhodovací matice v předchozí kapitole byly jako nejvhodnější metody vybrány metoda diferenciálního poklesu tlaku a metoda heliová. Analýzou obou testovaných systémů zjistíme v další kapitole možnost použití při současných a budoucích podmínkách.

7.2 Výroba testované součásti a základní funkce [16]

Testovaná součást viz. obrázek 18 je jako jedna z mnoha vyráběna v závodě Robert Bosch České Budějovice. Součást je vyráběna technologií vstřikování plastů. Jde o termodynamický cyklický tvářecí proces. Plastické hmoty jsou pro vstřikování dodávány ve formě granulátu. Tento granulát je dodáván v oktábiních nebo je uložen ve velko kapacitních zásobnících. Plastový granulát je přepravován centrálním rozvodem z oktabinů, sil do sušících násypků jednotlivých vstřikovacích lisů. Před jeho přivedením do stroje je granulát zpravidla nutno zbavit vlhkosti (vysušit při teplotě do 150 °C). Z násypky je granulát nabírán šnekem vstřikolisu do plastifikační jednotky, kde je nahříván na požadovanou vstřikovací teplotu (150 °C – 400 °C). Zahřátí se též děje protitlakem (plastifikací) a otáčením šneku. Po nahřátí v plastifikační jednotce je tekutý plast (tavenina) vstříknut vysokým tlakem (až 250 MPa) do vstřikovací formy (nástroje). Nástroj je zpravidla nutno chladit (temperovat) na provozní teplotu (cca 20 °C – 150 °C).

Čas jednoho cyklu vstřikování bývá řádově v sekundách. Vstřikování se děje přímočarým pohybem šnekového pístu. Konec šneku je opatřen zpětným uzávěrem, aby tavenina tekla pouze směrem do nástroje. Po vstříknutí je nutno nastavit čas ochlazení. Po tomto čase se forma otevře a díl je vyjmut z nástroje pomocí ocelových trnů, vyhazovačů. V případě testované příruby je díl vysunut z formy pomocí vyhazovače a pomocí manipulátoru je přenesen na pohyblivý pás. Během přenosu dílu je odstraněna přebytečná vtoková soustava. Souběžně s vyhazováním dílu z nástroje, již vstřikovací šnekový píst nabírá otáčením nový materiál pro další cyklus.

Řízení stroje umožňuje měnit parametry vstřikovacího procesu jako je vstřikovací tlak, dotlak nebo vstřikovací rychlost pro dosažení optimálních vlastností dílu. Elektronická výbava lisu dovoluje sledovat stabilitu parametrů a překročení nastavených mezí.



Obr. 21 testovaná příruba

Základní funkce testovaného dílu

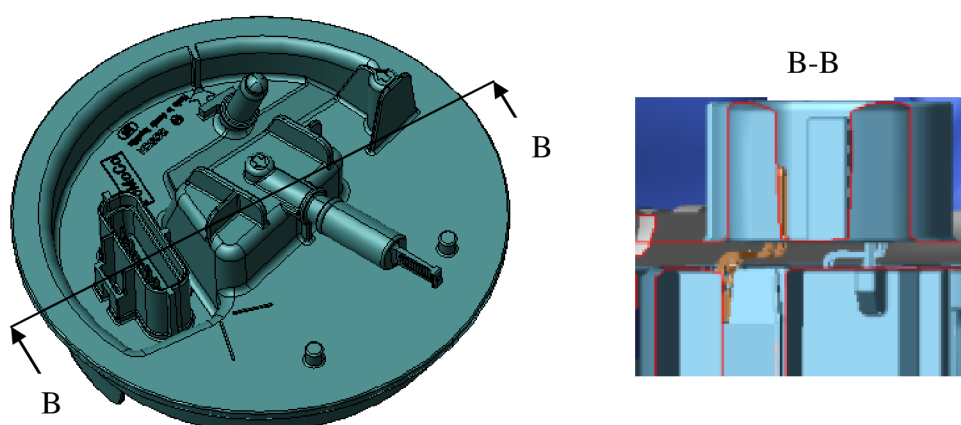
- Těsnící element montážního otvoru nádrže
- Přenos el. signálu ukazatele paliva do řídicí jednotky
- Vodivé spojení mezi zdrojem el. energie a palivovým čerpadlem vně modulu
- Fixační prvek pro submodul umístěný v nádrži



Obr. 22 Vstříkolis s vyhazovačem a stříhacím automatem, a) dvou kavitová vstříkovací forma, b) hydraulický vstříkolis, c) stříhací automat, d) pásový dopravník

Nejvýznamnější podíl na případné netěsnosti dílu nese spojení plastu a kovových kontaktů přenášejících el. signál od ukazatele paliva do řídicí jednotky automobilu popř. napájecí kontakty pro elektrickou pumpu dopravující palivo k vsírkovačům, vysokotlakému čerpadlu viz obr 23.

Netěsnosti způsobené např. špatným vystříknutí dílu jsou téměř vyloučené z důvodu statistického sledování výrobního procesu a neustálou kontrolou výrobních parametrů. Z tohoto důvodu lze konstatovat, že hlavním místem potenciálního uniku jsou zmíněné netěsnosti kolem el. kontaktů.



Obr.23 Model palstové přírubby a detail řezu vedeného el. zásuvkou

7.3 ANALÝZA STAVU ZAŘÍZENÍ ATEQ F520 A HELIOVÉHO TESTU fa. LAB-TECH [12], [14], [15]

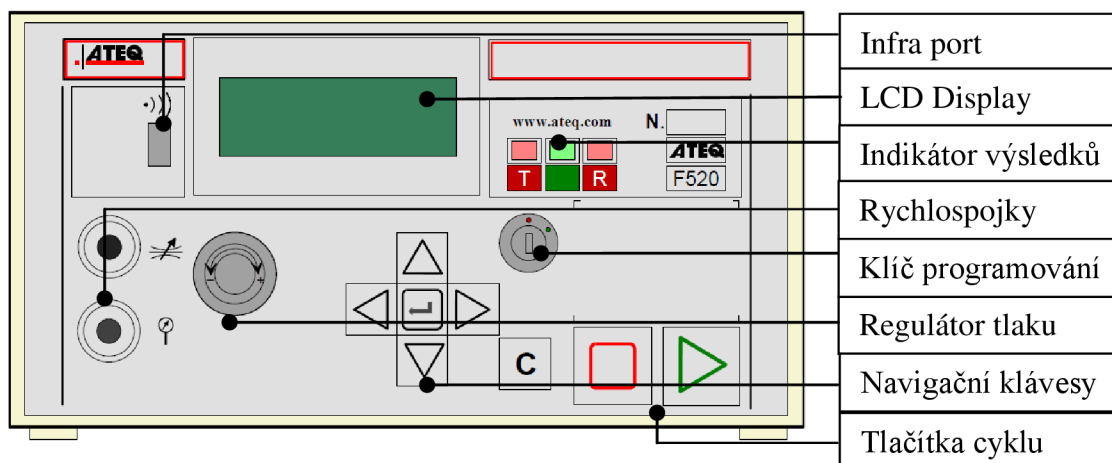
Hlavním cílem celé práce je nalézt mezi současně dostupnými metodami měření těsnosti optimální zkušební zařízení pro nově nadcházející normy, které snižují hraniční hodnotu úniku uhlovodíků z palivových nádrží. Analýzou dostupných zařízení budou jasně definované požadavky na zkušební metodu a náklady s tím spojené s ohledem na maximální možné využití stávajících zařízení a metod použitých v RBCB.

Na základě rozhodovací matice byla vybrána dvě zařízení.

7.3.1 Popis zařízení ATEQ – diferenciální pokles tlaku [2], [8]

Jde o kompaktní detektor netěsností vhodný pro automatické testování sériové produkce výrobků, ale je vhodný i pro použití v laboratořích či zkušebnách. Metodika měření je založena na snímání velmi malých diferenčních tlakových poklesů mezi referenční a testovací částí pneumatického obvodu za definovaného zkušebního tlaku.

Zařízení může pracovat samostatně jako na obr. 24 nebo může být součástí kompletní poloautomatické stanice s řízením např. VEP30 nebo BT 200.

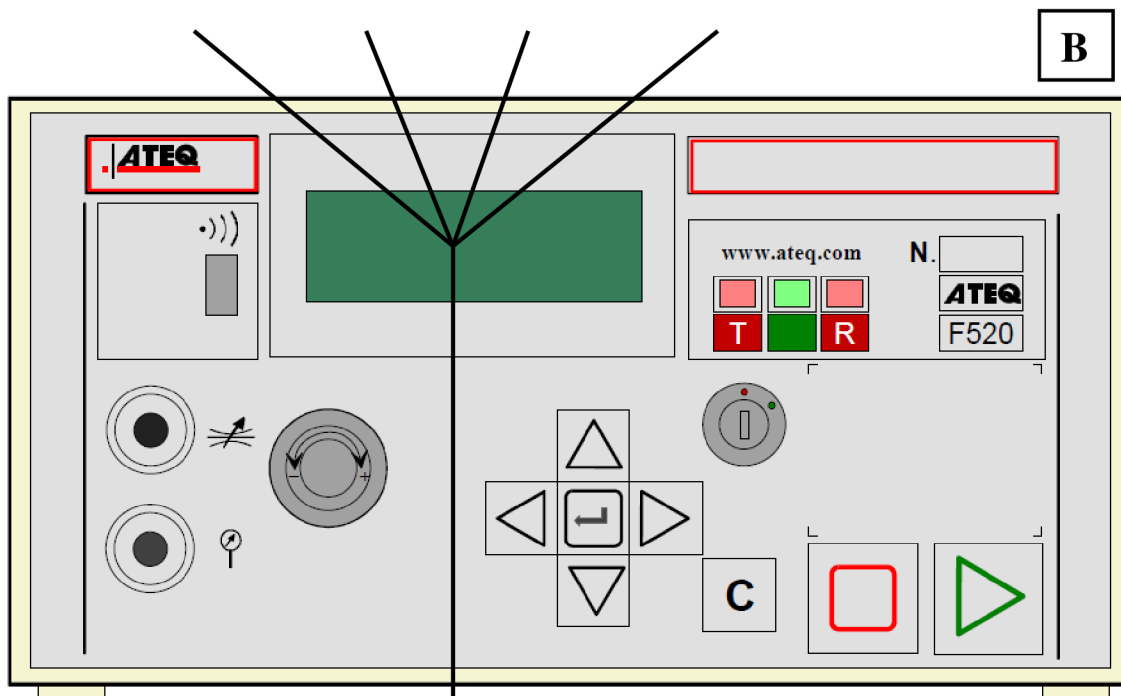
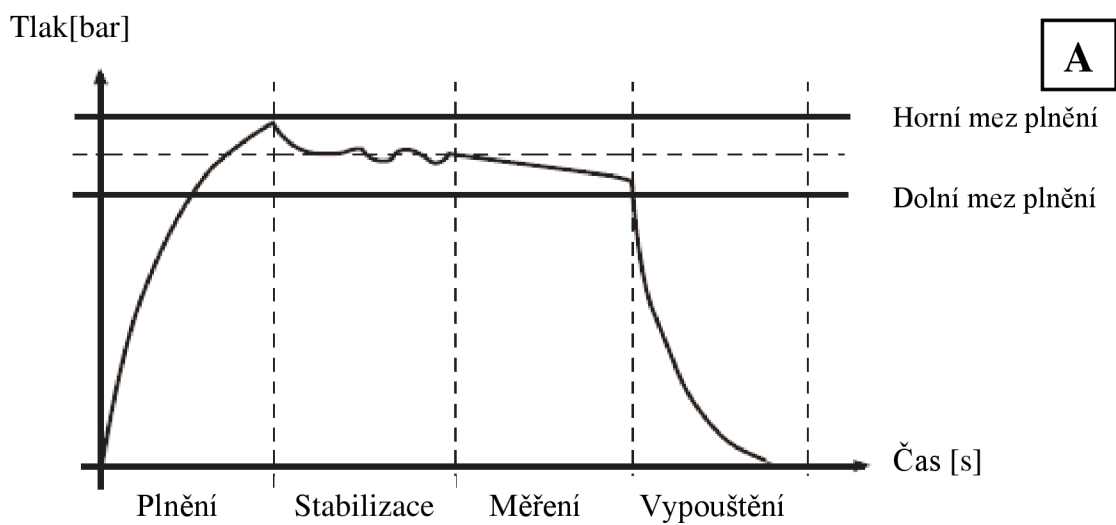


Obr. 24 Měřicí zařízení ATEQ F520

Zkoušky těsnosti probíhají na stejném oddělení jako jejich výroba. Cílem je zamezit logistickým převozům dílů, které mohou negativně ovlivňovat výsledky zkoušek viz. analýza příčin a následků. Postup zkoušení a současné parametry zkoušky jsou popsány níže.

Název stroje:	System testování netěsnosti přírub
Typ:	ATEQ F520
Výrobce:	ATEQ
Technická media:	Tlakový vzduch 6 bar
Pracovní podmínky:	Prostředí s normálními vlivy (ČSN 33 2000-3)
Teplota okolí:	Pracovní 10 ÷ 45 °C (významně ovlivňuje výsledek zkoušky)

Průběh měření zkoušky vzduchem na principu diferenciálního poklesu tlaku znázorňuje obrázek 25.

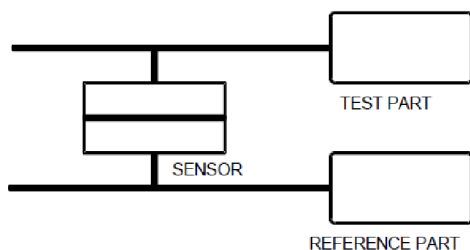


Obr. 25 ukazuje A) průběh zkoušení těsnosti přírub B) měřicí zařízení ATEQ C) vizualizace průběhu zkoušky na testovacím zařízení: Plnění = FILL, Stabilizace = STABILISATION, Měření = TEST, Vypouštění = DUMP.

7.3.2 Základní typy testů ATEQ F520 [2]

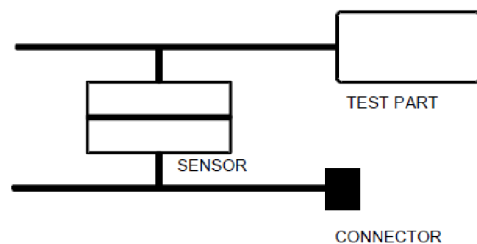
Existují tři základní typy testů na zařízení ATEQ F520.

Test s referencí: měření relativního poklesu tlaku mezi testem a referencí. Ideální podmínky stejná součást a pneumatické spojení na straně testu i na referenci



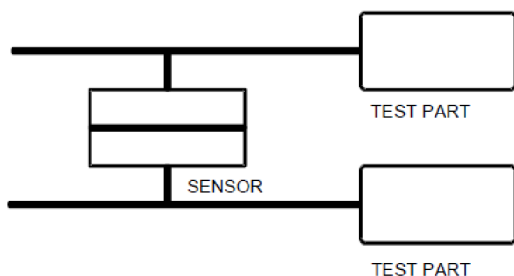
Obr. 26 pneumatické schéma zapojení testu s referencí

Test bez reference: měření poklesu tlaku mezi měřenou součástí na straně testu a zaslepenou referenční stranou.



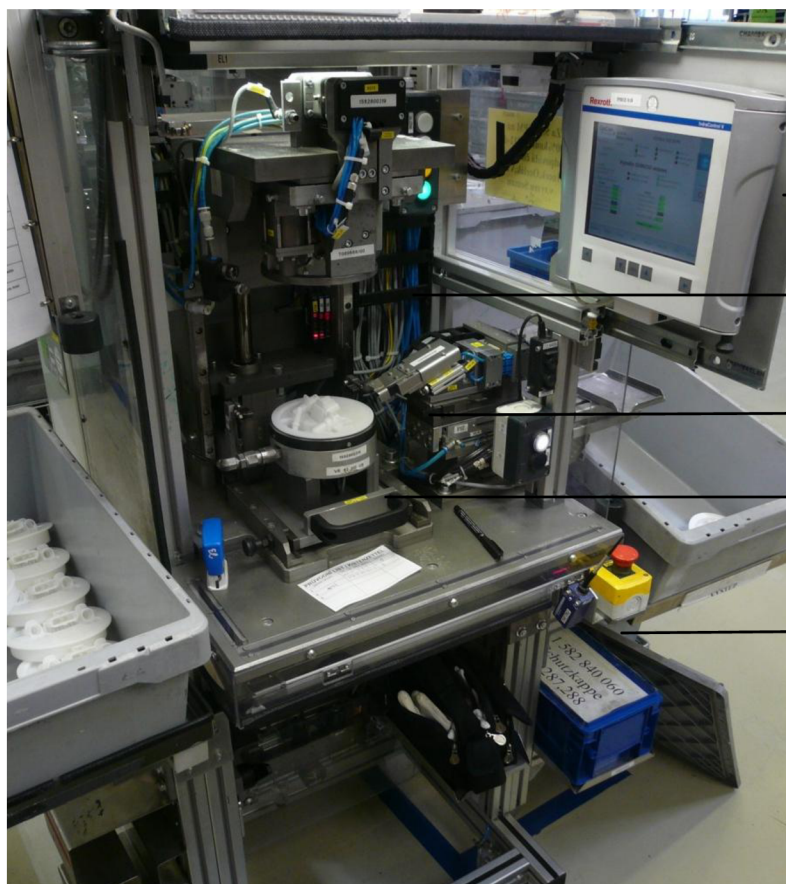
Obr.27 pneumatické schéma zapojení testu bez reference, současný stav v RBCB

Test dvou částí: součásti jsou testovány současně relativně mezi sebou. Tato metoda může být použita pouze v případě měření součástí s velmi malou pravděpodobností úniku, kde situace, že by se testovali současně dvě špatné součásti je téměř nemožná.



Obr.28 pneumatické schéma zapojení testu se dvěma identickými díly

Stávající koncept stanice využívající ke stanovení úniku měřicí zařízení ATEQ pracující na principu diferenciálního poklesu tlaku je zobrazeno na obrázcích 26, 27, 28.



Řízení stanice

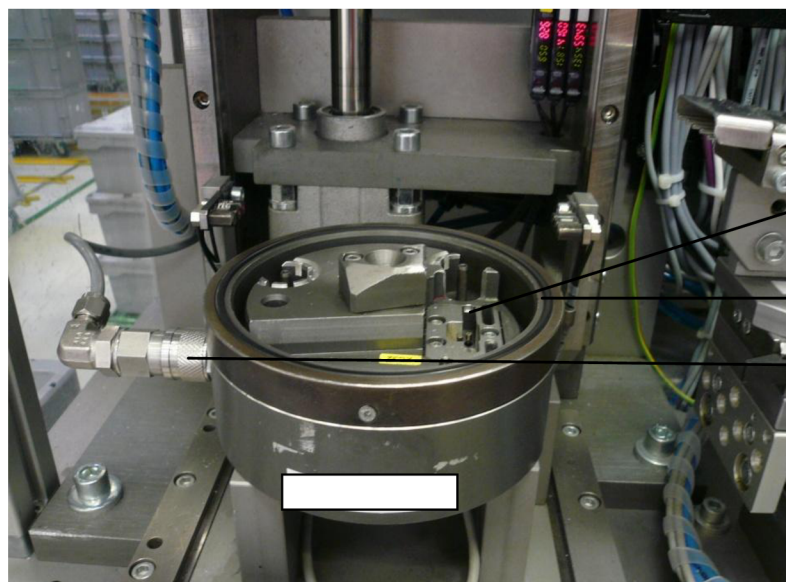
Horní přítlačný
přípravek

Přípravek pro el.
kontrolu pinů v
přírubě

Spodní zakládací
přípravek

Spouštěcí
anténka

Obr. 29 Poloautomatická stanice měření těsnosti včetně měřícího zařízení ATEQ



Ingny pro el.
kontrolu pinů v
přírubě

Těsnění, O-Ring

Přívod tlakového
vzduchu

Obr.30 Detail zakládacího přípravku pro přírubu

7.3.3 Posouzení schopnosti metody dle postupu č. 1 [12], [14], [15]

Cílem je ověřit způsobilost procesu s ohledem na polohu a odchylky měřených hodnot v oblasti specifikace dané veličiny.

Požadavky

Postup č.1 vyžaduje takové znaky výrobku, které mají oboustranně omezenou specifikaci tj. se spodní i horní omezující hodnotou, tak aby mohla být definovaná tolerance ($T = USL - LSL$), kde T – tolerance měřeného znaku, USL – spodní omezující hodnota, LSL – horní omezující hodnota. Pro znaky s jednostranně omezenou specifikací tj. pouze s jednou určenou omezující hodnotou (LSL nebo USL) ale s dolní nebo horní přirozenou hranicí přirozenou hranicí (LSL^* nebo USL^*) se tedy použije parametr $T^* = USL - LSL^*$ nebo $T^* = USL^* - LSL$. Přirozená hranice je definována jako hranice pod kterou nebo přes kterou se v zásadě nelze dostat z fyzikálních důvodů. Například hodnota úniků při zkoušce tlakem nemůže být nikdy záporná. Proto přirozená omezující hodnota $LSL^* = 0$.

Popis postupu

Postup č.1 se provádí s použitím kalibrovaného měřicího (kalibračního) kusu, který se měří 50 x, minimálně však 25 x. Pokud je to možné, referenční hodnota x_m měřicího kusu by měla ležet uprostřed rozsahu tolerance T znaku, který má být měřícím systémem měřen. Z měřených hodnot se počítá odchylka od referenční hodnoty $x - x_m$ (systémová chyba měření, odchylka měření) a směrodatná odchylka s naměřených hodnot. Z těchto výsledků jsou pak vypočteny ukazatele způsobilosti C_g a C_{gk} .

Kritérium způsobilosti

Dosažení minimálních určených hodnot C_g a C_{gk} podle aktuální platné směrnice [CDQ0405] jsou závazné tyto minimální hodnoty:

- $C_g \geq 1,33$ ukazatel možné způsobilosti
- $C_{gk} \geq 1,33$ ukazatel kritické způsobilosti

Požadavky na měřící (kalibrační) kus

Měřící kus musí být dlouhodobě stálý a musí při měřeních prováděných za podmínek opakovatelnosti poskytovat jednoznačné výsledky. Musí mít stejné vlastnosti, jako vyráběné díly, které budou později měřícím systémem měřeny. Měřící kus může být vyroben ze sériového dílu. Každý měřící kus musí být jasně označen a musí podléhat pravidelné kontrole.

Nejistota kalibrace U_{cal} měřicího kusu, obvykle zdokumentovaná v kalibračním certifikátu, by měla být zřetelně menší než tolerance T znaku výrobku, který má být měřen. V ideálním případě platí pravidlo $U_{cal} < 0,01 \times T$, minimálně však $U_{cal} < 0,1 \times T$. Pokud není možné odpovídající měřící kus získat nebo pokud kalibraci tohoto kusu nelze provést, nemůže být analýza způsobilosti podle postupu č. 1 provedena

Na obr. 31 je analýza současného stavu zařízení pro podmínky nadefinované zákazníkem. Povoleno únik 0,8 ml/min při tlaku 0,5 bar. Analýza byla provedena na počtu 25 vzorků.

Obr. 31 Analýza měřicího systému-schopnost měřidla

Kde:

BI	- Systémová chyba měření
C_g	- Ukazatel možné způsobilosti (neobsahuje systémovou chybu měření – capability gauge)
C_{gk}	- Ukazatel kritické způsobilosti (obsahuje systémovou chybu měření gougé katayori – systémová chyba)
n	- Počet měření
RES	- Rozlišení měřicího systému
R_g	- Rozpětí naměřených hodnot
S_g	- Směrodatná odchylka naměřených hodnot
T	- Rozdíl hranice specifikace a přirozené omezující hodnoty
$T_{min}(RES)$	- Minimální referenční hodnota potřebná pro splnění kritéria RES
$T_{min}(C_g)$	- Minimální referenční hodnota potřebná pro splnění kritéria C_g
$T_{min}(C_{gk})$	- Minimální referenční hodnota 1,33 potřebná pro splnění kritéria C_{gk}
X_g	- Průměr z naměřených hodnot
X_m	- Referenční hodnota referenčního dílu (kalibr)
X_{max}	- Nejvyšší naměřená hodnota
X_{min}	- Nejnižší naměřená hodnota

Provedená analýza měřicího zařízení dokazuje, že současný stav, na kterém je prováděno měření je způsobilé až do hraniční hodnoty

Možnými vlivy ovlivňujícími proces se bude zabývat další kapitola 6.3.

7.3.4 Ověření způsobilosti měřicího procesu dle postupu č. 3 [12]

Cílem je ověřit způsobilost měřicího procesu s ohledem na chování jejich odchylek při měření sériových dílů bez vlivu pracovníků obsluhy.

Oproti postupu č. 1 zahrnuje postup č. 3 do analýzy způsobilosti možné interakce mezi procesem měření a měřenými předměty. Zabývá se možnou přítomností vlivu rozptylu vyráběných dílů na měření a stejně tak i vlivem měření na chování vyráběných dílů.

Požadavky

Před použitím postupu č. 3 musí být důkladně zkontrolováno, že jakýkoliv vliv pracovníků obsluhy na výsledky měření může být s konečnou platností vyloučen. Obsluha obvykle nemůže ovlivnit proces pokud:

- Je poloha měřených dílů zjevně pevně dána uchycovacími přípravky a obsluha nemůže sílu uchycení ovlivnit
- Probíhá proces měření a následná analýza dat plně automaticky bez vlivu obsluhy

Popis postupu

Analýza typu 3 byla provedena s použitím 25-ti opakovatelně měřitelných a náhodně vybraných sériových dílů jako objektů měření. Hodnoty měřeného znaku by u těchto dílů měly pokud možno ležet v rámci tolerančního rozmezí (zajištěno sledováním procesních parametrů vstříkolisu). Měly by působit všechny vlivy, které budou působit i později při používání měřicího systému v sériové výrobě tzn. použití dílů, které se standartní

logistickou cestou dostávají na pracoviště měření těsnosti. Vybrané sériové díly byly měřeny v náhodném pořadí ve dvou sériích měření a za podmínek opakovatelnosti. Po skončení první série měření jsou stejné sériové díly měřeny znovu v náhodném pořadí. S další sérií měření se smí začít až ve chvíli, kdy je předchozí série měření hotová. Všechny výsledky měření byly zaznamenány odečtem s měřicího zařízení ATEQ. Výsledky měření byly analyzovány pomocí statistického programu Q-stat a pro ověření byly přepočítány v Microsoft Excel. Pokud nejsou sériové díly pro měření k dispozici, postup 3 nemůže být použit.

Kritérium způsobilosti

Dosažení určených hraničních hodnot pro odchylku %GRR měřicího procesu. V aktuálním vydání [CDQ0405] je uvedena závazná hraniční hodnota. V současné době platí následující omezení:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| - % GRR \leq 10% | měřicí proces je způsobilý |
| - 10% < %GRR \leq 30 % | měřicí proces je podmíněně způsobilý |
| - %GRR > 30% | měřicí proces není způsobilý |

Pokud by výsledek analýzy postupu 3 ukázal, že proces měření není způsobilý, nemusí to nutně být způsobeno měřicím systémem. Příčinou může být například nesterilita sledovaného znaku vyráběných dílů. Poté je nezbytná příslušná analýza procesu vstřikování.

Obr. 32 Analýza měřicího systému- způsobilost měřicího procesu

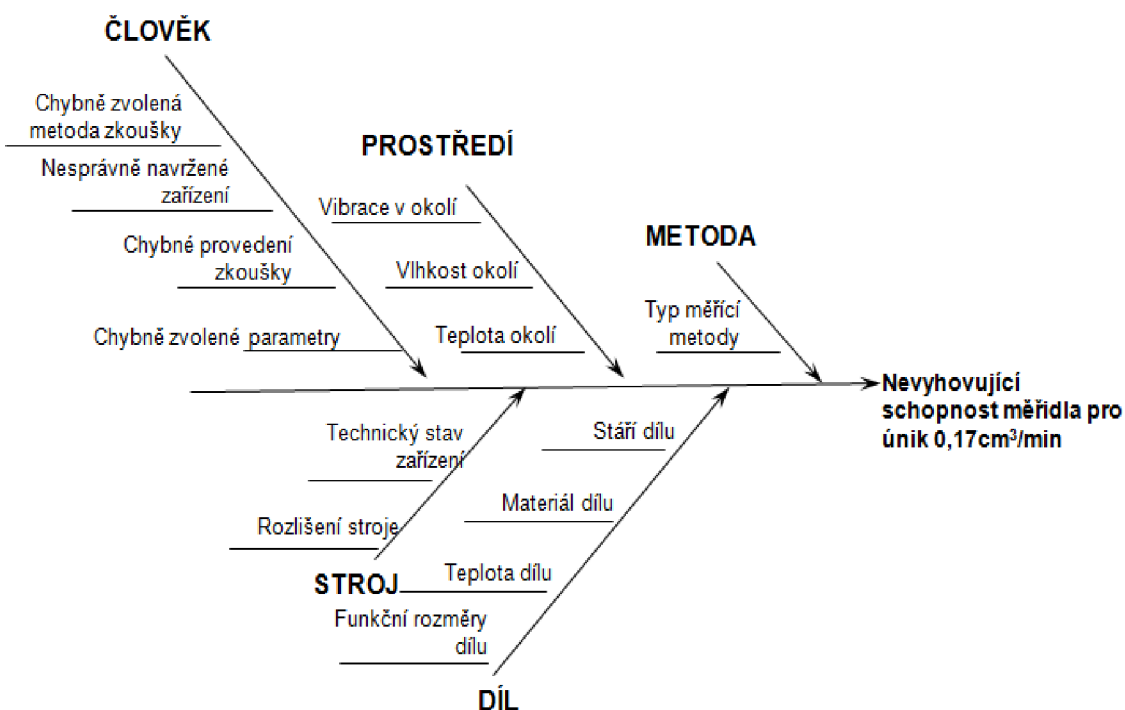
7.3.5 Možné příčiny ovlivňující proces

Příčiny ovlivňující proces je několik. Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.2, vliv na schopnost procesu, způsobilost měřidla může mít například transport dílů do externích skladů, kde jsou díly vystaveny rozdílné teplotě (zimní, letní měsíce) než je teplota prostředí v hale, kde jsou díly testovány. Tento rozdíl teplot dílů a přípravku, zkušebního media může mít za následek významný rozdíl při měření a nesplnění požadovaných schopností popřípadě zvýšení zmetkovitosti v řádu desítek %.

Všechny potenciálně možné příčiny ovlivňující proces měření jsou shrnuty v ISHIKAVOVĚ diagramu příčin a následků.

7.3.6 Ishikawův diagram

Ishikawa diagram je diagram příčin a následků, jehož cílem je nalezení nejpravděpodobnější příčiny řešeného problému. Možné příčiny jsou popsány v následující kapitole. K tomuto tématu jsou vztaženy všechny zmíněné chyby viz. níže. Možnými příčinami se bude zabývat kapitola 7.3.7.



Obr. 33 Ishikawův diagram příčin a následků

7.3.7 Optimalizace současného procesu [2], [8]

Stávající parametry:

Obr. 34 Průběh plnění tlakového okruhu na 0,5 bar ± 0,05bar

Objem zkoušeného dílu a přípravku

Tento parametr byl přijmut z výkresové dokumentace přípravku a v zařízení je nastaven správně. Objem přípravku ovlivňuje rozlišení metody viz. vzorec 18. Pro ověření popř. zjištění neznámého objemu je možné použít níže popsany postup viz. rovnice 19:

$$\Delta P = \frac{Q}{0,0006 \cdot V} \quad [18]$$

Kde:

ΔP	Pokles tlaku	[Pa/s]
V	Objem pneumatický cest, přípravku	[cm ³]
Q	Průtok	[cm ³ /min]
0,0006	Konstanta	

Teorie vychází z rovnice:

$$Q = V \times \frac{dp}{dt} \quad [19]$$

Kde:

Q	únik	[SCCM]
V	objem použitého přípravku	[cm ³]
dp / dt	poměr změny tlaku za čas	

Ze vzorce [19], kde je zobrazen únik (hodnota z ATEQ F) a nastaven (neznámý) objem, vypočítáme hodnotu poměru $\frac{dp}{dt}$.

Tuto hodnotu použijeme v dalším výpočtu se známým únikem (hodnota z ATEQ Calibratoru), abychom vypočítali hodnotu neznámého objemu.

Výsledek:

Za závěr je možné pokládat vzorec pro výpočet neznámého objemu ve tvaru:

$$\frac{Q_{cal} \times V_1}{Q_{ATEQ}} = V_x \quad [20]$$

Kde:

Q_{cal}	je hodnota úniku zobrazená na ATEQ Calibratoru	[SCCM]
Q_{ATEQ}	je hodnota úniku zobrazená na ATEQ F	[SCCM]
V_1	je objem nastavený na ATEQ F	[cm ³]
V_x	je neznámý objem přípravku, jehož hodnotu chceme zjistit	[cm ³]

$$Q_{ATEQ} = Q_{ATEQ2} - Q_{ATEQ1} \quad [21]$$

Kde:

Q_{ATEQ1}	- je únik zobrazený na ATEQ F při nastavení ATEQ Calibratoru na únik 0SCCM
Q_{ATEQ2}	- je únik zobrazený na ATEQ F při nastavení ATEQ Calibratoru na únik např. 5SCCM

Pro představu je zde uveden názorný příklad:

- 1) Vzorek založíme do přípravku, který je připojený na ATEQ F obvyklým způsobem.
- 2) Na ATEQ F nastavíme požadované parametry testu:
Tlak (např. 0,5bar), čas plnění (např. 20s), čas stabilizace (např. 30s), čas testu (např. 5s), čas vypuštění (např. 4s), objem (např. 0,5l - počáteční odhad objemu V_1)
- 3) Na ATEQ F připojíme ATEQ Calibrator, na kterém nastavíme hodnotu úniku 0SCCM (Q_{CAL1}).

- 4) Provedeme měření a zaznamenáme hodnotu úniku z ATEQ F (Q_{ATEQ1}).
- 5) Na ATEQ Calibratoru nastavíme hodnotu úniku (např. 5 SCCM) (Q_{CAL2}).
- 6) Provedeme měření a zaznamenáme hodnotu úniku z ATEQ F (Q_{ATEQ2}) i z ATEQ Calibrator (Q_{CAL2}).

Tab. 9 zvolené hodnoty objemu a výsledky prvního měření

Nastavený objem [cm^3]	Únik na ATEQ F [SCCM]	Únik na ATEQ Calibr [SCCM]
$V_1=500$	$Q_{ATEQ1}=1,56$	$Q_{CAL1}=0$
$V_1=500$	$Q_{ATEQ2}=4,68$	$Q_{CAL2}=5,01$

- 7) Hodnoty dosadíme do výpočtu z rovnice [22]

$$\frac{Q_{ATEQ2} - Q_{ATEQ1}}{V_1} = \frac{dp}{dt} \quad \frac{4,68 - 1,56}{500} = \frac{dp}{dt} = 0,00624 \quad [22]$$

$$\frac{Q_{CAL2}}{\frac{dp}{dt}} = V_{X1} \quad \frac{5,01}{0,00624} = V_{X1} = 802,88 \text{ cm}^3 \quad [23]$$

Hodnota hledaného objemu se pohybuje okolo $802,88\text{cm}^3$ (1. odhad). Tento postup zopakujeme pro hodnotu objemu, kterou jsme vypočítali ($V_{X1} = 802,88\text{cm}^3$)

- 8) Zopakujeme postup bodů 1-7

Tab. 10 vypočtené hodnoty objemu a výsledky druhého měření

Nastavený objem [cm^3]	Únik na ATEQ F [SCCM]	Únik na ATEQ Calibr [SCCM]
$V_{X1}=802$	$Q_{ATEQ1}=1,70$	$Q_{CAL1}=0$
$V_{X1}=802$	$Q_{ATEQ2}=6,96$	$Q_{CAL2}=5,25$

- 9) Výpočet:

$$\frac{Q_{ATEQ2} - Q_{ATEQ1}}{V_{X1}} = \frac{dp}{dt} \quad \frac{6,96 - 1,70}{500802} = \frac{dp}{dt} = 0,00658 \quad [24]$$

$$\frac{Q_{CAL2}}{\frac{dp}{dt}} = V_{X2} \quad \frac{5,25}{0,00658} = V_{X2} = 797,87 \text{ cm}^3 \quad [25]$$

Hodnota hledaného objemu se pohybuje okolo 797cm^3 (2. odhad). Tento postup zopakujeme pro hodnotu objemu, kterou jsme vypočítali ($V_{X2} = 797\text{cm}^3$)

- 10) Zopakujeme postup bodů 1-7

Tab. 11 vypočtené hodnoty objemu a výsledky třetího měření

Nastavený objem [cm ³]	Únik na ATEQ F [SCCM]	Únik na ATEQ Calibr [SCCM]
V _{X2} =797	Q _{ATEQ1} =1,75	Q _{CAL1} =0
V _{X2} =797	Q _{ATEQ2} =7,03	Q _{CAL2} =5,30

11) Výpočet

$$\frac{Q_{ATEQ2} - Q_{ATEQ1}}{V_{X1}} = \frac{dp}{dt} \quad \frac{7,03 - 1,75}{797} = \frac{dp}{dt} = 0,006625 \quad [26]$$

$$\frac{Q_{CAL2}}{\frac{dp}{dt}} = V_{X3} \quad \frac{5,30}{0,006625} = V_{X3} = 800,00 \text{ cm}^3 \quad [27]$$

Hodnota hledaného objemu se pohybuje okolo 800cm³. Tuto hodnotu považujeme za hodnotu neznámého objemu.

Za závěr je možné pokládat vzorec pro výpočet neznámého objemu ve tvaru:

$$\frac{Q_{cal} \times V_1}{Q_{ATEQ}} = V_x$$

Kde:

$$Q_{ATEQ} = Q_{ATEQ2} - Q_{ATEQ1}$$

Vzhledem ke skutečnosti, že v současné době není ATEQ Calibrator v RBCB k dispozici předpokladem je, že nastavená hodnota objemu 170 cm³ je správná.

Průběh zkoušky

- Doba plnění

Tento čas je využit k naplnění objemu měřicího systému. Objem se plní přes proporcionální ventil na definovaný tlak 0,5 bar ± 0,05 bar. Pokud by tato hodnota na konci plnicí sekvence nebyla dosažena, měřicí zařízení automaticky zastaví následný krok „stabilizaci“ a vyhodnotí celý proces jako chybný a díl je automaticky blokován.

Při zvyšování tlaku uvnitř uzavřeného objemu přepouštěním plynu ze zásobníku s vyšším tlakem koná plyn ze zásobníku objemovou práci. Uvnitř objemu se tak zvyšuje míra vnitřní energie a to se projeví růstem teploty, neboť vykonaná práce je během plnění disipována.

Oběma výše zmíněnými efekty dochází při první fázi plnění k určité teplotní změně a z tohoto důvodu je nezbytná následující fáze stabilizace systému, během níž se tlakové a teplotní rozdíly ustálí.

Pro určení dostatečně dlouhého času naplnění lze orientačně vypočítat ze vztahu 16.

$$TTLR = \sqrt[4]{V \times p} \quad [28]$$

Kde:

TTLR	čas plnění	[s]
V	objem	[cm ³]
p	zkušební tlak	[mbar]

Tento čas je možno dále upravovat ve smyslu snižování času plnění viz. popis níže. Dále z provedeného měření vyplývá, stávající čas plnění je dostatečný s ohledem na co nejkratší čas cyklu a stabilitu procesu.

Nastavení doby plnění

- Provedení měřicího cyklu s nastaveným časem plnění. Když přístroj přepne do fáze stabilizace, musí zůstat tlak testu stabilní.
- Objeví-li se pokles tlaku, je možná netěsnost na testované součásti nebo na pneumatickém spojení. Nutno zkontrolovat zařízení a opakovat cyklus.
- Pokudliže zůstane tlak z předchozího kroku stabilní (nepoklesne), součást neobsahuje netěsnost a čas plnění je dostatečně dlouhý. Nyní můžeme čas plnění zkracovat, až se při přepnutí přístroje do fáze stabilizace objeví pokles tlaku.
- Tento pokles tlaku znamená již příliš krátký čas plnění, který tak v dalším cyklu nepatrně prodloužíme a získáme optimální dobu plnění

• Stabilizace

Testovaná část je kompletně izolována od zdroje tlaku, zůstává natlakována na předepsanou hodnotu. Tlak a teplota se nyní stabilizují v celém systému. Nastane-li v této fázi prudký pokles tlaku v důsledku netěsností na některé straně, přístroj nepřepne do fáze měření a zobrazí chybové hlášení. Čas stabilizace výrazně závisí na velikosti objemu vzorku a přípravku.

Platí: čím větší objem, tím delší čas stabilizace.

Určení optimální doby stabilizace:

- K určení potřebné doby stabilizace je nezbytné nastavit při prvních zkouškách tuto dobu delší, tak aby se výsledek na konci testu při měření dobré součásti pohyboval okolo nulové hodnoty.
- Nastavíme čas stabilizace čtyřikrát delší než čas plnění cca 30s .
- Provedeme cyklus s dobrou součástí. Když přístroj přepne do času testu, měl by se výsledný pokles tlaku pohybovat okolo nulové hodnoty.
 - Jestliže se při takto nastaveném času stabilizace objeví ve výsledku pokles tlaku, zkontrolujte součást a pneumatické spojení. Proved'te další cyklus.

- Pakliže zůstane tlak z předchozího kroku stabilní (výsledek okolo 0), je čas stabilizace dostatečně dlouhý. Nyní můžeme čas stabilizace zkracovat, až se při přepnutí přístroje do fáze testu objeví pokles tlaku, který znamená příliš krátký čas stabilizace.
- Dobu stabilizace tak nepatrně pro další cyklus prodloužíme.

Obr. 35 pokles tlaku ve fázi stabilizace

Na obrázku 34 je znázorněn celý průběh měření testované součásti. Hodnoty grafu byly snímány vzorkovací frekvencí 100 Hz a délka záznamu odpovídá době zkoušky celého testu těsnosti. Z naměřených hodnot lze odečíst zobrazený pokles tlaku ve stabilizační fázi a převést ho na definovaný únik. Při známých hodnotách objemu média v měřícím systému a době stabilizace je stanovení úniku následující.

$$P_1 = 0,479792 \text{ bar}$$

$$P_2 = 0,452925 \text{ bar}$$

$$\Delta P = 0,026867 \text{ bar} \Rightarrow 26,867 \text{ mbar} \Rightarrow 2686,7 \text{ Pa}$$

Dále pak dosazení do matematického vzťahu 29 mezi únikem a poklesem tlaku

$$Q \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right) = 0,0006 \times V (\text{cm}^3) \times \frac{\Delta P (\text{Pa})}{\Delta t (\text{s})} \quad [29]$$

po dosazení pak:

$$Q_1 = 0,0006 \times 170 \times \frac{2686,7}{120} = 2,2836 \text{ cm}^3/\text{min} \Rightarrow 0,03806 \text{ mbar l/s viz. tabulka 5.}$$

Naměřený únik převyšuje hraniční hodnotu úniku $0,8 \text{ cm}^3/\text{min}$. Pro ověření byla zjištěná hodnota úniku prověřena na dalších měřeních s rozdílnými délkami stabilizace $t_s = 7 \text{ s}$, $t_s = 12 \text{ s}$, $t_s = 13 \text{ s}$, $t_s = 22 \text{ s}$, $t_s = 24 \text{ s}$, $t_s = 35 \text{ s}$, $t_s = 60 \text{ s}$. Výpočet byl proveden stejným postupem viz. vztah 28.

$$Q_2 = 0,0006 \times 170 \times \frac{147,7}{7} = 2,1522 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_3 = 0,0006 \times 170 \times \frac{178,9}{12} = 1,5213 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_4 = 0,0006 \times 170 \times \frac{160,9}{13} = 1,2632 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_5 = 0,0006 \times 170 \times \frac{348,6}{22} = 1,6162 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_6 = 0,0006 \times 170 \times \frac{365,9}{24} = 1,5555 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_7 = 0,0006 \times 170 \times \frac{814,9}{35} = 2,3751 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$Q_8 = 0,0006 \times 170 \times \frac{1342,9}{60} = 2,2831 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Obr.36 pokles tlaku na hranici stabilizační a měřicí fáze

Obr. 37 přechod ze stabilizační do měřicí fáze bez poklesu tlaku

- Měření

Při měřicím cyklu jsou testovací větev a referenční větev mezi sebou izolovány diferenciálním senzorem, který měří relativní rozdíl tlaku mezi těmito stranami. Signál o poklesu tlaku je elektronicky zpracován, zobrazen na displeji jako výsledek v zadaných jednotkách a součást je vyhodnocena dle stanovených kritérií jako dobrá či špatná. Stavající čas měření byl nastaven na základě informací o rozlišení měřidla poskytnutých výrobcem zařízení. Rozsah tlaku 0-500 Pa při rozlišení 0,1 Pa. Další možnou alternativou je rozsah tlaku 0-50 Pa a rozlišení 0,01 Pa. Obě alternativy pracují se stejnou přesností $\pm(2,5\% P + 1\text{Pa})$.

Analýzou měřicího cyklu bylo zjištěno, že prodlužující se čas měření má příznivý vliv na výsledky měřených hodnot ve smyslu snížení rozptylu hodnot a poklesu jmenovitého uniku viz. Obr. 38.

Obr. 38 Průběh měřicí fáze

- Odvzdušnění

Při této fázi dochází k odvzdušnění celého pneumatického systému, nastavený čas je zvolen korektně ke zvolenému typu objemu (neovlivňuje průběh zkoušky).

Faktory ovlivňující proces měření

PROSTŘEDÍ: Další z možných vlivů na průběh a výsledek testu má prostředí. Např. teplota okolí, dílů, vibrace prostupující od vstřikolisů přes rám stroje k měřicímu zařízení apod.

TEPLOTA: Změna teploty popř. rozdílná teplota materiálu, zařízení, media během testu významně ovlivňuje výsledek testu. Je nutno izolovat pneu vedení, popřípadě zvýšit dobu stabilizace potřebnou k tepelnému ustálení celého systému.

Měřicí zařízení je v současnou dobu umístěno v klimatizovaném prostoru, čímž se zamezuje výkyvům teplot stroje (měřidla) a materiálu. Materiál vstupující do zařízení je temperován na teplotu okolí tzn. 22°C. Tímto způsobem je snížen rozdíl teplot dílů, stroje, přípravku a tlakového vzduchu. Vliv teploty je díky popsání řešení uvažován jako irelevantní.

VIBRACE: Vibrace mohou u metody na principu diferenciálního poklesu tlaku způsobovat chvění piezoelektrického snímače „membrány“, která měří rozdíl tlaků mezi měřicí a referenční větví. Tímto způsobem může docházet k ovlivnění výsledků zkoušky. Jak již bylo zmíněno, měřicí zařízení je umístěno v klimatizované místnosti zároveň snižující přenos vibrací podlahou od zařízení situovaných na stejné výrobní hale díky

speciální úpravě podlahy. Zároveň při měření na zařízení umístěného v laboratorních podmínkách jsou hodnoty rozptylu podobné. Faktor vibrací pak může být vyloučen a může být brán jako irelevantní.

STROJ:

Nedostatečný přítlak válce stroje potřebný k zajištění dokonalé těsnosti mezi zkušebním dílem a testovacím přípravkem: Tento vliv byl zcela eliminován po dokončení testu s těsnou přírubou vytvořenou ze sériového dílu. Po provedení 50 měření se stejným typem příruby nedošlo ani v jednom případě k netěsnosti větší, než byl požadovaný limit. Tzn. velikost drážek pro umístění těsnícího kroužku, těsnící kroužek a jeho materiál byly zvoleny optimálně pro danou aplikaci.

Použití měřícího zařízení s malým rozlišením: Vliv rozlišení použitého měřícího zařízení byl vyloučen. Stávající zařízení pracuje s rozsahem tlaku 0-500 Pa při rozlišení 0,1 Pa. Další možnou alternativou je zařízení pracující s rozsahem tlaku 0-50 Pa a rozlišení 0,01 Pa. Oba typy zařízení pracují se stejnou přesností $\pm(2,5\% P + 1\text{Pa})$.

Objem média v systému: Pro tlakové vedení měřícího okruhu je použito silnostěnných hadic zaručující tvarovou stálost při měření. Přípravek je navržen s ohledem na jednoduché zakládání dílů avšak plně nerespektuje zásadu o zachování co nejmenšího možného objemu. Na obr. 29 je patrné, že přípravek nekopíruje vnitřní stranu testované příruby zcela dokonale. Díky tomu dochází k nárůstu objemu celého systému. Objem pneumatického vedení, včetně přípravku a tlakového vedením které není možno ovlivnit vzhledem k řešení celého měřícího systému. Tzn. objem přípravku z obrázku 29 činí .. cm^3 . Doporučení je snížit tento objem vytvoření reliéfu na straně přípravku k vyplnění volných míst. Při měření poklesu tlaku vycházíme z rovnice [18]. Lze tedy konstatovat, že zařízení je schopno lépe detekovat pokles tlaku, pokud je objem média v systému nižší. Při měření se využívá výpočtu ztráty tlaku z objemu za jednotku času. Viz. znázorněný příklad

Vycházíme z rovnice [18] která definuje vztah mezi poklesem tlaku a objemovými jednotkami za čas.

$$\Delta P = \frac{F}{0,0006 \cdot V} \quad [30]$$

Kde:

ΔP	Pokles tlaku	[Pa/s]
V	Objem pneumatický cest, přípravku	[cm^3]
F	Průtok	[cm^3/min]

Pro znázornění použijeme současný stav zařízení a dále pak použijeme nový objem stanovený jako cílový.

Z výpočtu vyplývá, že při snížení měřeného objemu dochází ke zvýšení rozlišení měřeného poklesu tlaku, který je následně přepočten na únik ve zvolených jednotkách. Následkem zvýšení „citlivosti“ způsobené snížením objemu může být zlepšení měřených hodnot ve prospěch schopnosti měřidla.

Toto opatření nebylo realizováno, avšak je doporučena jeho realizace jako ekonomicky nenáročná s potenciálně velkým vlivem na měření.

Snížení objemu může být realizováno formou nového spodního zakladacího přípravku nebo pomocí vložky vložené do stávajícího zařízení (není řešením pro seriové použití).

Technický stav zařízení: Analýzou současného stavu zařízení byla nalezena závada na ventilovém bloku plnění. Chyba je popsána v kapitole Analýza současného stavu zařízení - Stabilizace

DÍL:

Funkční rozměry dílu: Dle pravidelných náměrových protokolů je vliv funkčních ploch příruby vyhodnocen jako nerelevantní. To se týká i geometrických tolerancí jako je rovinnost těsnící plochy.

Stáří dílu po odstříknutí: Stáří dílů po vystříknutí má vliv na průběh zkoušky. Zejména teplota dílu a tzv. dozrávání dílu. Jde především o vliv na mechanické vlastnosti materiálu jako je tvrdost. Avšak tento jev vylučujeme vzhledem ke skutečnosti, že testované díly jsou temperovány na teplotu 22°C v klimatizovaném prostoru a doba měření dílů je vždy více než 3 hodiny po vystříknutí.

7.3.8 Shrnutí

Dalšími významnými faktory ovlivňující zkoušku jsou vlivy okolního prostředí – teplota, objem měřicího okruhu, technický stav zařízení.

Doporučení na základě zjištěných skutečností jsou: Použití zařízení v klimatizovaných prostorách bez teplotních vlivů okolního prostředí, temperace dílů na teplotu odpovídající teplotě v místě měření, co nejkratší manipulační čas při zakládání dílů do stroje, měřící místo bez přenosů vibrací z okolí, měřící zařízení bez závad na pneumatickém okruhu, měřící zařízení se správně navrženými přípravky zajišťující nejmenší možný měřicí objem a „0“ únik, použití vhodných těsnících materiálů pro přípravky a pneumatické vedení.

Obr.39 Analýza měřicího systému bez vnášené chyby při stabilizační fázi

Obr. 40 Analýza měřicího systému s délkou měřicí fáze $T_t=60$ s

7.4 Analýza stavu stávajícího zařízení Heliový test

Cílem analýzy heliového testu firmy Lab Tech bylo zjistit možnost využití zařízení pro seriové použití za zpřísněných hodnot úniku. Pro analýzu byl použit stejným postup jako v případě zařízení pracujícího na principu diferenciálního úpoklesu tlaku fa. ATEQ z kapitoly 7.3. Tj. Postup č.1 k určení schopnosti metody a postup č.3 k určení schopnosti měřicího procesu.

7.4.1 Popis zařízení - Heliový test [10] [8]

System testování netěsností je jednoúčelový dvoukomorový systém pro testování netěsností přírub nádrží. Testovací vakuová komora je kruhového tvaru a je přírubou (výrobkem) rozdělena na dvě části (horní a spodní). Tyto části jsou tedy výrobkem

rozděleny na dva vakuově těsné prostory. Po uzavření víka komory je do horní části vpuštěno helium. Spodní část je evakuována a je měřen únik helia. Velikost netěsnosti výrobku je potom úměrná velikosti úniku helia. Algoritmus testování je prováděn automaticky. Podmínky vyhodnocení a parametry testu lze zadávat pomocí ovládacího dotykového displeje, který je umístěn na výsuvném držáku na pravém boku stanice. Výsledek testu a základní stavy stanice jsou signalizovány multifunkčním světelným návěstím (signalizací). Celá testovací stanice je řízena pomocí programovatelného automatu.

Konstrukce (rám) testovací stanice je složen z hliníkových profilů. Hliníková deska s výřezy pro vakuové komory dělí ve vertikálním směru konstrukci na horní a spodní část. Ve spodní části jsou umístěny vakuové pumpy včetně prvků vakuových rozvodů, detektor helia, prvky pneumatického ovládní. V profilu hliníkové desky jsou osazeny dvě komory (pravá a levá). Uprostřed rámu je příčka, která prostorově odděluje zkušební prostory komor. Testovací stanice je takto rozdělena na dvě pracoviště (pravé a levé při pohledu zepředu).

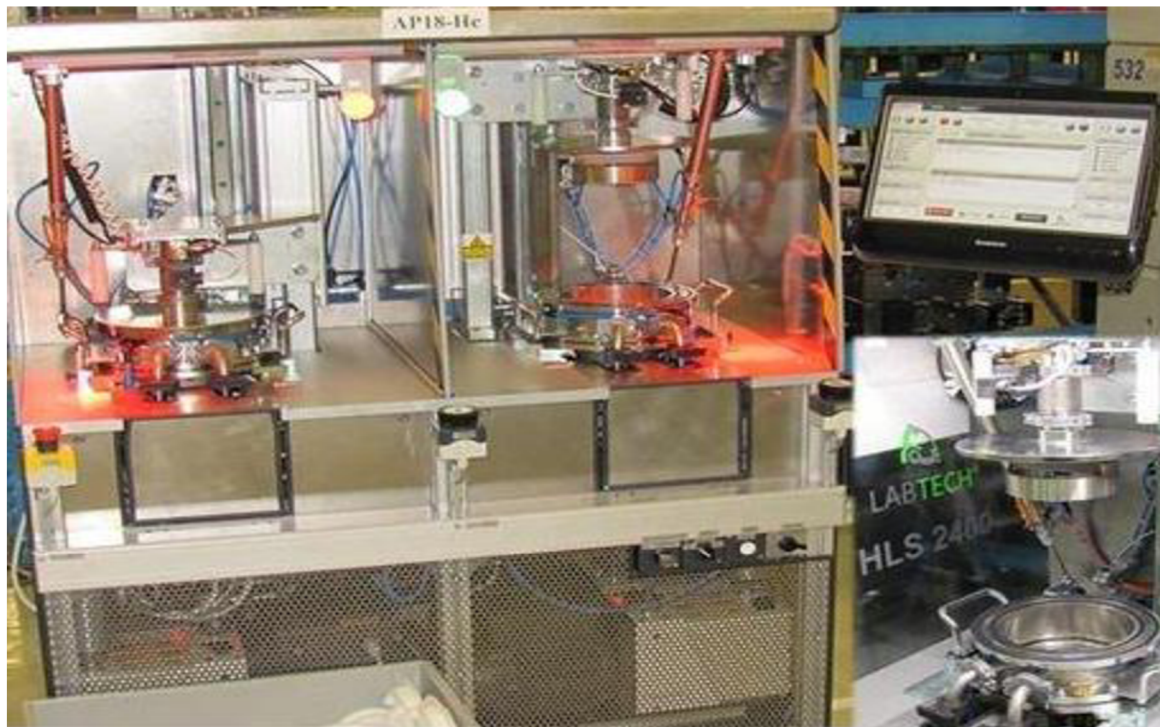
V horní části konstrukce v blízkosti vakuových komor jsou umístěny pneumatické válce, které ovládají vertikální pohyb víka komor. Dále jsou v blízkosti vakuových komor umístěny pneumatické válce, které ovládají víka komor a značkovač pro označení dobrého kusu. V horní části jsou též umístěny prvky světelné signalizace a osvětlení pracovního prostoru stanice.

Heliový test instalovaný na MOE 13 (oddělení vstřikování plastů) používaný k měření těsnosti přírub dle specifikace RBCB.

Základní identifikační a technické údaje zařízení:

Název stroje:	System testování netěsností
Typ:	LHTLS2400-2
Výrobce:	LABTECH s.r.o., Polní 23/340, BRNO
Technická media:	Tlakový vzduch 6 bar Tlakový vzduch -45 bar Dusík 3,5 bar Helium 1,2 bar
El. Příkon:	6.7 kVA
Pracovní podmínky:	Prostředí s normálními vlivy (ČSN 33 2000-3)
Teplota okolí:	Pracovní 15 ÷ 30 °C

Zkušební parametry zařízení



Obr. 41 Měřicí zařízení Labtech – Heliová zkouška těsnosti

7.4.2 Průběh měření a základní typy testů

Po vložení a uchycení produktu v přípravku je přípravek nejprve evakuován, aby se odstranil veškerý vzduch. Po té je pod přírubu natlakováno helium na požadovanou úroveň testovacího tlaku. Tlakování se většinou provádí v postupných krocích zvyšování tlaku helia a to z důvodu, že v případě větší netěsnosti byla kontaminace systému a detektoru co nejménší.

Typy testů:

- Humidity Test – detekce vlhkosti, která může při proniknutí do produktu výrazně zkreslit výsledky testu
- Vacuum Decay Test – test poklesu vakua eliminující kontaminaci komory a detektoru (otrávení detektoru) při velkých netěsnostech.
- Pressure Decay Test – test poklesu tlaku eliminující kontaminaci komory a detektoru (otrávení detektoru) při velkých netěsnostech.
- Proof Test – Test pevnosti výrobku tlakovým vzduchem
- Flow test – test průchodnosti (průtoku), důležitý je zejména u tenkých kapilárních produktů.

7.4.3 Posouzení schopnosti metody dle postupu č. 1 [12]

7.4.4 Ověření způsobilosti měřícího procesu dle postupu č. 3 [12]

Ověření způsobilosti měřícího procesu postupem 3 bylo provedeno stejně jako v kapitole 7.3.4 s použitím 25-ti opakovatelně měřitelných a náhodně vybraných sériových dílů jako objektů měření. Hodnoty měřeného znaku by u těchto dílů měly pokud možno ležet v rámci tolerančního rozmezí (zajištěno sledováním procesních parametrů vstřikolisu). Měly by působit všechny vlivy, které budou působit i později při používání měřícího systému v sériové výrobě, tzn. použití dílů, které se standartní logistickou cestou dostávají na pracoviště měření těsnosti. Vybrané sériové díly byly měřeny v náhodném pořadí ve dvou sériích měření a za podmínek opakovatelnosti. Po skončení první série měření jsou stejné sériové díly měřeny znovu v náhodném pořadí. S další sérií měření se smí začít až ve chvíli, kdy je předchozí série měření hotová. Všechny výsledky měření byly zaznamenány odečtem s měřícího zařízení LAB-TECH.

Výsledky měření byly analyzovány pomocí statistického programu Q-stat. Pokud nejsou sériové díly pro měření k dispozici, postup 3 nemůže být použit.

Obr. 42 Analýza měřícího systému postup č. 1

Obr. 43 Analýza měřícího systému postup č. 3

7.4.5 Shrnutí analýzy heliové zkoušky

Analýza systému měřícího zařízení ukázala, že je možné měřit zkoušenou součást s horní mezí úniku bez nutnosti provádět optimalizaci parametrů popřípadě procesu. Heliová zkouška těsnosti poskytuje další potenciál při případném snížení parametrů.

7.5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technické řešení navrhovaných variant je v současnosti známé a jejich posouzení bylo provedeno v kapitole 6.8. Ve všech případech se zařízení navrhuje pro definovaný výrobní takt, který vychází ze zákaznického taktu, v tomto případě taktu oddělení MOE 15, kde probíhá finální výroba palivového modulu. V tomto čase musí být zařízení schopno upnout díl správným způsobem, vyhodnotit požadované parametry a v případě shodného kusu označit díl jako dobrý, v opačném případě jako „zmetek“.

První z navrhovaných variant tj. zkouška na principu diferenciálního poklesu tlaku dokáže během 30 s změřit díl pro únik na hraniční hodnotě, zlepšení hraniční hodnoty lze dosahovat některými opatřeními uvedených v kapitole 7.3.7 (např. prodloužení času měření, stálá teplota prostředí). S tímto jsou však spojeny investice do stávajícího zařízení a provozních nákladů s tím spojených (klimatizovaná místnost).

V porovnání s druhou navrhovanou metodou heliový test jsou v tab. 21 ukázány komplexní náklady na jednotlivé metody. V případě metody využívající zařízení ATEQ je naznačen vývoj nákladů i pro variantu umístěnou do klimatizovaného prostoru a pro variantu s prodlouženým časem cyklu.

V tabulce č. 21 je zobrazen přehled vstupních hodnot použitých k výpočtu nákladů jednotlivých metod. Standartní doba odpisu zařízení je stanovena na 4 roky od data pořízení stroje.

Vzhledem k rozdílným časovým nárokům jednotlivých zkoušek je zařízení pro heliový test dodáváno jako dvoukomorové. To zvyšuje spotřebu měřicího média vůči zkoušce využívající zařízení ATEQ.

Tab. 21 Vstupní hodnoty použité k výpočtu nákladů zvolených metod a jejich vyhodnocení

Tab. 22 Složení nákladů vstahující se k jednotlivým metodám

Tab. 23 Přehled nákladů jednotlivých variant

7.5.1 Porovnání metod

8 DISKUSE

Obr. 44 Laboratorní testovací zařízení T-Guard společnosti ATMO

Další možnou alternativou je outsourcování výroby přírub a měření. Tím by se redukovala nutnost investic do nových technologií potřebného prostoru pro nová zařízení a fixních nákladů. V důsledku přesunutí výroby a měření mimo závod Robert Bosch by pravděpodobně vzrostla výrobní cena za jeden díl, což by se projevilo nepříznivým poměrem výrobní ceny vs. prodejní cena. Návrhem a zpracováním tohoto řešení by mělo být pověřeno příslušné nákupní oddělení ve firmě Robert Bosch. Řešení by mělo jasně definovat (ne)vhodnost navrženého přeskladení k externím dodavatelům.

9 ZÁVĚR

- Z dostupných technologií u společnosti Robert Bosch byly vybrány dvě metody pro detekci úniků plastových přírub. Výběr byl proveden pomocí rozhodovací matice z celkem 5 možných variant. Jako první varinata byla posuzována metoda na principu měření diferenciálního poklesu tlaku využívající zařízení ATEQ F520, metoda je nasazena ve stávajícím sériovém provozu pro detekci cca. 98% testovaných přírub z celkového oběhu RBCB. Druhou posuzovanou metodou bylo zařízení pracující na principu detekce helia ve vakuu společnosti LabTech používající hmotnostní spektrometr. Toto zařízení je v RBCB pouze v jediném provedení a je využíváno k výběrovým zkouškám.
- Obě dvě metody jsou schopny plnit současné zákaznické požadavky pro únik příruby palivového modulu. Tj. hraniční únik.
- Omezení nových investic a využití stávajících technologií je hlavní motivací pro použití technologie na principu diferenciálního poklesu tlaku.

Symbol	Jednotka	Popis
dQ	[Pa.m ³]	Množství protečeného plynu
m	[kg]	Hmotnost
m₁	[kg]	Množství plynu ve zkušebním zařízení před zkouškou
m₂	[kg]	Množství plynu ve zkušebním zařízení po zkoušce
mmHg	[μm]	
m_u	[kg]	Množství plynu uniklé netěsností do atmosféry
n	[mol]	Látkové množství plynu
p	[Pa]	Tlak
P₁	[Pa]	Tlak při měření
P₂	[Pa]	Tlak po měření
P_u	[Pa]	Tlaková ztráta způsobená únikem
Q_v	[m ³ /s]	Objemový průtok
Q₁	$\left[\frac{\text{mbar} \times \text{l}}{\text{s}}\right]$	Množství uniklého plynu
Q₂	$\left[\frac{\text{mbar} \times \text{l}}{\text{s}}\right]$	
Q_{ATEQ}	[SCCM]	Hodnota úniku zobrazená na ATEQ F520
Q_{ATEQ1}	[SCCM]	Úniku zobrazený na ATEQ F520 při nastavení ATEQ Kalibrátoru na 0SCCM
Q_{ATEQ2}	[SCCM]	Úniku zobrazený na ATEQ F520 při nastavení ATEQ Kalibrátoru na 5 SCCM
Q_{cal}	[SCCM]	Hodnota úniku zobrazená na ATEQ kalibrátoru
Q	[kg/s]	Hmotnostní průtok
R	$\left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \times \text{K}}\right]$	Plynová konstanta
R_e	[-]	Reynoldsovo číslo
T	[K]	Absolutní teplota
t	[s]	Čas
V	[m ³]	Objem
V₁	[m ³]	Objem média před zkouškou
V₂	[m ³]	Objem nastavený na zařízení ATEQ F520

V_2	$[m^3]$	Objem média po zkoušce
V_u	$[m^3]$	Objem uniklého média
V_x	$[m^3]$	Objem zjišťovaného přípravku
ΔP	$[Pa/s]$	Pokles tlaku

Zkratka	Jednotka	Popis
AdBlue	[-]	Obchodní název pro močovinu
BI	[-]	Systémová chyba měření
C_g	[-]	Ukazatel způsobilosti systému
C_{gk}	[-]	Ukazatel kritické způsobilosti systému
CO	[-]	Oxid uhlenatý
CO₂	[-]	Oxid uhličitý
DNOX	[-]	Denoxtronic – systém snižování emisí
DS	[-]	Dieselová divize firmy Robert Bosch
E0	[-]	Palivo neobsahující Ethanol
E10	[-]	Palivo obsahující do 10 % Ethanolu
E5	[-]	Palivo obsahující do 5 % Ethanolu
EHK	[-]	Evropská hospodářská komise
EURO I	[-]	Evropská emisní norma
EURO II	[-]	Evropská emisní norma
EURO III	[-]	Evropská emisní norma
EURO IV	[-]	Evropská emisní norma
EURO V	[-]	Evropská emisní norma
EURO VI	[-]	Evropská emisní norma
GRR	[-]	Kritérium způsobilosti
H	[-]	Vodík
HC	[-]	Uhlovodíky
He	[-]	Helium
kVA	[-]	Jednotka zdánlivého el. výkonu
LEV I	[-]	Americká emisní norma –automobily s nízkými emisemi
LEV II	[-]	Americká emisní norma –automobily s nízkými emisemi

LEV III	[-]	Americká emisní norma –automobily s nízkými emisemi
LSL	[-]	Horní omezující hodnota
MOE	[-]	Výrobní oddělení
MSLD	[-]	Hmotnostní spektrometr
n	[-]	Počet měření
NO_x	[-]	Oxid dusíku
NZM	[-]	Nedestruktivní zkoušení materiálů
PM	[-]	Pevné částice (Particulate matter)
PZEV	[-]	Americká emisní norma –automobily s částečně nulovými emisemi
RBCB	[-]	Robert Bosch České Budějovice
RES	[-]	Rozlišení měřicího systému
R_g	[-]	Rozpětí naměřených hodnot
SF6	[-]	Sulfur Hexafluoride
S_g	[-]	Směrodatná odchylka naměřených hodnot
SCCM	[-]	Standartní kubický centimeter za minutu
SO₂	[-]	Oxid siřičitý
SULEV	[-]	Americká emisní norma –automobily se super nízkými emisemi
T	[-]	Rozdíl hranice specifikace a přirozeně omezující hodnoty
T	[-]	Tolerance měřeného znaku
TEF	[-]	Oddělení technické podpory
TLEV	[-]	Americká emisní norma –automobily s přechodně nízkými emisemi
T_{min} (C_g)	[-]	Minimální referenční hodnota potřebná pro plnění kritéria C _g
T_{min} (C_{gk})	[-]	Minimální referenční hodnota potřebná pro plnění kritéria C _{gk}
T_{min} (RES)	[-]	Minimální referenční hodnota potřebná pro plnění kritéria RES
TTLR	[s]	Čas plnění systému
U_{cal}	[-]	Nepřesnost kalibrace
USL	[-]	Spodní omezující hodnota
X_g	[-]	Průměr z naměřených hodnot
X_m	[-]	Referenční hodnota referenčního dílu
X_{max}	[-]	Nejvyšší naměřená hodnota

X_{min}	[-]	Nejnižší naměřená hodnota
ZEV	[-]	Americká emisní norma –automobily s nulovými emisemi

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Advanced Test Concepts, Inc. *Leak Testing / Detection* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.atcinc.net>>.
2. ATEQ, *Leak Detection and Leak Testers* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ateq.com/index.html>>.
3. EKOTECHNIKA, *Průtoky plynů* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.prutoky.cz>>.
4. EPA, *United States Enviromental Protection Agency*. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.epa.gov>>.
5. EUROPIAN COMMISSION, Transport and Environment. Dostupné na World Wide Web: <http://ec.europa.eu/index_en.htm>.
6. KOPEC, B. a kol. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
7. LABTECH s.r.o, *Teorie a úvod do problematiky testování netěsností* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.detekce-netesnosti.cz>>.
8. *Měření těsnosti TEF 3*, ROBERT BOSCH ČESKÉ BUDĚJOVICE s.r.o. Czech Republic. Listopad 2010.
9. OMEGA ENGINEERING, Inc, *Flow and Level Measurement* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.omega.com/literature/transactions/>>.
10. Pfeiffer Vacuum, GmbH. *KNOW HOW* [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pfeiffer-vacuum.com/know-how/container.action>>.
11. Robert Bosch GmbH, *Bosch worldwide*, Dostupné na World Wide Web: <http://www.bosch.com/worldsite_startpage/en/default.aspx>.
12. *Řízení kvality ve skupině Bosch - Technická statistika- Sešit č. 10 Způsobilost měřících a zkušebních procesů*, Robert Bosch GmbH, Zář 2012.
13. *United States emission standards* [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_emission_standards>.
14. *Zajišťování jakosti ve skupině Bosch - Technická statistika- Nejistota měření*, Zář 2001.
15. *Zajištění kvality ve skupině Bosch - Technická statistika – Sešit č.9 Způsobilost strojů a procesů 3. vydání*, Červenec 2004.
16. ZEMAN Lubomír, *Vstřikování plastů*. BEN-Tehnická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

