

Technologie svařování ultrazvukem

Ultrasonic Welding Technology

Bc. Monika Šemrová

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika Šemrová**
Osobní číslo: **T18600**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Technologie svařování ultrazvukem**

Zásady pro vypracování

1. zpracujte literární rešerši na dané téma
2. provedte experimentální svařování
3. optimalizujte proces svařování při změně technologických parametrů
4. provedte statistické vyhodnocení výsledků

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Šuba, O. Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2010. 112 s. ISBN 978-80-7318-948-8.
2. Švehla, Š., Figura Z. Ultrazvuk v technologii. Bratislava: Alfa 1984. 521 s.
3. Maňková, I.. Progresivní technologie. Viena. Košice 2000. ISBN 80-7099-430-4.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEMROVÁ, M. *Technologie svařování ultrazvukem*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2020, 99 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že odevzdaná práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Prohlašuji, že moji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny a citovány na závěr práce.

Jako autorka této diplomové práce dále prohlašuji, že jsem si plně vědoma následků porušení autorských práv dle § 270 aktuálního trestního zákona č. 40/2009 Sb. Během tvorby tohoto dokumentu jsem vědomě neporušila autorská práva cizích a třetích osob.

Ve Zlíně dne:

.....

Podpis autorky

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací svařovacích parametrů pro technologii ultrazvukového svařování. Svařovaný materiál je plast, konkrétně se jedná o PBT s 30% skelných vláken (PBT GF30). Teoretická část propojuje témata o ultrazvuku, ultrazvukovém svařování, svařování termoplastů se skelnými vlákny. Následují kapitoly o způsobech měření a metodách vyhodnocování. V praktické části je zdokumentována optimalizace procesu na základě prováděného měření a návod, jak proces v rychlosti upravit pomocí ultrazvukové svařičky v případě odchylek. Odchytky jsou sledovány pomocí interních KPI ukazatelů, přednostně se práce zaměřuje na dlouhodobého ukazatele – průchodnost FPY.

Klíčová slova:

ultrazvukové svařování, PBT GF30, HVAC, analýza, optimalizace, těsnost, FPY (KPI)

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the optimization of ultrasonic welding's parameters used in ultrasonic welding technology. The welded parts are made from thermoplastic named PBT GF30. The individual chapters connect topics of ultrasonic waves, ultrasonic welding, welding of glass-filled thermoplastics, methods of measuring and analysis in the theoretical part. The practical part is focused on analysis, optimization and includes the instruction how set the ultrasonic welding machine if the quality of material will change. Deviations are tracked and evaluated using internal measuring of Key Performance Indicators, specifically First Pass Yield (FPY).

Keywords:

ultrasonic welding, PBT GF30, HVAC, analysis, optimization, leakage, FPY (KPI)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala své vedoucí práce paní Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za vedení, inspiraci, důvěru, podporu v období nouzového stavu, cenné rady a připomínky. Velice děkuji paní Ing. Kubišové, Ph.D., která mi pomohla s analýzou v oboru statistiky. Velké díky patří odbornému servisu a společnosti IMI International s.r.o., zejména IMI Precision Engineering, za možnost uskutečnění měření a experimentování, kolegům za věcné připomínky a ochotu podělit se o znalosti jak v oblasti ultrazvukového svařování, tak i v oblasti statistických metod.

V neposlední řadě děkuji mé rodině a blízkým, kteří mne po celou dobu podporovali.

MOTTO

„Gram praxe je lepší než tuna teorie.“

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ULTRAZVUK	12
1.1 FYZIKÁLNÍ PODSTATA ULTRAZVUKU	12
1.2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ULTRAZVUKOVÉHO VLNĚNÍ.....	13
1.3 VYUŽITÍ ULTRAZVUKU	14
1.4 BEZPEČNOST A JINÉ ÚČINKY ULTRAZVUKU	15
2 PROCES ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ	16
2.1 PRINCIP ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ.....	16
2.2 KOMPONENTY A JEJICH FUNKCE	17
2.3 METODY SVAŘOVÁNÍ	19
2.4 SVAŘOVÁNÍ VYZTUŽENÝCH POLYMERŮ	22
2.5 VÝHODY, NEVÝHODY A APLIKACE	23
3 POPIS ULTRAZVUKOVÉ SVĀŘEČKY	24
3.1 GENERÁTOR ULTRAZVUKU.....	25
3.2 SONOTRODA A LIS	25
3.3 OVLÁDACÍ SOFTWARE	27
3.4 PRINCIP ČINNOSTI.....	28
3.5 SVAŘOVACÍ REŽIMY	30
3.5.1 Režim detekce povrchu (Ground Detect).....	30
3.5.2 Režim relativní dráhy (Collapse)	31
3.5.3 Režim energie (Energy)	31
3.5.4 Režim absolutní dráhy (Absolute)	32
3.5.5 Režim času (Time)	32
3.5.6 Režim výkonu (Peak Power).....	32
3.6 PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ	33
3.6.1 Přítláčná síla	33
3.6.2 Přídržný čas (hold time)	34
3.6.3 Spuštění (trigger).....	34
3.6.4 Pretrigger.....	34
3.6.5 Oddělení (Afterburst)	34
3.6.6 Amplituda kmitů	34
3.6.7 Frekvence kmitů.....	35
3.6.8 Svařovací čas.....	35
4 TERMOPLASTY	36
4.1 VYZTUŽOVÁNÍ TERMOPLASTŮ.....	36
4.1.1 Vyztužení krátkými vlákny	36
4.1.2 Vyztužení dlouhými vlákny	36
4.1.3 Nekonečně dlouhá vlákna	36
4.1.4 Vyztužení textilními skelnými vlákny	37
4.2 TERMOPLASTY Z POHLEDU ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ	37
4.2.1 Navlhavost.....	38

4.2.2	Smrštění.....	38
4.2.3	Činidla	38
4.2.4	Lubrikanty	39
4.2.5	Změkčovadla	39
4.2.6	Plniva.....	39
4.2.7	Retardéry hoření.....	39
4.2.8	Recykláty.....	39
4.2.9	Barviva a pigmenty	40
4.3	MATERIÁL PBT s 30 % SKELNÝCH VLÁKEN.....	40
4.3.1	Mechanické a fyzikální vlastnosti PBT GF30	40
4.3.2	Ultrazvukové svařování PBT GF30	41
5	AUTOMOTIV A PLASTY	42
5.1	IMI INTERNATIONAL S.R.O.	42
5.2	TECHNOLOGIE HVAC	43
5.3	VZDUCHOVÝ SYSTÉM	44
5.4	VÝROBEK ŘADY HVAC - MOTOR ACTUATOR.....	45
6	POPIS ZKUŠEBNÍCH METOD	47
6.1	ZKOUŠKA TĚSNOSTI SUCHÝM VZDUCHEM	47
6.2	ZKOUŠKA TĚSNOSTI BUBLINKOVÝM TESTEM.....	50
6.3	ZKOUŠKA PEVNOSTI SVARU DESTRUKČNÍ ZKOUŠKOU.....	51
7	METODY PLÁNOVÁNÍ, OVĚŘOVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ.....	53
7.1	OVĚŘOVÁNÍ A ZLEPŠOVÁNÍ - DMAIC	53
7.2	OVĚŘOVÁNÍ ZPŮSOBILOSTI STROJŮ A PROCESŮ	55
7.2.1	Analýza způsobilosti stroje	55
7.2.2	Analýza systému měření (MSA).....	55
7.2.3	Analýza způsobilosti procesu.....	57
7.2.4	Analýza průchodnosti na poprvé (FPY).....	58
7.3	VYHODNOCOVÁNÍ A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ	59
7.3.1	Těsnost	59
7.3.2	Pevnost svaru	60
II	PRAKTICKÁ ČÁST	61
8	CÍL PRÁCE	62
9	SEZNÁMENÍ S FIRMOU IMI PRECISION ENGINEERING.....	63
10	EXPERIMENT	64
10.1	IDENTIFIKACE PROBLÉMU – DIAGRAM ISHIKAWA.....	65
10.2	URČENÍ FAKTORŮ OVLIVŇUJÍCÍ ZKOUMANOU VELIČINU.....	65
10.2.1	Správná montáž	66
10.2.2	Hrana	66
10.2.3	Čistota sonotrody a hnízda	67
10.2.4	Stabilita materiálu	68
10.2.5	Šarže materiálu	69
10.2.6	Nastavení parametrů svářečky	70
10.3	VÝBĚR ŘIDITELNÝCH FAKTORŮ.....	70

11	OPTIMALIZACE SVAŘOVACÍHO PROCESU.....	71
11.1	VÝCHOZÍ STAV	71
11.2	OPTIMALIZACE I – REŽIM RELATIVNÍ DRÁHY.....	73
11.3	VÝSLEDNÝ STAV – REŽIM RELATIVNÍ DRÁHY	74
11.4	OPTIMALIZACE II – REŽIM ENERGIE.....	75
11.5	VÝSLEDNÝ STAV – REŽIM ENERGIE	76
11.6	HODNOCENÍ OPTIMALIZACÍ	76
12	STATISTICKÉ HODNOCENÍ A MĚŘENÍ	77
12.1	TĚSNOST – KRÁTKODOBÁ ANALÝZA.....	77
12.2	TĚSNOST – DLOUHODOBÁ ANALÝZA	79
12.3	MĚŘENÍ PEVNOSTI SPOJE	84
	ZÁVĚR	87
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	96
	SEZNAM TABULEK.....	98
	SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

Podnětem diplomové práce se stalo ultrazvukové svařování ve společnosti IMI Precision Engineering. Důsledkem neznalosti a nedokonalosti procesu svařování dochází k enormnímu zvýšení výpadků a snížení produktivity - konkrétně se jedná o ultrazvukové svařování plastů v sériové výrobě pro automobilový průmysl. Problematický produkt je tvořen z plastového materiálu PBT s 30 % skelných vláken (PBT GF30), který se svařuje. Výrobky podléhají testovací specifikaci dle požadavků zákazníka. Jedním z bodů specifikace je těsnost výrobku. Před zahájením rozboru se vykazuje kolem 30 % vyrobených kusů. Vzniklé zmetky jsou neopravitelné. Standartní limit jsou nejvýše 3% zahrnující veškeré vady, hodnota je běžná pro automobil. Znamená to, že současná produkce je neefektivní, bez výtěžku a množství zmetků je hluboce pod povoleným limitem.

Teoretická rešerše by měla pojmout všechny potřebné informace, návody a data k praktické části z dostupných zdrojů. Praktická část diplomové práce se zaměřuje na konkrétní situaci – svařování PBT GF30 a nastavení konkrétní ultrazvukové svářečky.

Úkolem praktické části je najít vlivy, které v současnosti způsobují netěsnost výrobku a dále do jaké míry netěsnost souvisí se svařováním. Měřitelné výstupy budou podrobeny statistické analýze. Proběhne návrh stabilizace procesu svařování a následné testování navržených úprav. Odhalené kořenové příčiny snad pomohou najít východisko optimalizace procesu. Cílem je dosáhnout stabilního procesu, a tím zvýšit kvalitativní ukazatele. Celkový výstup diplomové práce bude shrnutý do tabulky, která bude sloužit jako návod pro rychlé seřízení ultrazvukové svářečky.

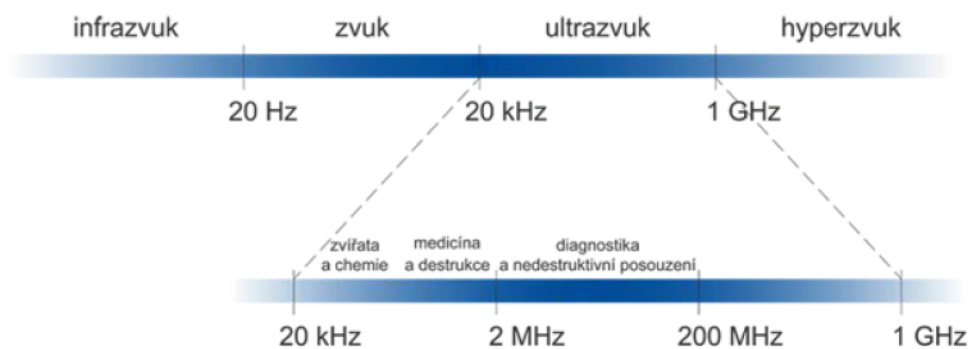
Pomocí Lean nástrojů dojde k identifikaci problému. K analýze procesu budou využita data z měření těsnosti a pevnosti svarů, k dispozici jsou i data ze svářečky. Měření těsnosti proběhne pneumaticky, měření pevnosti zajistí destrukční hydraulická zkouška. Prováděná analýza proběhne na úrovni statistiky – určování způsobilosti stroje, stability měření a průchodnosti na poprvé. Naměřené výsledky budou zpracovány elektronicky pomocí vybraného softwaru pro analýzy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ULTRAZVUK

1.1 Fyzikální podstata ultrazvuku

Mechanické kmitání částic se podle frekvence dělí na infrazvuk, slyšitelný zvuk, ultrazvuk a následně hyperzvuk. Vlny vznikají při mechanickém kmitání částic daného prostředí. Částice kmitají kolem svých rovnovážných poloh. Ultrazvuk vzniká mechanickým kmitáním částic o frekvenci vyšší než 20 kHz. Pro člověka je nad hranicí slyšitelnosti, která je v rozmezí 20 Hz až 20 kHz. [4]



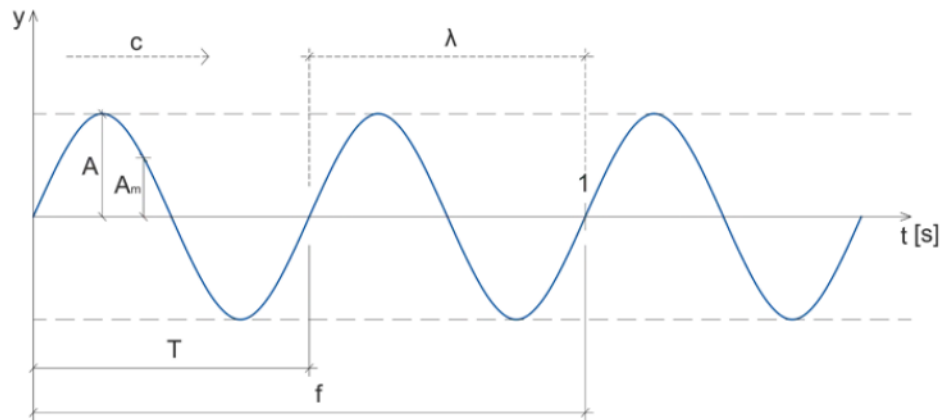
Obr. 1: Frekvenční pásma zvuku [4]

Dělení ultrazvuku:

- 20 – 100 kHz = silový ultrazvuk
- 100 – 1000 kHz = vysokofrekvenční ultrazvuk
- 1 – 500 MHz = diagnostický ultrazvuk

Ultrazvuk a jeho šíření v látkách spadá pod obor akustiky. Zvuk lze popsat jako mechanické vlny šířící se prostorem a fyzikálně se popisuje pomocí frekvence, periody, amplitudy, vlnovou délkou a rychlostí šíření.

Pro šíření ultrazvuku je potřeba zdroj, prostředí, ve kterém se může šířit a přijímač.



Obr. 2: Popis vlnění [4]

Popis Obr. 2:

t ... čas – základní jednotkou je sekunda [s]

y ... výchylka

f ... frekvence – počet opakování (otáček) za jednotku času, základní jednotkou je Hertz [Hz], což je počet opakování za 1 s

T ... perioda – doba jedné otočky, základní jednotkou je sekunda [s]

A ... amplituda – maximální výchylka, energie ultrazvuku, udávaná v decibelech [dB]

A_m ... okamžitá amplituda – okamžitá výchylka

λ ... vlnová délka – délka jedné vlny [mm]

c ... rychlost šíření [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

1.2 Základní vlastnosti ultrazvukového vlnění

Důležitým parametrem ultrazvuku je intenzita vlnění. Vlnění s nízkou hodnotou intenzity má nedestruktivní charakter. Neovlivňuje tedy fyzikální ani chemické vlastnosti prostředí, kterým prochází. Tento typ se používá například ve zdravotnictví. Opakem je ultrazvuk s vysokou hodnotou intenzity, který ovlivňuje vlastnosti prostředí, kterým se šíří. Častější název je aktivní ultrazvuk. Oblasti použití jsou převážně ve výrobě, přesněji svařování nebo při čištění.

Ultrazvuk se nejlépe šíří v tuhých látkách rychlostí až $3000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ve vzduchu zhruba desetinásobně pomaleji. [9]

1.3 Využití ultrazvuku

Hlavní výhodou ultrazvuku je jednoduchá, bezkontaktní detekce a měření uvnitř prostorů, které jsou jiným způsobem těžko dostupné. Zároveň neovlivňuje okolí tak, jako například rentgenové záření. Dalším velkým kladem je rychlá odezva, závisí pouze na odrazu vlny. Skoro okamžitě vzniká aktuální „obraz“. Díky této vlastnosti se ultrazvuk uplatňuje v medicíně, farmacii, armádě a dalších oborech. V průmyslových technologiích se využívá také kvůli rychlosti, přesnosti a stabilním výsledkům. Používají se jak spojitě, tak i přerušované vlny. Princip využití spočívá ve vysílání krátkých impulzů ultrazvukové energie na určité místo. Každou odraženou vlnu impulzu přijímá receptor signálu v krátkém časovém intervalu. Dojde k vyhodnocení signálu. [8], [21]

V opačném případě dochází k pohlcení vln v předem určeném místě. Koncentrované vlny o vysoké frekvenci dokáží rozkmitat molekuly prostředí. Popsaný efekt se používá především u svařování materiálů, zdravotním a technickým čištění.

Druh generátoru ultrazvuku ovlivňuje frekvenci a na ní závislé využití:

- *mechanické generátory* – využití na píšťaly a sirény, využíváno spíše v historii
- *magnetrostrikční generátory* – ultrazvuková vlna vzniká v magnetickém poli, do něhož je vložena feromagnetická tyčinka. Maximální frekvence dosahuje hodnoty 60 kHz omezena impedancí cívky. Používají se v zubním lékařství při odstraňování vodního kamene a kazu.
- *piezoelektrické generátory* – přeměna elektrické energie na mechanickou způsobuje ultrazvukové vlnění. Destičky z vhodného materiálu (křemen, keramika, ...) jsou připojeny na elektrodu se střídavým napětím a kmitají o stejné frekvenci jako přiložené napětí. Generuje se tak vlnění o frekvenci až do desítek MHz. Jsou součástí ultrazvukových zařízení v medicíně a v průmyslových technologiích. [8]

Podle prostředí a aplikace se pro ultrazvuk vyvinulo více odborných názvů:

- *sonar* – měření vzdáleností a hloubek pod vodní hladinou pomocí ultrazvukových vln (princip radaru, ale místo radiových vln akustické)
- *echolokace* (přírodní sonar) – 10 – 280 kHz – schopnost zvířat mapovat okolí na souši i ve vodě (netopýři, kytovci)
- *ultrasonografie* – interní lékařství, vyšetřování plodů a vnitřních orgánů

Využití ultrazvuku v technologii:

- *řezání* – čepel nože vibruje o frekvenci ultrazvuku, dochází k rychlému, přesnému a bezodpadovému dělení materiálu; vyřezávání obrysů, nekonečné řezání a zatavování, navařování, dělení materiálu včetně vysoce pevnostního
- *svařování kovů* – elektronika, čipy a jiné měkké kovy (s omezením tloušťky), plechy a fólie spojované různými postupy
- *svařování plastů* – dochází k přímému přenosu UZ energie přes různé vrstvy; nýtování, přírubování, výroba okrajů TatraPack balení, zatavování kovů do plastu, dělení folií, ochranné vaky pro medikamenty
- *prosévání* – ultrazvuk zamezuje zanášení tkaniny síta, které při pravidelné údržbě dokáže třídit jemné prášky za krátký čas; prosévání, třídění a odprášení
- *čištění* – během čištění se mezi nečistotami a povrchem aplikují vlny, které „odlupují“ nečistoty; průběžné a konečné čištění [23]

1.4 Bezpečnost a jiné účinky ultrazvuku

Z hlediska bezpečnosti práce s ultrazvukem se rizika hodnotí převážně u sonografie, kdy je lidský organismus přímo vystaven vlnění. Při použití echokontrastních látek se rizika zvyšují. K předcházení rizik se stanovují dva indexy – mechanický (MI) a tepelný (TI). Pro každý orgán jsou hodnoty rozdílné a při použití ultrazvuku by neměly být překročeny. [4]

Účinky ultrazvuku na prostředí:

- *mechanické* – prohřátí, rozkmitání, kavitace
- *tepelné* – absorpce energie
- *fyzikálně chemické* – změna vlastností buněčných membrán v organismu
- *chemické* – štěpení vysokomolekulárních látek
- *biologické* – absorpce mechanické energie

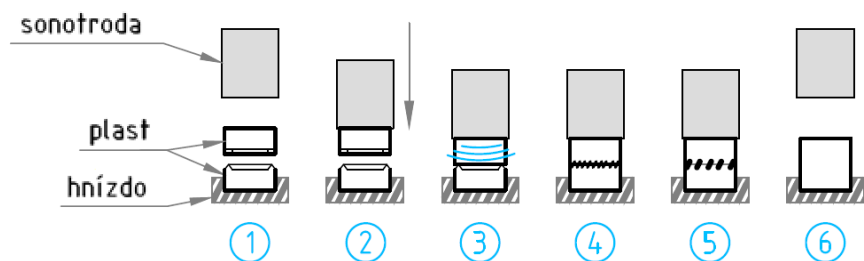
2 PROCES ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ

Principem svařování je pomocí ultrazvuku roztavit materiál a za působení tlaku tím spojit obvykle dva k sobě. Po následném ochlazení vzniká velmi tuhý nerozebratelný spoj.

Ultrazvukové svařování je proces související s teplem. Některé principy svařování a tváření za tepla jsou stejné, podstatný rozdíl je v tom, jakým způsobem se přivádí teplo do ovlivněného prostředí. U ultrazvukového svařování přenáší nástroj vibrace o vysoké frekvenci (20 kHz a více). Vibrace musí prostoupit skrz materiál až do konkrétního místa, kde roztaví materiál. [5]

2.1 Princip ultrazvukového svařování

Kombinace vysokofrekvenčních vln přeměňujících se na vysokofrekvenční mechanický pohyb s aplikovanou silou vytváří třecí teplo na vnitřních površích plastového dílu, v oblasti spoje. Natavený materiál z obou dílů se homogenizuje. Jakmile dojde k zastavení vibrací, aplikovaná síla stále působí a spoj se začíná ochlazovat. Mezi svařovanými díly vzniká molekulární vazba a pevný nerozebíratelný spoj. [10]



Obr. 3: Princip ultrazvukového svařování [12]

Popis schématu (Obr. 3):

1. Dvě části jsou uloženy nad sebe, přičemž spodní díl se umístí do přípravku (fixture).
2. Titanový nebo jinak vytvrzený nástroj nazývaný sonotroda (horn) sestoupí k vrchnímu dílu.
3. Po kontaktní blízkosti začíná působit ultrazvuk. Sonotroda kmitá vertikálně s frekvencí 20 kHz a více (dle zařízení) do hloubky v řádu desetin milimetrů. Doba se nazývá svařovací čas (weld time). Po dobu svařování působí přítlačná síla.

4. Jakmile narůstající teplota dosáhne bodu tání termoplastu (kolem 200 °C), materiál se nataví. Působíště a zaměření vibrací na konkrétní místo se provádí již při designu a návrhu svarových ploch, viz dále.
5. Přítlačná síla působí ještě po zastavení vibrací, aby vznikl homogenní spoj. Roztavený materiál začíná chladnout a tuhnout. Této době se říká přídržný čas (hold time).
6. Jakmile roztavený plast ztuhne, přítlačná síla přestává působit a sonotroda se vrací do výchozí polohy (afterburst). Obě plastové části jsou nyní spojeny a lze je vyjmout z přípravku jako jednu část.

2.2 Komponenty a jejich funkce

Každá sestava pro ultrazvukové svařování obsahuje základní komponenty: generátor (generator), měnič (transducer), zesilovač (booster), sonotroda (horn). Úplnou sestavu doplňují přídržovací a spojovací díly pro montáž.

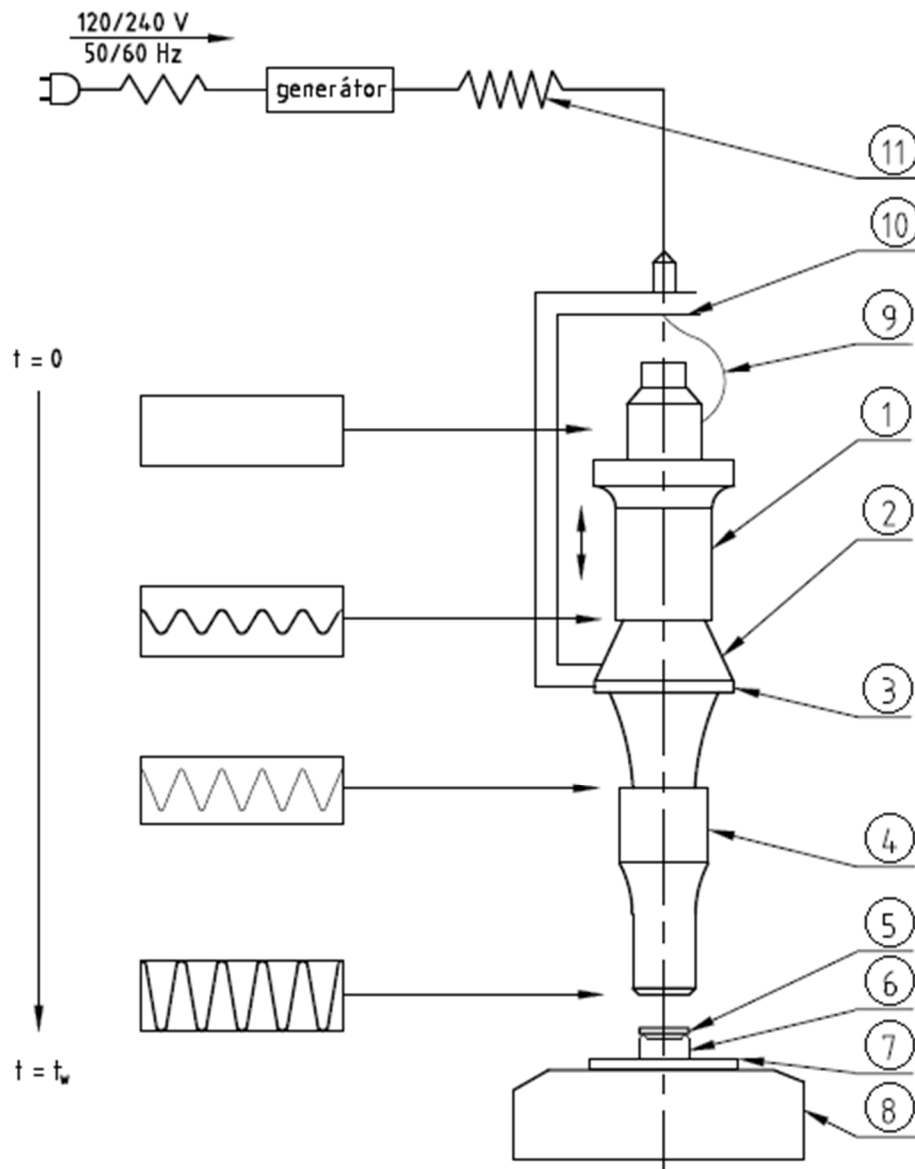
Generátor čerpá ze zdroje napětí o 120 nebo 240 V a frekvenci 50 až 60 Hz. Přemění jej na elektrickou energii s frekvencí, pro kterou je navrženo zařízení. Běžné pracovní frekvence jsou 20, 30 a 40 kHz.

Vysokofrekvenční energie z generátoru se posílá do transduceru, který mění energii na vertikální mechanický pohyb s nízkou amplitudou.

Tyto vibrace jsou převedeny do boosteru, který upravuje amplitudu kmitání. Booster s poměrem 2:1 dvojnásobí výslednou amplitudu, která přechází do sonotrody (horn). Zesilovač s poměrem 0,5:1 sníží amplitudu na polovinu.

Vibrace jsou tedy převedeny do sonotrody o požadované frekvenci pro zpracování materiálu. Sonotroda je speciálně navržený nástroj pro každou aplikaci zvlášť. Kvůli specifickému tvaru může přispět ke zvýšení frekvence vibrací.

Sonotroda je nejvíce namáhaný díl z celé sestavy. Nejdůležitější je její přesnost. Měří se v řádu tisícín. Při špatném designu se přenáší ultrazvuková energie do jiných míst, než má, čímž klesá kvalita spoje. U plastových dílů často dochází k dokončovacím úpravám sonotrody, aby svaření proběhlo úspěšně. Z tohoto důvodu se pro vzorování volí konstrukční materiál měkký, jako hliník a jeho slitiny, pro sériovou výrobu potom titan a jeho slitiny.



Obr. 4: Schéma ultrazvukové svářečky [12]

Popis schématu (Obr. 4):

Vlevo: vznik a vývoj vibrační amplitudy v čase $t_0 \rightarrow t_w$

Vpravo číslované pozice: 1 – ultrazvukový měnič s piezoelektrickými kroužky (transducer), 2 – zesilovač (booster), 3 – podpůrný límeč, 4 – sonotroda (horn), 5 – svařovaný kus (horní díl), 6 – svařovaný kus (spodní díl), 7 – základací přípravek, 8 – pevná podložka, 9 – přívod elektrické energie, 10 – nosný rám, 11 – napěťový zdroj

2.3 Metody svařování

Pro každé svařování je podstatné navrhnout správný design svarové hrany či plochy. Pro jednu aplikaci (metodu) lze použít více návrhů designů, a tak je důležitým parametrem podle funkce výrobku. Výhodným designem je rovná plocha na jedné straně a sedlovitý průřez na straně druhé. Variabilita tvarů přináší rozdílnou pevnost svaru nebo předurčuje umístění svaru vůči výrobku. Optimálním výsledkem je svar o pevnosti téměř původního materiálu. [20]

Podle primární funkce dělíme svary na:

- *silové* – slouží pro přenos vnějšího zatížení;
- *spínací* – zajišťují pouze soudržnost dílů;
- *těsnicí* – zajišťují těsnost výrobku.

Podle způsobu svařování je dělíme na: [23]

- *bodové spoje*
- *výstupkové spoje*
- *nýtové spoje*
- *kruhové švové spoje*
- *tvarové spoje*

Dle příručky níže (Obr. 5) lze odhadovat kompatibilitu vybrané metody svařování a materiálu. Přehled nezahrnuje další vlivy jako design svarových ploch, konfiguraci materiálů horního a spodního dílu, požadavky na amplitudu, a další parametry, které ovlivňují výsledný efekt.

TYPE OF MATERIAL	Hygroscopicity	Resin Type	ASSEMBLY TECHNIQUES					
			Welding	Inserting	Staking	Swaging	Degating	Spot Welding
ABS (Cyclocac)		A	G	G	G	G	G	G
ABS/Polycarbonate (Cycloy)	H	A	G	G	G	G	G	G
Acetal (Delrin, Celcon)		C	F	G	F	P	G	F
Acrylic (Plexiglass, Perspex)	H	A	G	G	G	G	G	G
Acrylic Multipolymer (XT)		A	G	G	G	G	G	G
Liquid Crystal Polymers (Xydar)		C	F	G	F	F	G	G
Nylon (Zytel)	H	C	G	G	F	F	G	G
Phenylene Oxide (Noryl)		A	G	G	G	G	G	G
Polycarbonate (Lexan)	H	A	G	G	G	G	G	G
Polycarbonate/Polyester (Xenoy)	H	A/C	G	G	G	G	G	G
Polyester PBT (Celanex, Valox)		C	G	G	F	F	G	G
Polyester PET (Rynite)		C	G	G	F	F	F	G
Polyetherether Ketone (PEEK)		C	F	G	F	F	G	F
Polyetherimide (Ultem)		C	G	G	F	F	G	G
Polyethylene P/E		C	G	F	G	G	P	G
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)		C	G	G	G	G	G	G
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)		C	G	G	F	F	G	F
Polypropylene P/P		C	G	G	G	G	F	G
Polystyrene		A	G	G	G	G	G	G
Polysulfone (Udel)	H	A	G	G	G	G	G	G
Polyvinylchloride (Rigid PVC)		A	G	G	G	G	G	G
SAN/NAS		A	G	G	G	G	G	G
Styrene Block Copolymers (K-Resin)		A	G	G	G	G	G	G

H = Hygroscopic – Material should be dry before assembling

RESIN TYPE

A = Amorphous
C = Semi-Crystalline

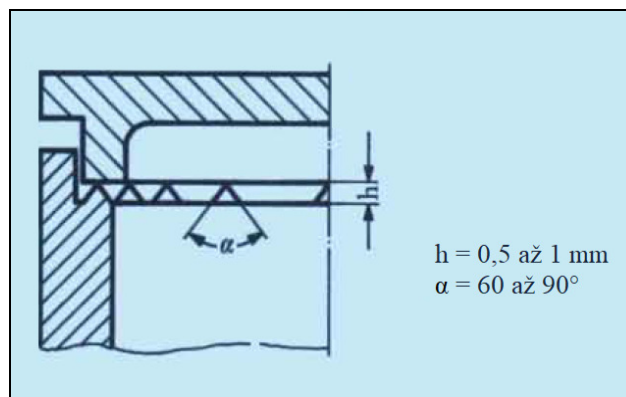
ASSEMBLY RATINGS

G = Good F = Fair P = Poor

Obr. 5: Ultrazvukové svařovací vlastnosti polymerů [12]

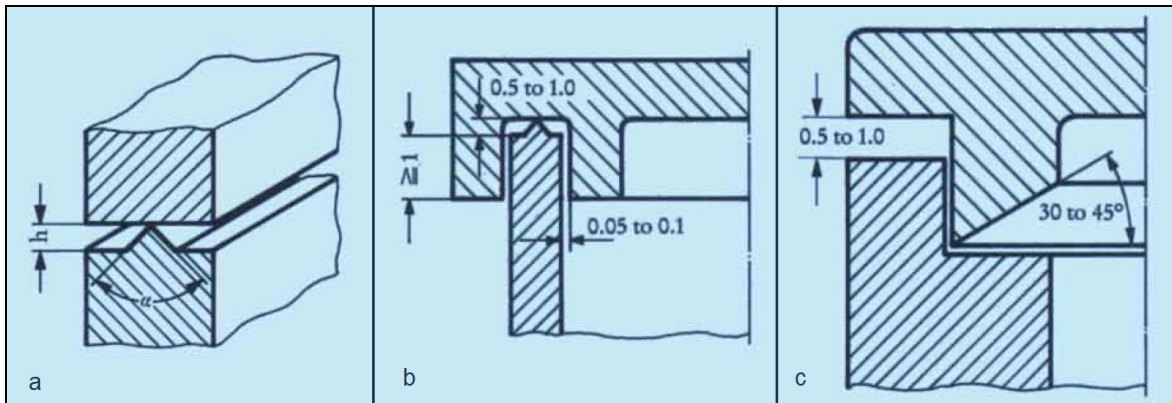
Tvary svarových ploch a přenašečů energie dělíme na:

- kuželovité (conical energy directors)



Obr. 6: Kuželovitý vzor svarové plochy [20]

➤ *zkosené jednostranně a oboustranně (roof-shaped energy directors)*

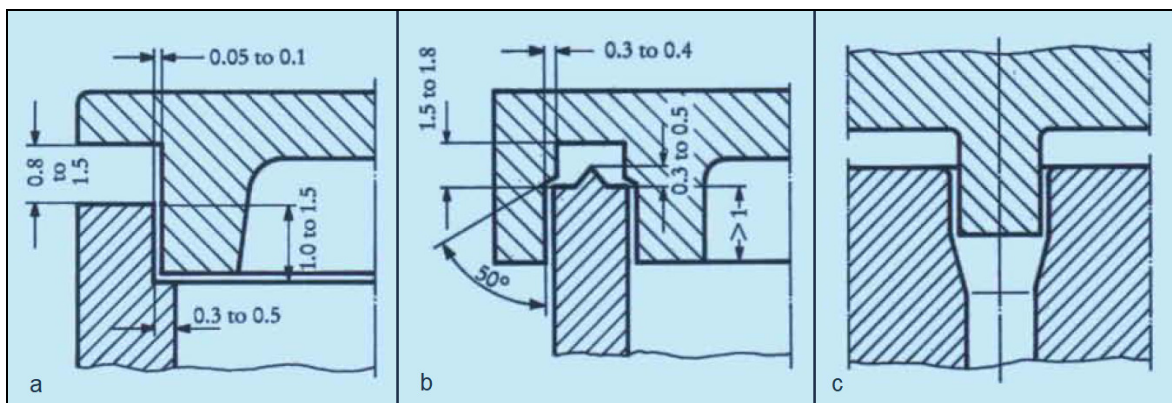


Obr. 7: Zkosený tvar svarové plochy [20]

Popis Obr. 7:

Ukázky z více variant: a – sedlový tvar po celém obvodu nebo jeho části (roof – shaped energy director), b – horní díl s přesahem z obou stran, spodní díl se sedlovým tvarem po obvodu, kvůli vysokým požadavkům na přesnost se používá pouze pro relativně malé díly, c – horní díl s vnitřním nesymetrickým tvarem, vhodné pro rychlé svařování různých plastových materiálů, kde je nedostatek místa pro oboustranné zkosení.

➤ *pevně přiléhající (joint designs for pinch welds)*



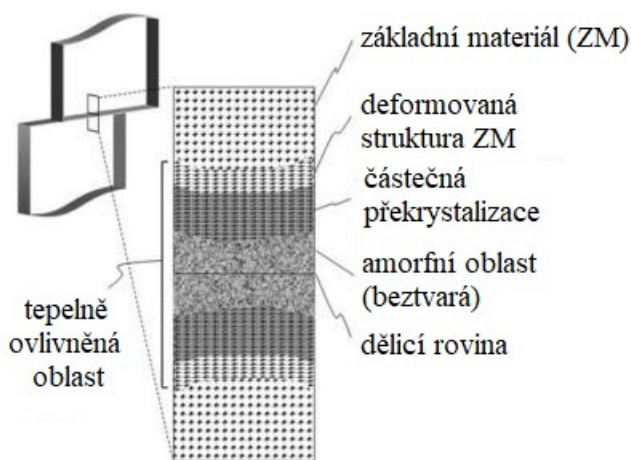
Obr. 8: Tvar svarové plochy pro pevný spoj [20]

Popis Obr. 8:

Ukázky z více variant: a – princip designu svarových ploch pevně přiléhajících, b – svarová plocha s energy direktorem, c – svarová plocha bez energy directoru, vhodné pro pevné spoje bez vysokých nároků na těsnost.

2.4 Svařování vyztužených polymerů

Hlavní požadavek pro svařování u plastových materiálů je pevnost svaru. Pro svary typu T nebo nýtování (butt welding) byly na Ústavu polymerního inženýrství a vědy prováděny zkoušky pevnosti. Výzkumný tým došel k závěru, že pro získání nejlepších výsledků je nejdůležitější geometrie svaru. Stěžejní bylo ale zobrazení vibračního svaru, který se mění podle vstupního materiálu. Obecné schéma (Obr. 9) zobrazuje tepelně ovlivněné zóny pro všechny semikrystalické materiály. [7]



Obr. 9: Mikrostruktura tepelně ovlivněných oblastí polymeru [7]

U čistých polymerů vzniká za optimálních podmínek během svařování vibrační svar o vysoké pevnosti.

U sklem vyztužených polymerů je známo, že pevnost svaru dosahuje podstatně nižších hodnot. Pevnost ovlivňuje množství, orientace a smáčení skelných vláken v oblasti svaru.

Vlákna orientovaná kolmo nebo dokonce přesahující dělicí rovina výrazně narušují vibrační svar a snižují pevnost. Jejich orientace závisí už na procesu vstřikování. Mikrostruktura vstřikovaného materiálu a počáteční orientace vláken významně ovlivňuje orientaci ve svaru. Dalším faktorem významného snížení pevnosti je zmíněná schopnost smáčení sklených vláken polymerem ve svarové oblasti. Vytažená či přečnávající vlákna mimo svar bývají potažena polymerem, zatímco vlákna přímo ve svaru jsou beze stop polymerového povlaku.

Problémy lze eliminovat za působení nižšího tlaku a větší hloubky průvaru. Prodloužením času se rozšíří tepelně ovlivněná zóna, v níž mohou být vlákna orientována jinak nebo v ní bude alespoň více plastického materiálu.

2.5 Výhody, nevýhody a aplikace

Každá technologie přináší výhody, rizika a jiné způsoby využití. Rozdělení do základních třech skupin je níže. [22]

Metoda svařování ultrazvukem je výhodná z mnoha hledisek:

- ▲ úspora času
- ▲ snížený objem tepelně ovlivněné oblasti
- ▲ dotykové plochy nevyžadují nákladnou nebo zdlouhavou přípravu
- ▲ jednoduše a rychle automatizovaný proces
- ▲ není potřeba přívodu externího zdroje tepelné energie
- ▲ čistý povrch po svařování bez nutných úprav
- ▲ široká škála materiálů ke svaření (plasty i kovy)

Nevýhody vyplývající během procesu jsou:

- ▼ velikost svařovaného dílu je limitována konstrukcí svářečky
- ▼ tloušťka materiálu závisí na tvrdosti materiálu (pro hliník max 2,5 mm)
- ▼ speciální design sonotrody pro každou aplikaci, čímž roste cena nákladů
- ▼ generované vibrace mohou poškodit elektrické komponenty uvnitř zařízení

Ultrazvukové svařování nachází největší uplatnění v oborech níže:

- výroba nukleárních reaktorů a jejich komponenty
- automobil - výroba klíčů, potahů, spojování krytů, tlačítek, kabeláže,...
- elektronika – vinutí drátů, spínače,...
- zdravotnictví – filtry, masky, roušky,...

3 POPIS ULTRAZVUKOVÉ SVÁŘEČKY

Ultrazvuková svářečka použitá během experimentování slouží pro svařování jednotlivých výrobků kus po kusu metodou tvarového svařování. Svařovací stanice se skládá z několika hlavních částí:

1. Piezoelektrický generátor
2. Sonotroda a lis s manuálním ovládáním
3. PC s ovládacím softwarem MC2000. [20]

Zařízení Branson patří mezi špičkové svářecí stroje, na které se společnost zaměřuje už několik let. Konkrétní svářečka Branson 2000mc net (Obr. 10) je v provozu od roku 2005 a patří mezi již starší produkty. Příloha P I obsahuje technický list k zařízení. [1]



Obr. 10: Svářečka BRANSON 2000mc net [1]

Popis Obr. 10:

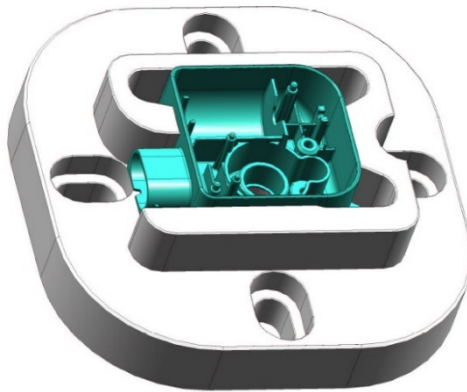
vlevo – PC s ovládacím SW MC2000, vpravo – sonotroda (zlatý díl) a lis

3.1 Generátor ultrazvuku

Svařovací generátor vytváří střídavé napětí. Kabelem HF se přivádí ke konvertoru (měnič). V konvertoru vzniká díky piezoelektrickým kroužkům z keramiky přeměna napětí na mechanickou amplitudu ultrazvukové vlnění. Hodnota vstupního napětí je přibližně 930 VAC RMS s frekvencí 20 kHz. Konvertor nabývá na rozměrech kvůli nutné ochraně vnitřních kroužků před mechanickým poškozením. Dále se energie přesouvá do boosteru, což je zařízení, které funguje jako mechanická převodovka amplitudy. Branson využívá barevné označení pro určení převodového poměru, které se odvíjí také od konstrukce sonotrody. [1]

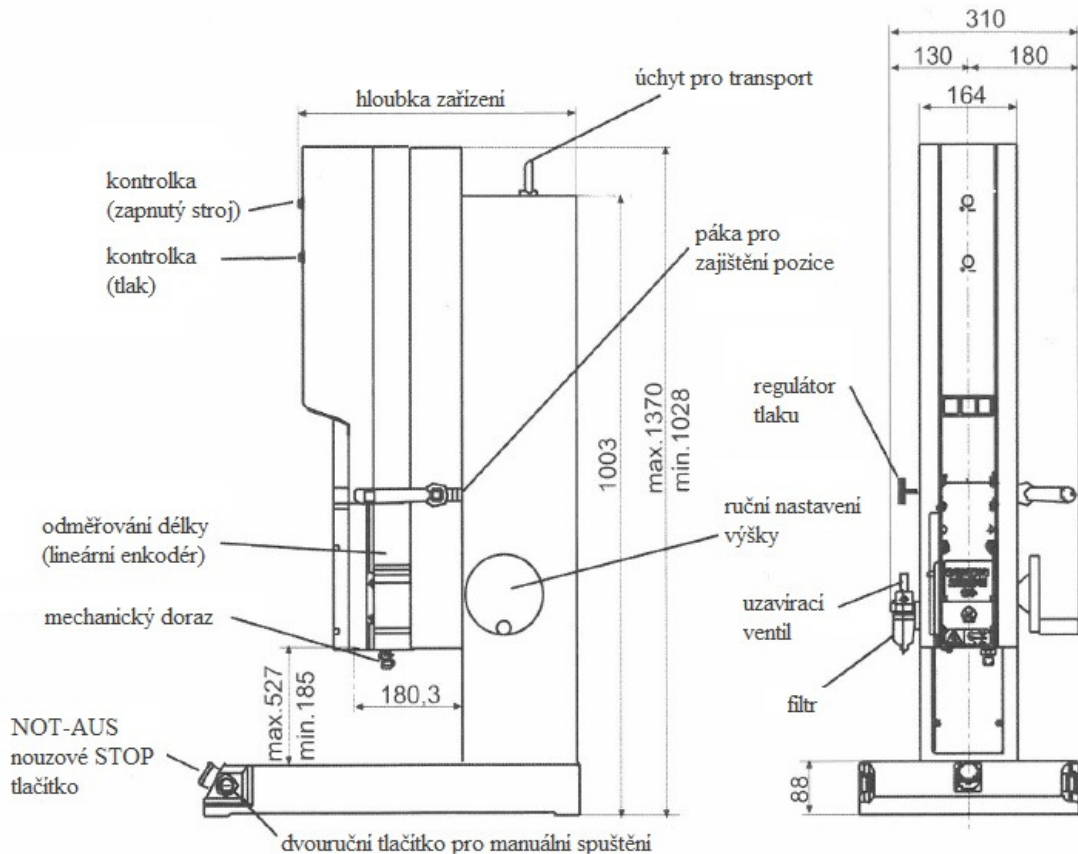
3.2 Sonotroda a lis

Vysokofrekvenční vlny se po dobu svařování přenáší přes sonotrodu do svařovaných dílů, přímo do energy directoru dle návrhu designu. V důsledku vysoké frekvence a opakovanému stlačování dochází k výrazně rychlejšímu opotřebení sonotrody než u základního přípravku - hnízda. Kus je do hnízda vložen pomocí ramene a v hnízdě uložen s vůlí. Navíc je hnízdo částečně vyplněno gumovou výstelkou, aby se plastový výrobek nepoškodil o kovové hrany. Uložení kusu je lépe vidět na Obr. 11 pomocí 3D modelu.



Obr. 11: Uložení kusu v přípravku (hnízdo) pod sonotrodou [1]

Lis je poháněn elektrickou, hydraulickou, pneumatickou nebo mechanickou energií. Reguluje se dle nastavení automaticky nebo manuálně pomocí páky. Slouží především k držení dílů po dobu přídržného času.



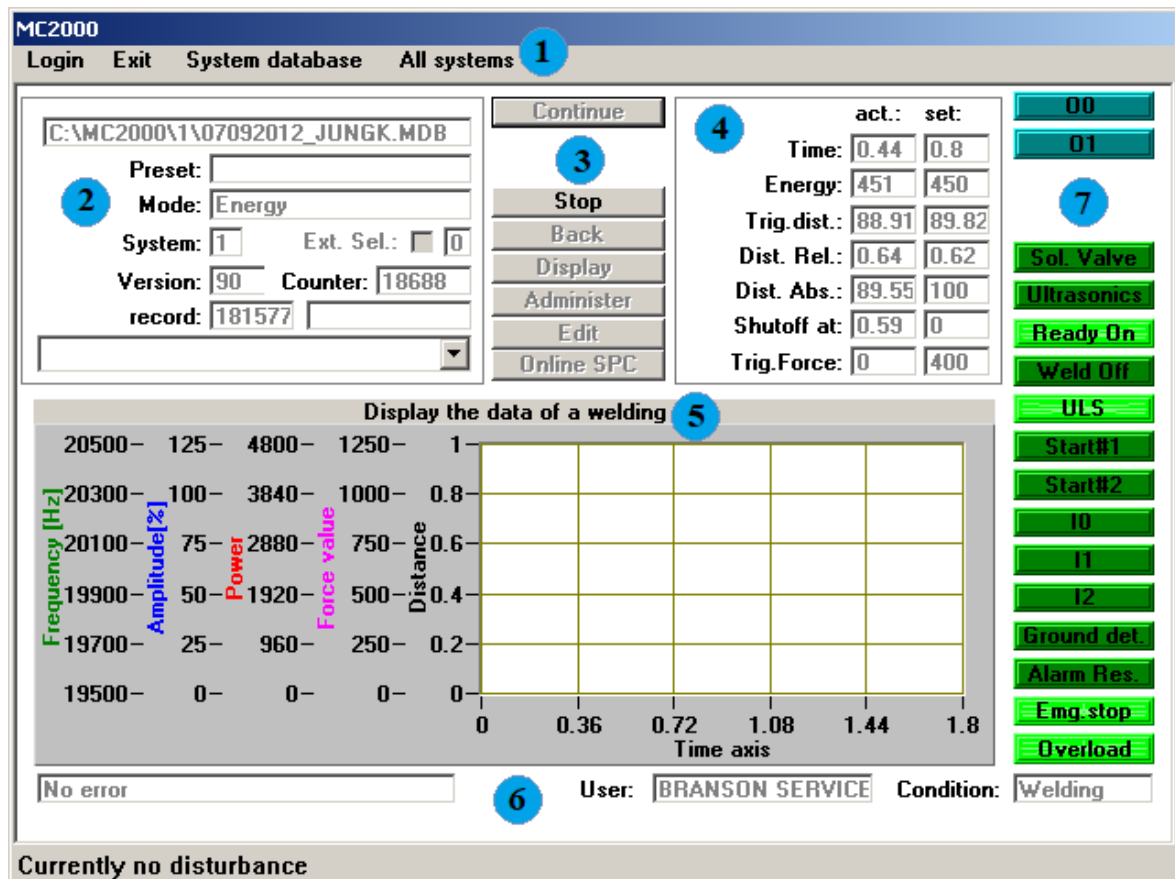
Obr. 12: Schéma lisu se sonotrodou BRANSON [1]

Automatický režim: v tomto druhu provozu se uskutečňuje cyklickým procesem řízený postup, může být spuštěn jen ze základního postavení stroje.

Manuální režim: v tomto provozu jsou k dispozici všechna nastavení parametrů včetně pohybů podstatná pro seřízení a údržbu.

3.3 Ovládací software

Ovládání probíhá pomocí instalovaného softwaru v PC, který je součástí vybavení. V softwaru MC2000 je možné nastavit jeden z pěti režimů s jednou pracovní frekvencí – dle zvoleného (zakoupeného) typu. Standartní přednastavení zahrnuje „vysokou kontrolu“, která dohlíží na spuštění ultrazvuku až po aktivačním signálu (spuštění dvou tlačítek v jeden okamžik – pro automatický chod nahrazeno dvěma relé v rozvaděči). [1]



Obr. 13: Pracovní obrazovka SW MC2000 [1]

Popis obrazovky (Obr. 12):

Obrazovka je vizuálně rozdělena do několika oblastí: 1 – start menu, 2 – informace pro dohledání záznamu o právě svařovaném kusu, 3 – ovládání automatického režimu (start a stop), 4 – porovnání dat (nikoliv editace!) aktuálně svařeného kusu oproti nastaveným parametrům, 5 – zobrazení aktuálních dat v grafu (nejdůležitější oblast pro praktickou část), 6 – oblast hlášek systému, 7 – funkce kontrolky v průběhu svařování

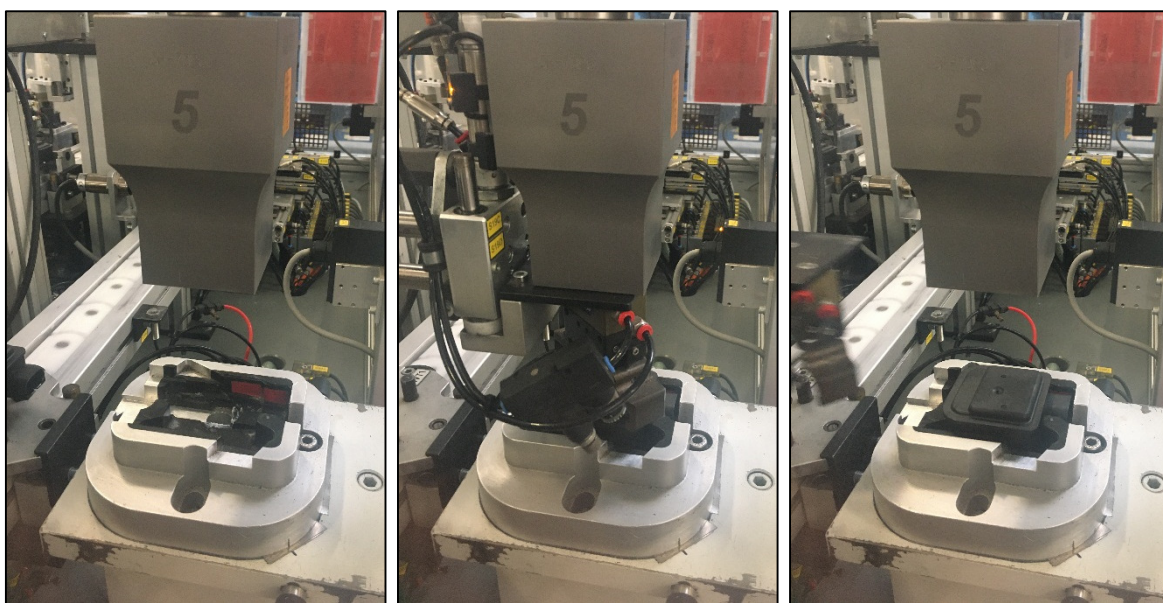
3.4 Princip činnosti

Celá linka je kryta polyuretanovými skly s posuvnými dveřmi a v automatickém chodu zamčena elektromagnetickými zámky, které se uvolní kombinací tlačítka a otočení klíčem.



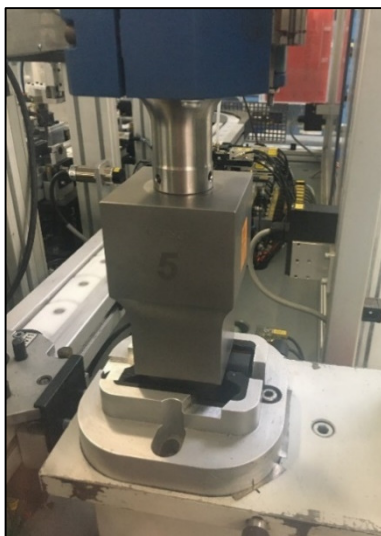
Obr. 14: Elektromagnetický zámek [1]

Vyrobený kus se vloží do vozíku na dopravníkovém pásu a vjíždí do linky. Úchopné rameno kus zdvihne z vozíku a usadí do hnízda pod sonotrodou. Poté rameno odjede do výchozí polohy, čímž dojde k sepnutí aktivačního signálu. Postupně vyobrazeno na Obr. 15.



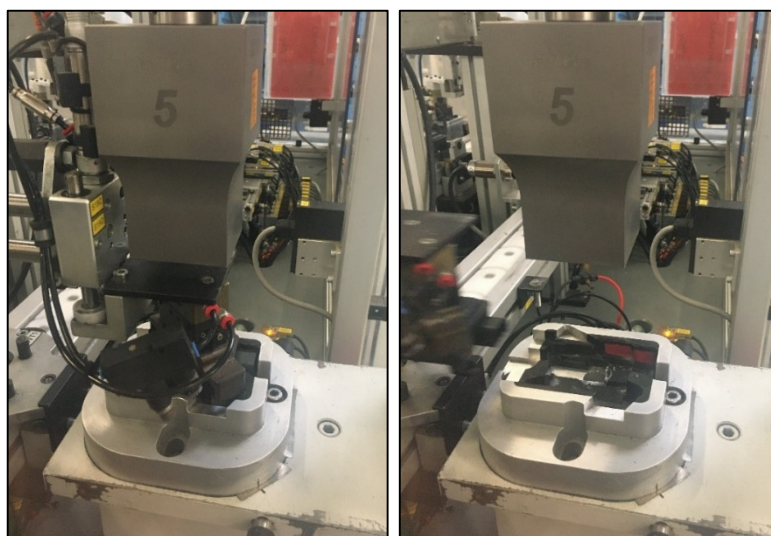
Obr. 15: Postup vložení kusu do hnízda [1]

Začíná samotný proces svařování. Automatický režim svářečky spouští sonotrodu až na povrch víčka (Obr. 16). Generátor vysílá vlnění o frekvenci 20 kHz, které je převedeno na mechanické vlnění. Tím se absorbní materiál (spodní díl) zahřeje, roztaví se plast (energy director) a spojí s transparentním materiálem (víčko). Sonotroda postupuje směrem dolů, dokud nedosáhne požadované hodnoty energie, času nebo dráhy. Hodnota se předepisuje v nastavení režimu svařování.



Obr. 16: Svařování kusu [1]

Po uplynutí přídržného času, který slouží pro ztvrdnutí materiálu, vyjede sonotroda do výchozí polohy. Úchopné rameno vyjme hotový díl a vrátí do jeho vozíku (Obr. 17).



Obr. 17: Postup vyjmutí kusu z hnízda [1]

Maximální takt stroje dosahuje 200 svaření za minutu. Závisí na aplikaci zařízení. [1]

3.5 Svařovací režimy

Na zabudovaném monitoru se v softwaru vybere režim svařování. Zahájení svařování spustí tlačítko (Trigger), v automatickém provozu relé v rozvaděči a ukončí se po dosažení primárního parametru (čas, energie, dráha,...).

V každém režimu je možné ještě nastavovat kromě hlavního parametru i další proměnné hodnoty (podrobněji v kapitole 3.6).

Pro případ, že by se z jakéhokoliv důvodu nepodařilo dosáhnout hodnoty hlavního parametru, software je zajištěn erárním parametrem „Timeout“. Udává hraniční čas, po jakou dobu může maximálně probíhat svařování. [1]

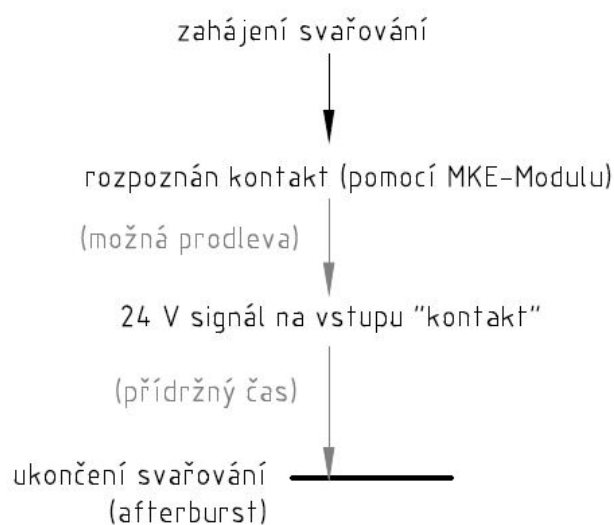
3.5.1 Režim detekce povrchu (Ground Detect)

Ultrazvuk působí, dokud se sonotroda nedotkne izolovaného vodivého povrchu v dílech pomocí modulu, který je propojen s generátorem.

Mezi vhodné aplikace tohoto programu patří nýtování, kdy například plastový nýt drží kovový díl.

Výsledky svařování jsou nepřesné.

Všechny ostatní parametry se také mohou měnit (čas, vzdálenost, výkon,...).



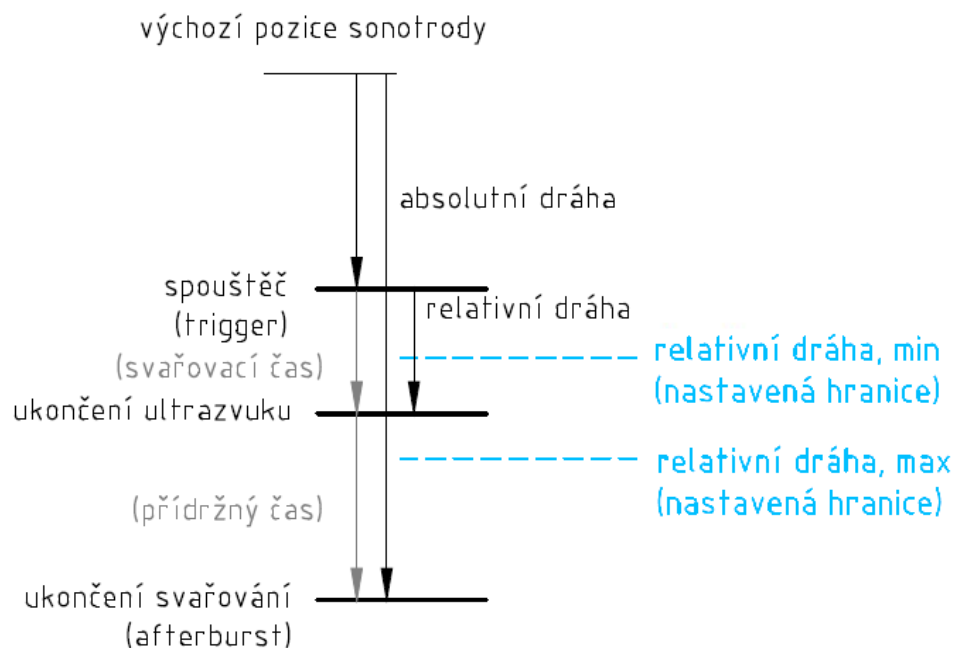
Obr. 18: Režim detekce (Ground Detect) [1]

3.5.2 Režim relativní dráhy (Collapse)

V druhém typu nastavení je hlavním parametrem svařovací dráha, což znamená, že UZ energie je aplikovaná tak dlouho, dokud hloubka svaru nedosáhne požadované hodnoty od kontaktu sonotrody s dílem. Svařování se ukončí po dosažení stanovené dráhy.

U Collapse režimu se obvykle dosahuje stejných výsledků svařování (pevnost a kvalita), výška může být rozdílná.

Všechny ostatní parametry se také mohou měnit (čas, energie, absolutní vzdálenost, ...).



Obr. 19: Režim relativní dráhy (Collapse) [1]

3.5.3 Režim energie (Energy)

U dalšího typu je hlavní parametr energie dosažená během svařování.

Energie se počítá jako výkon za čas. Graficky je znázorněna plochou, přičemž osa X značí čas a Y pak výkon. V závislosti změny výkonu v průběhu svařování může být hodnota energie vyčerpána předčasně.

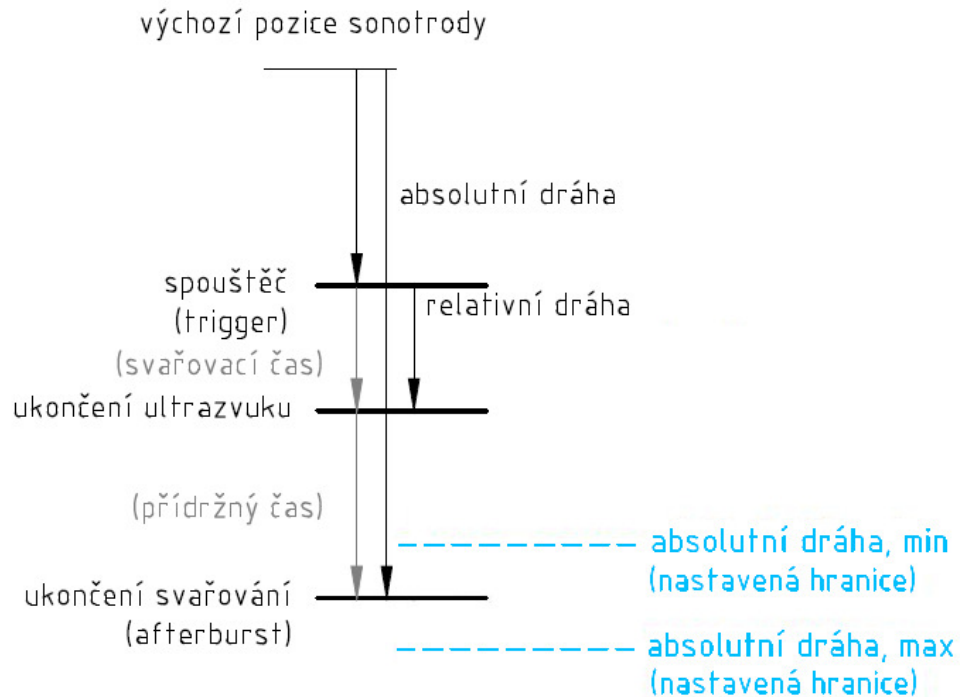
Výsledky svařování jsou z hlediska pevnosti shodné, může dojít ke změně přítláčné síly.

Všechny ostatní parametry se také mohou měnit (čas, vzdálenost, výkon,...).

3.5.4 Režim absolutní dráhy (Absolute)

Hlavním parametrem už podle názvu programu je absolutní dráha. Dráha se měří od základní polohy až po stanovenou dráhu.

Výsledky svařování z pohledu rozměrů jsou shodné, odlišná může být pevnost a kvalita.



Obr. 20: Režim absolutní dráhy (Absolute) [1]

3.5.5 Režim času (Time)

V režimu času je hlavním parametrem fixně nastavený čas a ultrazvuková energie je aplikována po celou dobu fixního času.

Kvalita a celistvost sváru je ovlivněna celkovou nekvalitou plastového materiálu.

3.5.6 Režim výkonu (Peak Power)

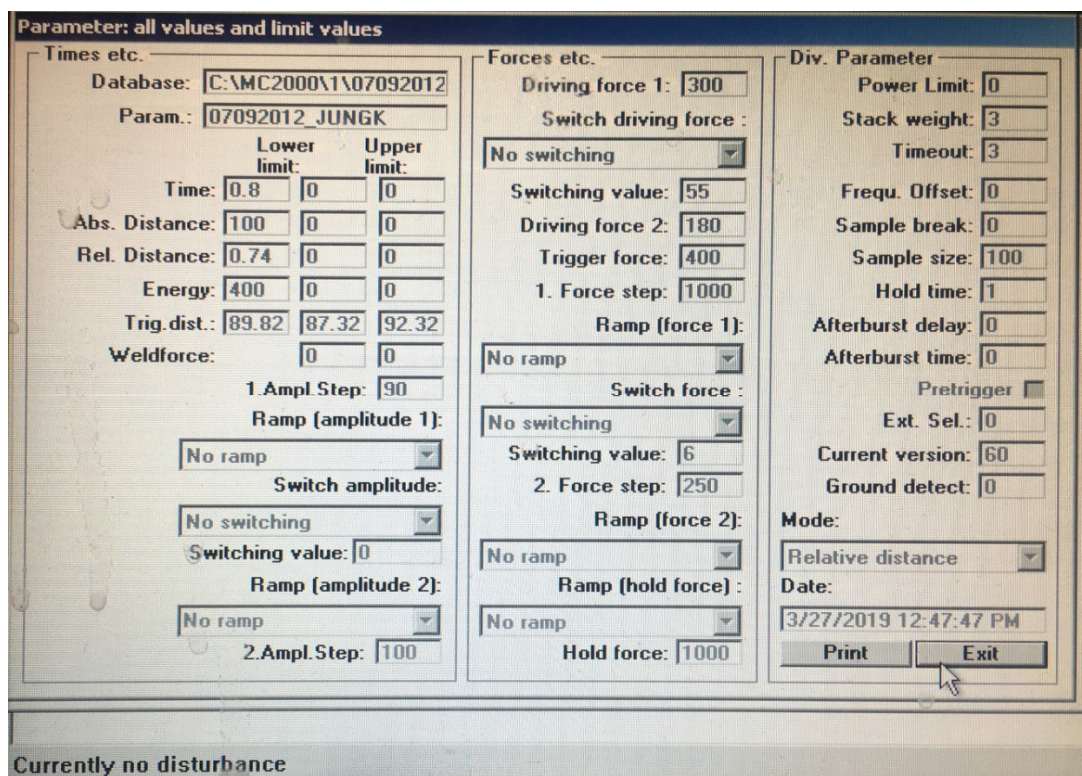
Hlavním parametrem je potřebný výkon. Ultrazvuková energie se ukončí po dosažení nastavené hodnoty.

Dle proměnlivosti parametru výkonu generátoru po dobu svařování, může tak být použit k ukončení svaření v předem nastaveném bodě.

Výsledky svařování z pohledu pevnosti a vzhledu jsou shodné, může dojít ke změně výsledného rozměru. Režim se používá nejčastěji při nýtování.

3.6 Parametry svařování

Primární výběr metody svařování závisí na druhu materiálu. Geometrie budoucího svařence se určuje podle využití budoucího výrobku. Oba tyto parametry po zavedení do série jsou velmi nákladné a obtížné změnit. Ačkoliv většina problémů pochází právě ze vstřikování, z pravidla se přechází k optimalizaci procesu svařování, protože je nejefektivnější a vysoce flexibilní. Prvotní nastavení svařovacích parametrů většinou probíhá na základě předpokladů a teoretických zdrojových dat. Nastavení je předběžné a vyžaduje optimalizaci. Jednotlivé parametry a jejich funkce jsou popsány dále. Změny v SW MC2000 probíhají pod položkou Edit, viz Obr. 12 a obrazovka s parametry je znázorněna na Obr. 21. [1]



Obr. 21: Nastavení parametrů v SW MC2000 [1]

3.6.1 Přítlačná síla

Při spuštění cyklu je hodnota přítlačné síly rovna nule. V momentě, kdy se sonotroda dotkne dílu, přítlačná síla se aktivuje a začne narůstat na požadovanou hodnotu dle nastavení. Velikost síly je závislá na amplitudě kmitu [%]. Neměla by narušovat přenos energie. Obecně pro nastavení platí pravidlo:

Vysoká amplituda – nízká přítlačná síla.

Nízká amplituda – vyšší přítlačná síla.

3.6.2 Přídržný čas (hold time)

Určuje dobu aplikace ultrazvukové energie do svařovaných dílů, materiál je roztavený. Přídržný čas se aplikuje spolu s přítlačnou silou a oba parametry zůstávají aktivní po dobu pevně danou, během které materiál ztuhne a vznikne tím pevný spoj.

Přídržný čas by se měl stanovit v předběžném testování.

3.6.3 Spuštění (trigger)

Trigger je moment, kdy přítlačná síla dosáhne definované hodnoty. Trigger se používá pro reset parametrů a to i v případě použití pretriggeru.

3.6.4 Pretrigger

Pretrigger se používá v případě, kdy aplikace využití požaduje sestup sonotrody s již aktivním ultrazvukem během sestupu. Aplikace se používá u dlouhých, tenkých dílů, nýtování či řezání.

3.6.5 Oddělení (Afterburst)

Po ukončení aplikace svařování se začne sonotroda zvedat. Nastavení parametru Afterburst se využívá tak, že se ultrazvuk vypne až po signálu spínacího ventilu pro pohyb sonotrody. Používá se, když mají plastové díly tendenci lepit se k sonotrodě, aby nedošlo k jejich nechtěnému zdvihu. V reálném světě se přítlačná síla na díly nedokáže změnit okamžitě, proto se využívá možnosti prodlevy.

3.6.6 Amplituda kmitů

Výsledná amplituda závisí na vstupní amplitudě konvertoru (20 kHz), na převodovém poměru zesilovače (boosteru) a převodovém poměru sonotrody. Vypočítá se jako součin těchto tří hodnot.

Amplituda kmitání závisí na typu materiálu a typu aplikace, pro kterou má být využita. Amplituda výrazně ovlivňuje požadovaný výsledek u konkrétní aplikace. Pro svařovaný materiál PBT GF30 byl navržen ve fázi předběžného testování nejvhodnější amplitudový transformátor. Pro svařování technických plastů se hodnota amplitudy pohybuje v 90 – 100 %

Rostoucí amplituda způsobuje lineární růst pevnosti svarů.

3.6.7 Frekvence kmitů

Růst frekvence má nežádoucí vliv na amplitudu. Při vyšších frekvencích se zvětšují ztráty energie v přenosových člancích a dochází tak k zahřívání sonotrody.

3.6.8 Svařovací čas

Zároveň s dalšími parametry určuje pevnost svaru. Doporučuje se používat co nejkratší, řádově v 10^{-1} s, aby nedošlo k přehřátí materiálu a zmenšení pevnosti.

4 TERMOPLASTY

Termoplasty patří mezi látky s teplotou tání obvykle nad 200 °C, kdy dochází k jejich zpracování. Během zpracování se makromolekulární struktura nemění, proto mohou být ohřívány a pomocí změkčovadel znovu tvářeny. Závisí jen na schopnosti materiálu (konkrétního termoplastu) být změkčen. Fyzikální a mechanické vlastnosti závisí na výsledné makromolekulární struktuře. Dle makromolekulární struktury se termoplasty dělí na dva základní typy – amorfní a semikrystalické. [3]

4.1 Vyztužování termoplastů

Termoplasty patří mezi materiály, které se dají vyztužit. Nejdůležitějším hodnotícím kritériem je cena. Vyztužení je účelné pouze v případě, pokud dojde k výraznému zlepšení vlastností oproti nevyztuženému termoplastu. [3]

4.1.1 Vyztužení krátkými vlákny

Vlákna o délce přibližně 0,2 mm. Slouží především pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování. U běžných plastů jako jsou PA, PVC nebo PE se obvykle vyztužování nepoužívá kvůli vysokým finančním nákladům na výrobu. Používá se převážně u dražších materiálů, jako jsou PA 66, PBT.

4.1.2 Vyztužení dlouhými vlákny

Vlákna v maximální délce do 25 mm, většinou se dávkuje z plastikačního extruderu přímo do lisovací formy. Dlouhá vlákna mají funkci zlepšení houževnatosti a zvýšení odolnosti proti poškození. Zpracování probíhá s nižším množstvím chemických reakcí, což se podílí na nižší ceně surovin. S touto metodou přišly nové komplikace, a to špatná kvalita povrchu, nízká tvrdost, špatná přilnavost nátěrů a nízká odolnost proti povrchově aktivním látkám způsobujícími korozi na vláknech.

4.1.3 Nekonečně dlouhá vlákna

U termoplastů vyztužených skleněnou rohoží (GMT), tkaninou nebo jednosměrnými pásy se vlákna používají na polotovary pro další zpracování. Obsah vláken je až 80 %, což významně ovlivní cenu. Kompenzuje ji finančně náročný technologický postup výroby polotovaru.

4.1.4 Vyztužení textilními skelnými vlákny

Vlákna se s matricí pojí na základě kovalentních vazeb. Tyto vazby nejsou dostatečně silné, proto je nutné vlákna nejprve povrchově upravit (nejčastěji pomocí organických sloučenin na bázi silanu). Následně dochází k vyšší adhezi mezi matricí a vláknem.

4.2 Termoplasty z pohledu ultrazvukového svařování

Pro všechny materiály platí stejná primární podmínka – materiály ke svaření musí být chemicky kompatibilní. Některé termoplasty vyžadují speciální podmínky, např. předehřev nebo stejnou molekulární strukturu, viz další odstavce. Obecně platí, že stejný materiál je vzájemně svařitelný. Nutné je ale zachovat stejného dodavatele, stejnou výrobní dávku a v případě více možností zachovat i stejnou kavitu. Tímto se předchází mnoha nestandardním chybám v procesu svařování ve výrobě. Kompatibilita termoplastických materiálů vhodných ke svařování je přehledně vypracována v následujícím Obr. 22. [2], [11]

	ABS (Cycolac)	ABS/Polycarbonate (Cycoloy)	Acetal (Delrin, Celcon)	Acrylic (Plexiglass, Perspex)	Acrylic Multipolymer (XT)	Liquid Crystal Polymers (Xydar)	Nylon (Zytel)	Phenylene Oxide (Noryl)	Polycarbonate (Lexan)	Polycarbonate/Polyester (Xenoy)	Polyester PBT (Celanex, Valox)	Polyester PET (Rynite)	Polyetherether Ketone (PEEK)	Polyetherimide (Ultem)	Polyethylene P/E	Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)	Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)	Polypropylene P/P	Polystyrene	Polysulfone (Udel)	Polyvinylchloride (Rigid PVC)	SAN/NAS	Styrene Block Copolymers (K-Resin)	
ABS (Cycolac)	■																							●
ABS/Polycarbonate (Cycoloy)		■							●												●			
Acetal (Delrin, Celcon)			■																					
Acrylic (Plexiglass, Perspex)				■						●														●
Acrylic Multipolymer (XT)					■																			●
Liquid Crystal Polymers (Xydar)						■																		
Nylon (Zytel)							■																	
Phenylene Oxide (Noryl)								■																●
Polycarbonate (Lexan)									■															
Polycarbonate/Polyester (Xenoy)										■														
Polyester PBT (Celanex, Valox)											■													
Polyester PET (Rynite)												■												
Polyetherether Ketone (PEEK)													■											
Polyetherimide (Ultem)														■										
Polyethylene P/E															■									
Polyphenylene Ether/Oxide (Prevex)																■								
Polyphenylene Sulfide PPS (Ryton)																	■							
Polypropylene P/P																		■						
Polystyrene																			■					●
Polysulfone (Udel)																				■				●
Polyvinylchloride (Rigid PVC)																					■			
SAN/NAS																						■		
Styrene Block Copolymers (K-Resin)																						■		

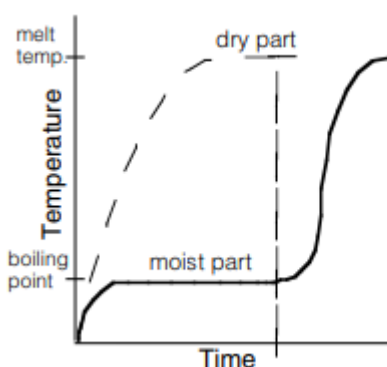
■ Good compatibility ● Compatible at times based on material composition

Obr. 22: Ultrazvuková svařovací kompatibilita polymerů [12]

Co ovlivňuje svařitelnost kromě materiálu: [11], [12]

4.2.1 Navlhavost

Navlhavost (hygroskopicit) je schopnost látek přijímat vlhkost z okolního prostředí. Závisí na chemickém složení, relativní vlhkosti, okolní teplotě a tloušťce daného materiálu. Nejedná se tedy o konstantní proměnnou, čímž velice komplikuje procesy od výroby po svařování. Hygroskopické materiály se doporučuje svařovat co nejdříve po vytlačování. Pokud to není možné, doporučuje se materiál před svařováním vysušit (např. pomocí předehřevu). V jiném případě dojde pravděpodobně k nežádoucímu prodloužení potřebného času na svaření dvou dílů.



Obr. 23: Vliv navlhavosti na svařovací čas [12]

4.2.2 Smrštění

Smrštění (shrinkage) polymerů probíhá bezprostředně po vstříknutí materiálu, jakmile se začne ochlazovat. Plniva v termoplastech obvykle snižují účinky smrštění ve směru orientovaných vláken. Vláknina nereagují na změnu teploty v takové míře, proto zůstávají stabilní. V závislosti na tloušťce stěny a rychlosti ochlazování se může stěna „prohnout“, což může ovlivnit následné svařovací parametry.

4.2.3 Činidla

Chemická činidla (mold release agents), která se vstříkují přímo do formy a usnadňují vyjmutí či vyhození z formy, mohou negativně ovlivnit svařování. Činidla snižují povrchové tření na celém povrchu dílu včetně svařované hrany, na němž je závislé ultrazvukové svařování. Po jejich použití je potřeba díly vyprat v chemickém rozpouštědle.

4.2.4 Lubrikanty

Lubrikanty (lubricants) se používají pro lepší zpracovatelnost materiálů. Lubrikační složky obsažené přímo v termoplastech nelze odstranit. Opět mohou snižovat povrchové tření, a tak zhoršit svařitelnost.

4.2.5 Změkčovadla

Změkčovadla (plasticizers) zvyšují flexibilitu a pružnost směsi před zpracováním. Po svaření mohou mít vliv na měkký spoj nebo svár. Použití a volba změkčovadel závisí převážně na zkušenostech.

4.2.6 Plniva

Plniva (fillers), jako jsou skleněná či uhlíková vlákna, se používají pro zlepšení fyzikálních vlastností. Například skleněné plnivo se přidává pro zvýšení rozměrové stability a pevnosti materiálů. Skleněná vlákna mohou pozitivně ovlivnit svařitelnost termoplastů, neboť zlepšují schopnost přenášet vibrace, zejména u semikrystalických materiálů. Poměr vhodných hmotnostních procent plniva je závislý na materiálu a homogenizaci směsi a neroste přímo úměrně. Pokud obsah skla přesahuje 10 % - 20 %, mohou nastat jiné problémy. Například, pokud hotový díl může obsahovat až 30 % plniv, skutečný obsah ve svařované hraně (joint face) může být mnohem vyšší. Nahromadění plniva způsobuje nedostatek termoplastu ve spojovací hraně a následuje abraze. Jakmile je obsah vyšší než 40 %, svaření probíhá velmi těžko nebo dokonce vůbec. V takovém případě může pomoci už jen vysoce výkonný ultrazvuk, aby se natavilo více materiálu. Tento postup může vyvolat nežádoucí přetoky.

4.2.7 Retardéry hoření

Retardéry hoření (flame retardants) jako antimon, bór, halogeny, dusík a fosfor se přidávají pro zvýšení odolnosti proti vznícení. Svařitelnost ovlivňují snížením pevnosti. Svar dvou dílů nedosahuje požadovanou pevnost. Díly nesmí být obvykle „převařeny“ pro získání požadované pevnosti.

4.2.8 Recykláty

Ultrazvukové svařování je jeden z mála procesů, který umožňuje používat recyklovaný materiál znovu (regrind). Recyklovaný materiál ovšem nesmí být kontaminován a jeho poměr v čistém termoplastu nesmí být příliš velký. Pro dosažení nejlepších výsledků je vhodné udržet použitý materiál na co nejnižším procentu v poměru s čistým termoplastem.

4.2.9 Barviva a pigmenty

Barviva a pigmenty (colors) v malém množství příliš neovlivňují svařování. Bílá nebo černá barva produktu obvykle vyžaduje více pigmentů než jiné barvy. Výsledná barva může být po svaření odlišná, a tak se doporučuje před nastavením plné výroby s parametry experimentovat.

4.3 Materiál PBT s 30 % skelných vláken

Termoplast se semikrystalickou molekulární strukturou s názvem polybutylentereftalát s výplní 30 % skelných vláken, označován pracovní značkou PBT GF30, se nejčastěji vyskytuje v granulátové podobě a zpracovává se metodou vstřikování. Vstřikované funkční díly mohou vážit až 16000 g. Cíleným průmyslem je strojírenství, přesněji automobilový průmysl. Materiálový list v příloze P II obsahuje detailnější informace o chemickém složení.

Oproti stejnému materiálu bez vyztužení se vyznačuje několika optimalizovanými vlastnostmi. PBT GF30 dosahuje velké tuhosti, vysoké mechanické pevnosti, vyčnívá odolností proti tečení. Výrobky mají mnohem vyšší rozměrovou stabilitu - způsobeno vlákny, které do jisté míry omezují smršťování. Na povrchu ale mohou vlákna působit nepříjemnosti. Kvůli jejich abrazivním účinkům na přiléhajících plochách je materiál se skelným plnivem méně vhodný pro aplikace s kluzným třením, jako je např. ultrazvukové svařování. [16]

4.3.1 Mechanické a fyzikální vlastnosti PBT GF30

- Velmi vysoká pevnost, mez pevnosti v tahu 125 Pa, v ohybu až 180 Pa
- Vysoká rozměrová stabilita
- Dobrá chemická odolnost
- Velmi vysoká tuhost
- Dobrá svařitelnost a pojivost
- Neodolný proti horké vodě nad 60 °C
- Teplota tání 225-230 °C
- Hustota 1,53 g.cm⁻³
- Nízká navlhavost

4.3.2 Ultrazvukové svařování PBT GF30

Problematika svařování termoplastů je blíže popsána v předchozí kapitole 4.2. Největší rizika spočívají v orientaci vláken vůči směru svařování, množství skleněných vláken v hraně a schopnost smáčení skleněných vláken pryskyřicí v oblasti svaru.

Kompatibilita dvou dílů z daného (stejného) materiálu je dobrá.

Po vstřikování a následném vysušení obsahuje výrobek přibližně 0,03 hm. % vody. Materiál se neřadí mezi nasákavé, a tak není vyžadován předehřev před svařením.

Hloubka svaru se doporučuje v rozsahu 60 – 125 μm při frekvenci 20 kHz.

5 AUTOMOTIV A PLASTY

Mezi nejžádanější materiály, především z hlediska ceny, se řadí plasty do top 10 i v automotivu. Různé materiály se používají pro výrobu různých komponent s rozdílnou aplikací. Viditelné komponenty se vyrábí nejčastěji z polyuretanu, jako jsou například pochromované kliky, madla, opěradla, hlavice řadicí páky, dále z PUR pěny výplň sedaček a z expandovaného polypropylenu (EPP) nehořlavé díly. Rostoucí trend využití plastů lze pozorovat také u sportovních vozidel. Vysoce pevnostní vláknové kompozity v kombinaci s tlakově litými slitinami hliníku tvoří novou generaci karoserií. Kompozity pomáhají výrazně snížit hmotnost. Pořád musí být dodrženy podmínky hromadné výroby a bezpečnosti. Výhledově kombinování materiálů odpovídá jak hospodárným tak i energetickým aspektům. [14]

5.1 IMI International s.r.o.

Společnost IMI International s.r.o. se dělí na několik divizí. IMI Precision Engineering, ve které se realizuje praktická část předkládané diplomové práce, se zabývá přednostně výrobou ventilů a válců pro rozvod a řízení vzduchu nebo kapalin. Založení firmy se datuje k roku 1927, kdy pod rukama pana Carla Norgrena vznikaly první návrhy na míru pro vyřešení problému zákazníka v oblasti údržby a mazání. Za téměř 100 let fungování se firma rozšířila do 75 zemí po celém světě.



Obr. 24: IMI Precision Engineering motto [1]

V současnosti nacházejí ventily uplatnění v komerčních vozidlech v podvozku i pohonu, v energetice slouží například k řízení pracovních tlaků v ropných věžích, ovládají dveřní systémy železniční dopravy s požadavkem na počet cyklů v řádech statisíců a v neposlední řadě se používají v tancích s precizně nastaveným spínacím časem a vysokou odolností proti povětrnostním podmínkám. Protikladem jsou produkty s vysokými bezpečnostními a hygienickými požadavky, které míří do zdravotnictví a potravinářského průmyslu – vyfukování PET lahví nebo stroje na zmrzlinu v McDonald's. Vzhledem k širokému poli výskytu se většina ventilů vyrábí ručně jak v industriálním (užitkovém), tak i v automobilovém sektoru.

Většina těl těchto ventilů (základních montážních jednotek) je vyráběna z kovů ve slévárnách technologií odlévání, následující dokončovací operace. Těla se vyrábí u externích dodavatelů. Používají se magnetické i nemagnetické kovy. Přepínání ventilu zajišťuje tlačný vzduch nebo cívka (solenoid). Cívky / jednotky s kontakty se zalévají silikonem nebo termoplastem, aby byly ochráněny před poškozením, vlhkostí a otřesy. Vyráběné ventily se montují do převodovek, nouzových systémů (otevírání dveří, airbagy, brzdové systémy), rozvodových systémů v halách a potrubí.

Výjimku materiálu těla tvoří ventily používané pro HVAC technologii. Povrchy jsou celé plastové a ke spínání ventilu se používá vlastní pohon – šnekový motor a soukolí, nikoliv cívka nebo vzduch. Stručný popis technologie následuje hned v další podkapitole.

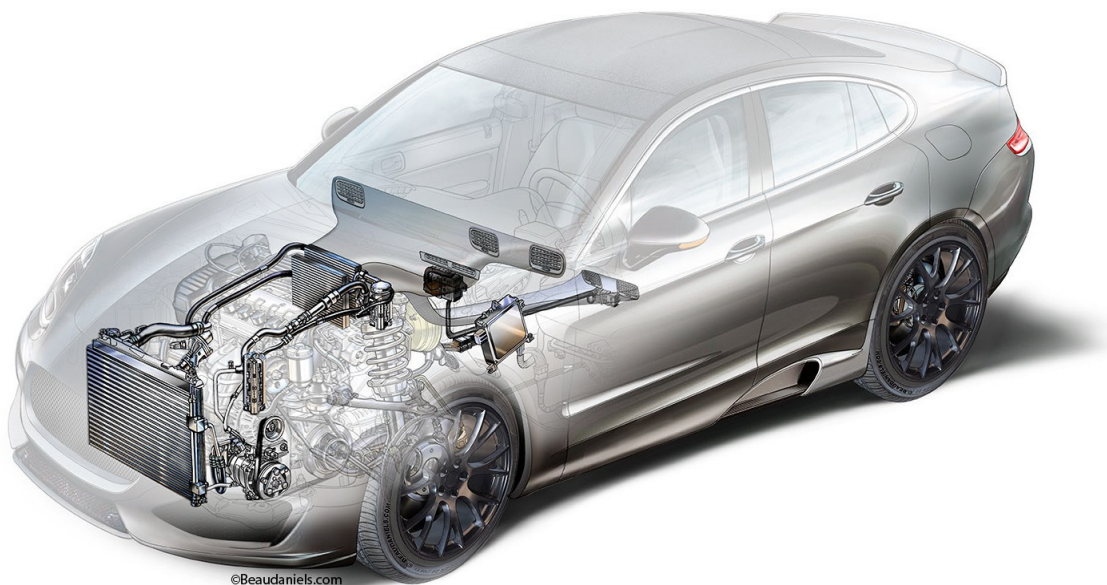
5.2 Technologie HVAC

Zkratka HVAC je akronymem anglického „Heating, Ventilaton and Air Conditioning“. Volně se překládá jako „Topení, větrání a klimatizace“. Technologie HVAC se tak řadí v rozsahu o něco výše než jen klimatizace a topení. Alma mater této technologie je stavebnictví, strojírenství ale nezůstává pozadu a pojalo ji po svém. Aplikaci představuje v podobě zajišťování cirkulace vzduchu v menších systémech (v porovnání s budovami), jako jsou například vozy. Tím, že vzduch cirkuluje, dochází zároveň k jeho čištění a snižování vlhkosti. [14]

5.3 Vzduchový systém

V automobilech je nositelem tepla vzduch a kapalina (kombinovaný systém). Jejich úprava probíhá mimo kabinu. Pro klimatizační účinky se využívá chladicí médium. V první fázi se pracuje s parami. Za vysokého tlaku a teploty se přes kondenzátor ochladí okolním vzduchem. V následující fázi dojde k protlačení kapaliny přes kapiláru, za níž je podstatně nižší tlak, tím pádem se sníží teplota. Kapalina postupuje do výparníku, kde se začne ohřívat až vypařovat a tím odebírá teplo z klimatizovaného prostoru. V plynném stavu se opět přivádí do kondenzátoru.

V případě vyhřívání (topení) se z kondenzátoru stává výparník a z výparníku kondenzátor. Z hlavní jednotky se stává tepelné čerpadlo. Obr. 25 zobrazuje zvýrazněnou soustavu mimo kabinu, v níž dochází k úpravě vzduchu. Do kabiny se žene upravený vzduch přes ventilátory.



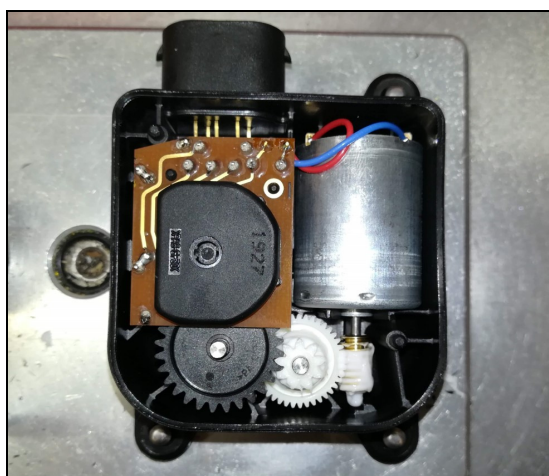
Obr. 25: HVAC systém v osobním voze [14]

Vznik a rozmach technologie ve strojírenském průmyslu vypukl kolem roku 2016 v největších automobilových závodech, např. BMW, Mercedes Benz nebo Volkswagen. Nový systém se montuje do autobusů, vlaků a i osobních vozů. S inovací se počítá až do roku 2022. Během svých 6 let v provozu by měl marketing technologie dosáhnout zisku ve výši 22,8 miliard dolarů (orientačně $570 \cdot 10^9$ Kč). [14]

Rozsah a podrobné dělení technologie HVAC by obsahem vystačily na další odbornou práci, a tak se v této diplomové práci nebudou více rozepisovat.

5.4 Výrobek řady HVAC - motor actuator

Diplomová práce se zabývá pouze jedním produktem řady HVAC, a tím je *motor actuator*. Montáž se provádí ručně z deseti komponent a měří orientačně 10x10 cm. Motor se skládá dle nastavené montážní dokumentace. Princip funkce zajišťuje tzv. E-modul se spouštěčem (triggerem), který po správném zakontaktování sepne elektrický motor (12 / 24 V). Šnekem se přenáší energie na soukolí. Z něj potom na hřídel, která přenáší krouticí moment vystupujícím koncem z dílu. Na vnitřní obvod hřídele se nasazuje těsnící kroužek pro zajištění těsnosti ze spodní části kusu. Poslední krok montáže je nasazení a nacvaknutí víčka.



Obr. 26: Montáž vzorku motor actuator [1]

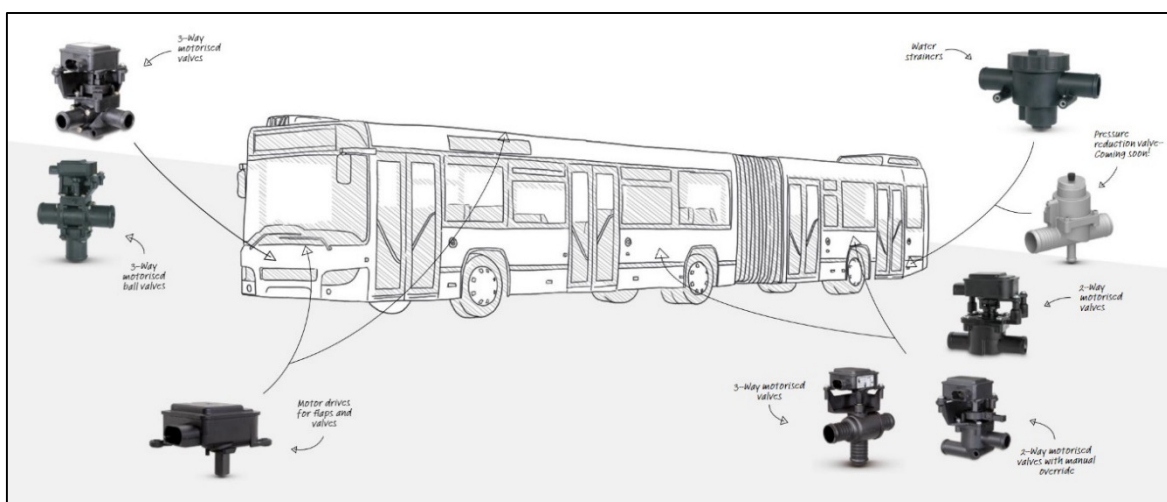
Následně kus putuje pomocí dopravníku do ultrazvukové svářečky, kde se svařením zajišťuje odolnost proti nežádoucímu vniknutí kapalin. Těsnost svaru je měřena pomocí zařízení ATEQ F620 hned na další stanici testovací linky, viz 6.1. Kvalita svaru se na výstupu kontroluje navíc vizuálně kvůli nežádoucím přetokům.



Obr. 27: Smontovaný vzorek motor actuator [1]

Kromě těsnosti se na testovací lince hodnotí voltampérová charakteristika, poměr napětí. Z funkčních parametrů se hodnotí napětí mezi jednotlivými kontakty, maximální úhel otočení hřídelky a doba otočení. Po vyhodnocení všech naměřených výsledků linka označí kus štítkem, a po kontrole putuje k zákazníkovi.

Vyrobené a otestované *motory actuatory* se dále používají pro montáž kulových a šoupátkových ventilů znázorněných na obrázku společně s umístěním (Obr. 28). Ventily slouží k rozvodu kapalin a plynů (vzduchu) primárně v nákladních vozidlech a vozidlech pro hromadnou dopravu. Pracovní tlaky ventilů jsou v rozsahu -0,5 – 4 bar. Průtokový objem dosahuje až 15 m³ za hodinu. Teplota kapaliny nebo vzduchu se může pohybovat v intervalu -30 °C až 110 °C.



Obr. 28: Umístění ventilů v hromadném dopravním prostředku [1]

6 POPIS ZKUŠEBNÍCH METOD

Měření těsnosti je nezbytné pro zajištění správnosti funkce v okolním prostředí. Odolnost proti rzi ve vlhkém prostředí zajišťuje plast PBT GF30. Odolnost proti korozi vnitřních komponent zajišťuje těsný svar.

6.1 Zkouška těsnosti suchým vzduchem

Měřicí zařízení ATEQ F620 slouží k vyhodnocení těsnosti na principu tlakového spádu. Zkoušený vzorek a referenční objem jsou zatíženy pracovním tlakem. Kontroluje se tlakový spád mezi dvěma „kapsami“ oddělenými membránou v průběhu času. Jednoduchost zajišťuje vysokou provozní spolehlivost a velký rozsah měření s přesností 0,1 Pa. Zařízení podporuje až 128 testovacích sekvencí, provoz je zajištěn napájením o napětí 24 V přímo na testovací lince. Programuje se manuálně na ovládacím panelu nebo pomocí softwaru WINATEQ 300 nainstalovaném v počítači. Naměřená data se ukládají pod jednotlivými programy. V rámci kritérií EU podléhá zařízení vyhlášce RoHS (omezování nebezpečných látek). Dle standardů pro výrobu v automotive průmyslu je zařízení každý rok podrobena kalibraci a pravidelně se ověřuje správnost funkce. Další informace jsou v příloze P III. [18]

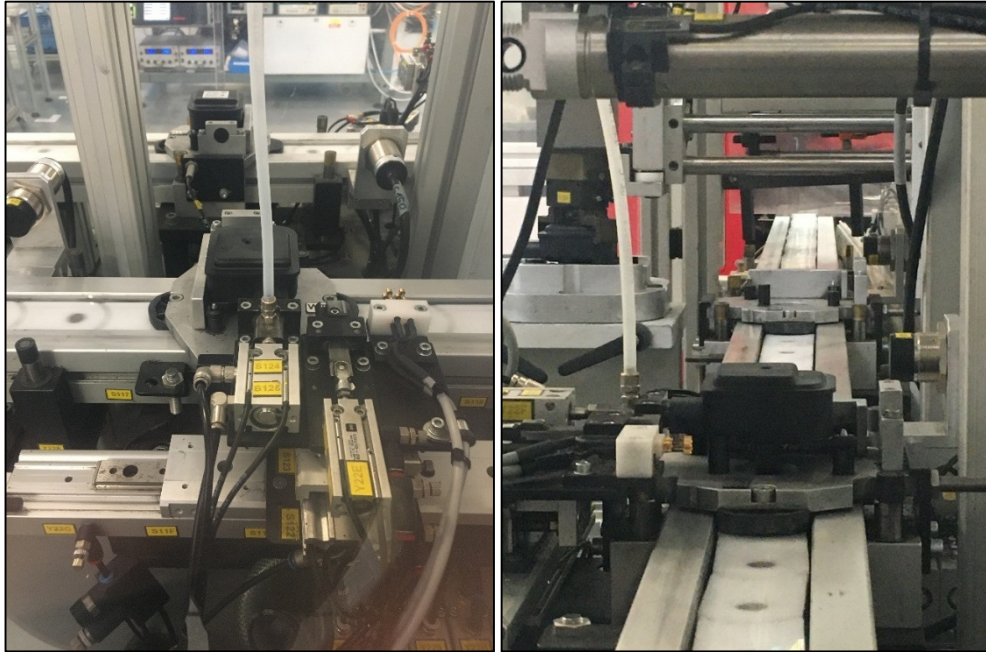


Obr. 29: Měřicí zařízení ATEQ F620 [18]

Stěžejní postup pro vypovídající výsledky měření těsnosti v průmyslu spočívá v dodržení následných kroků:

- *Plnění (fill time)*
- *Stabilizace (stabilisation time)*
- *Měření (test time)*
- *Uzavření obvodu (dump time)*

Zkouška těsnosti suchým vzduchem je součástí testovací linky. Stanice měření těsnosti se nachází v blízkosti svářečky. Na stejném stanovišti s měřením těsnosti dochází k vyhodnocení ještě dalších funkčních hodnot.



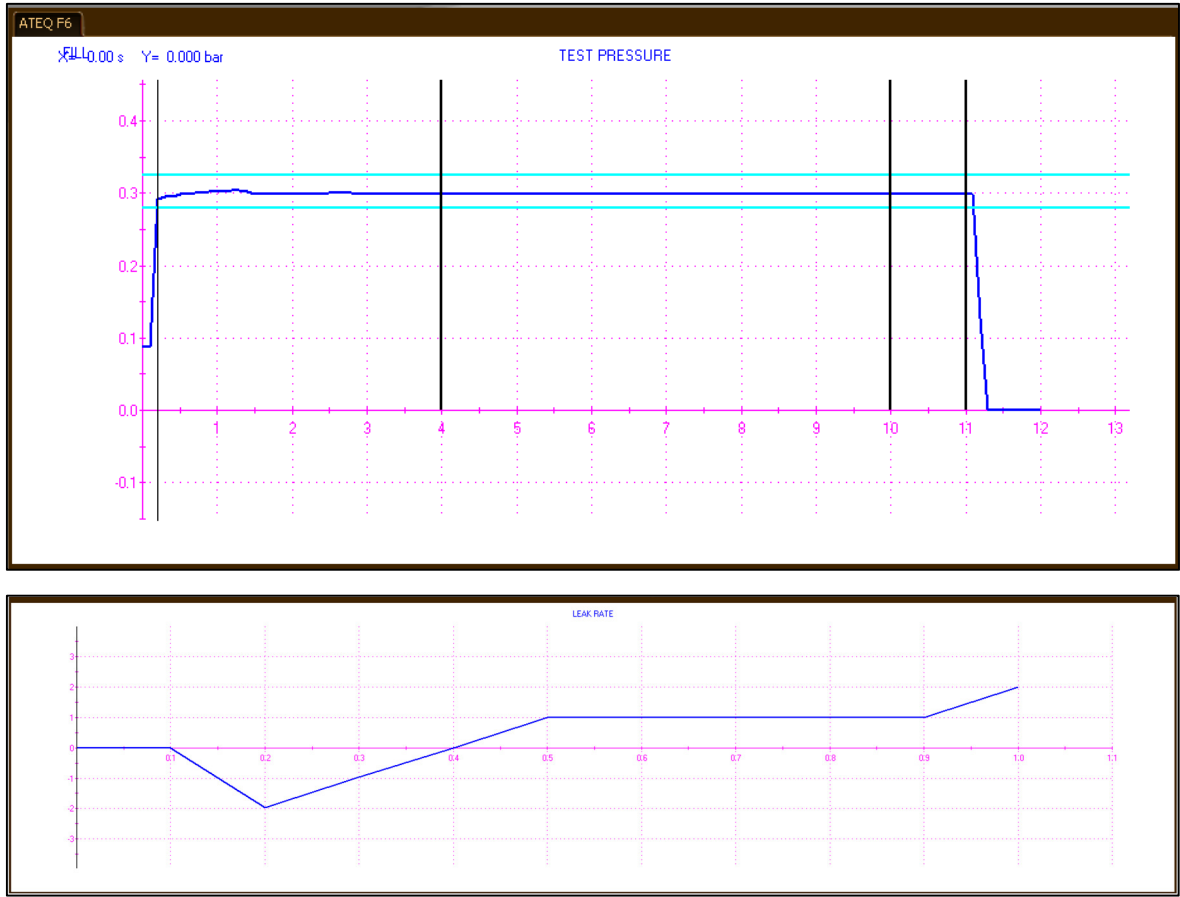
Obr. 30: Test těsnosti v testovací lince [1]

Všechny testované produkty – *motory actuatory* – podléhají jedné testovací specifikaci, a tak používáme pouze program č. 1.

ATEQ F6	
Pr:01 LEAK TEST	
PARAMETERS	FUNCTIONS More Functions... CONFIGURATION SERVICE RESULTS ATEQ
Title	Value
TYPE	LEAK TEST
COUPL. A	0.0 s
FILL TIME	4.0 s
STAB TIME	6.0 s
TEST TIME	1.0 s
DUMP TIME	1.0 s
Press. UNIT	bar
Max FILL	0.325 bar
Min FILL	0.280 bar
Set FILL	0.300 bar
LeakUnit	Pa/s
Test FAIL	100 Pa/s
Ref. FAIL	20 Pa/s

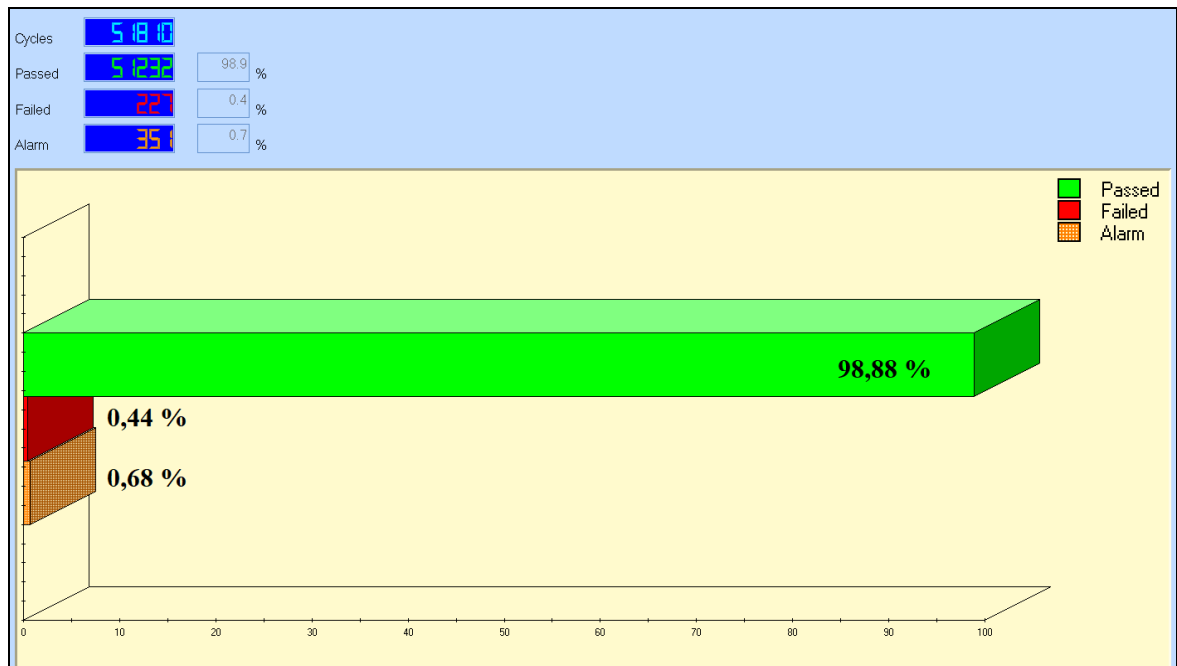
Obr. 31: Nastavení programu 1 pro měření úniku ATEQ [1]

Plnění suchým vzduchem po dobu 4 s zajistí natlakování uzavřené soustavy o objemu 0,213 l na požadovaných 0,3 bar. Po dobu následujících 6 s se tlak stabilizuje v celé soustavě včetně měřidla ATEQ F620. Samotné měření může trvat zlomek vteřiny – pouze zaznamenaná naměřené hodnoty, vzápětí dojde k uzavření soustavy. Aby byl kus vyhodnocen jako OK, musí být pokles tlaku nižší než 100 Pa/s.



Obr. 32: Průběh testování tlaku (nahore) a průběh měření úniku (dole) [1]

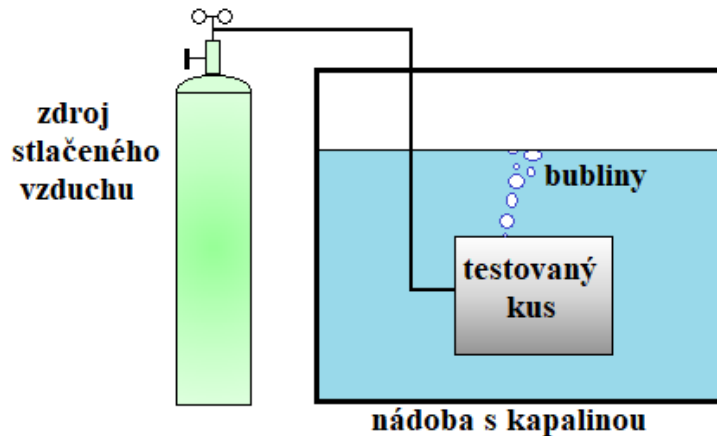
Měřidlo ATEQ F620 analyzuje naměřená data. Hodnoty jsou pouze orientační, protože počet cyklů zahrnuje i výrobky, které byly testovány vícekrát (např. při ověřování linky).



Obr. 33: Statistika výsledků měření ATEQ [1]

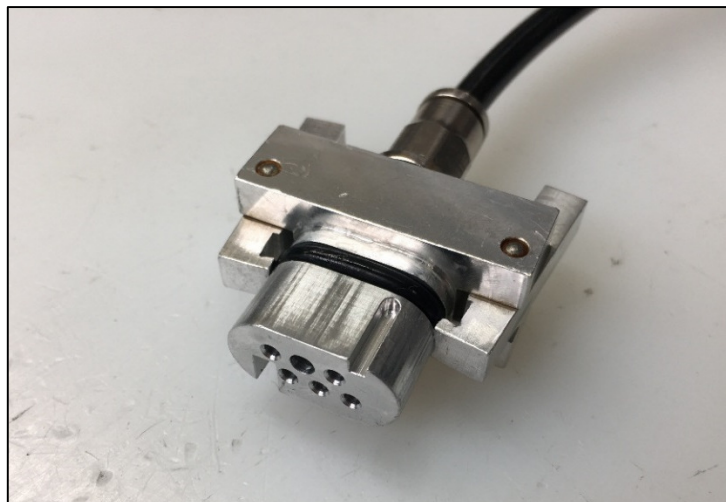
6.2 Zkouška těsnosti bublinkovým testem

Zkouška těsnosti bublinkovým testem slouží hlavně pro detekci malých netěsností a k určení přesného místa netěsnosti. Vzorek se naplní plynem o daném tlaku a ponoří se do vodní lázně. Proud bublin unikajícího vzduchu je úměrný úniku. Pro zjištění skutečné hodnoty úniku je potřeba znát povrchové napětí kapaliny, teplota a viskozita materiálu.



Obr. 34: Schéma bublinkového testu [1]

Pomocí této metody se u netěsných kusů na jiném pracovišti odhaluje, zda je kus netěsný ve svarové oblasti nebo jinde. Jedná se pouze o určení místa úniku a orientační hodnotu úniku. Tlak soustavy dosahuje 0,5 bar.



Obr. 35: Přípravek pro těsnost a pevnost [1]

Kus se pomocí přípravku napojí na vzduchový obvod. Po spuštění tlaku vzduchu lze téměř bez časové prodlevy detekovat místo úniku.

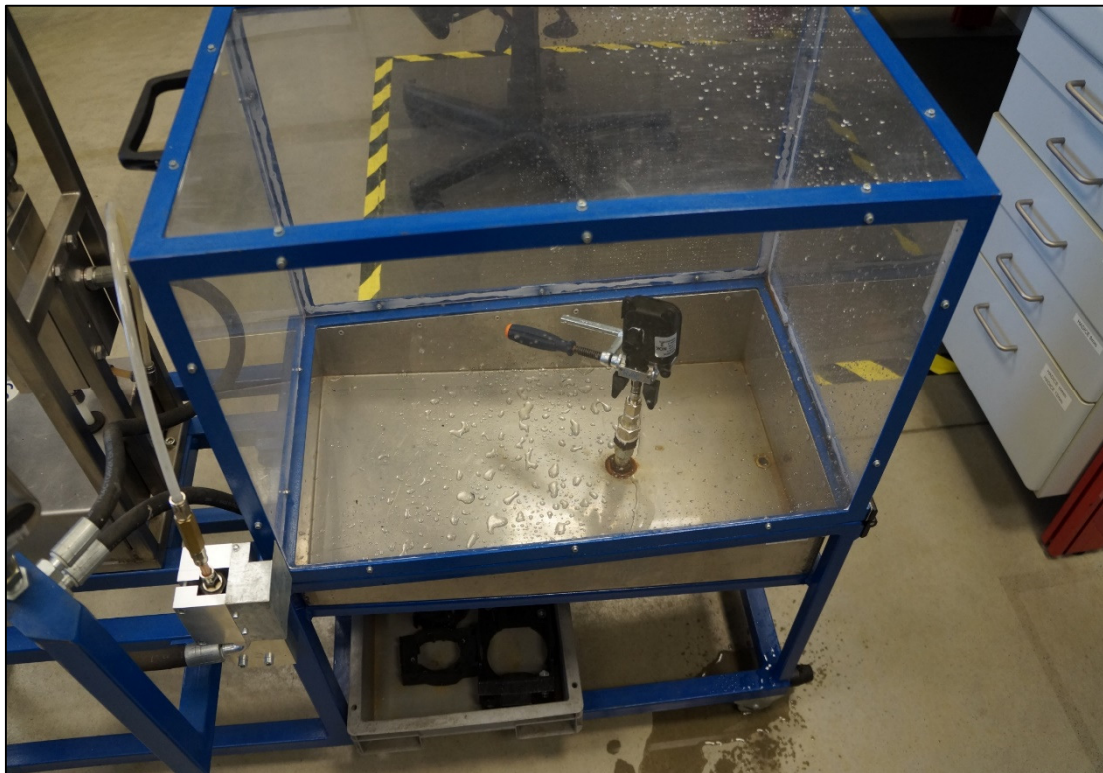
6.3 Zkouška pevnosti svaru destrukční zkouškou

Navržená testovací procedura „Burst test“ ověřuje jmenovitý pracovní tlak a patří mezi řízené zkoušky podniku IMI Precision Engineering. Zkouška byla navržena původně pro jiné produkty, avšak s drobnými úpravami je možné zkoušce podrobit i testované vzorky motory actuatory.[1]

Hydrostatický tlak testuje:

- schopnost obalu produktu zůstat při maximálním jmenovitém tlaku bez úniku
- udržovací schopnost obalu produktu při maximálním jmenovitém tlaku do 20 bar
- faktor bezpečnosti obalu obsahujícího tlak

Zkušební komora použitá pro tyto zkoušky musí být zkonstruována tak, aby umožňovala výbuch zkušební vzorku a chránila obsluhu před poraněním. Dále musí obsahovat pozorovací okno, které musí vydržet náraz při destrukci zkušebních vzorků a jejich částí.



Obr. 36: Destrukční zkouška

Do komory vede zásobování tlakovým systémem, které dosáhne zkušební tlaku specifikovaného podle zkoušeného materiálu a zkušební teploty. Pro plasty při provozních teplotách do 50 °C probíhá test zvyšováním tlaku až na úroveň čtyřnásobku navrhovaného jmenovitého tlaku. Tlak musí být regulovatelný.

Kus se pomocí přípravku připojí na tlakovou hadici. Pomocí páky ručně tlakujeme na 4 bar. Po dobu 10 vteřin sledujeme případné ztráty tlaku (únik). K detekci a potvrzení přítomnosti malých úniků se používá pečlivé vizuální vyšetření povrchu pomocí lupy nebo mikroskopu. Následuje další postupné navyšování tlaku až do úplného prasknutí vzorku. Poslední fáze testu má pouze informativní charakter a používá se především k ověření konstrukce nových výrobků, kdy je vhodné posoudit kritické tolerance.

Výstupem tlakové zkoušky je zpráva, která obsahuje informace o testovaném produktu a testovací podmínky, poruchový tlak a destrukční tlak.

7 METODY PLÁNOVÁNÍ, OVĚŘOVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ

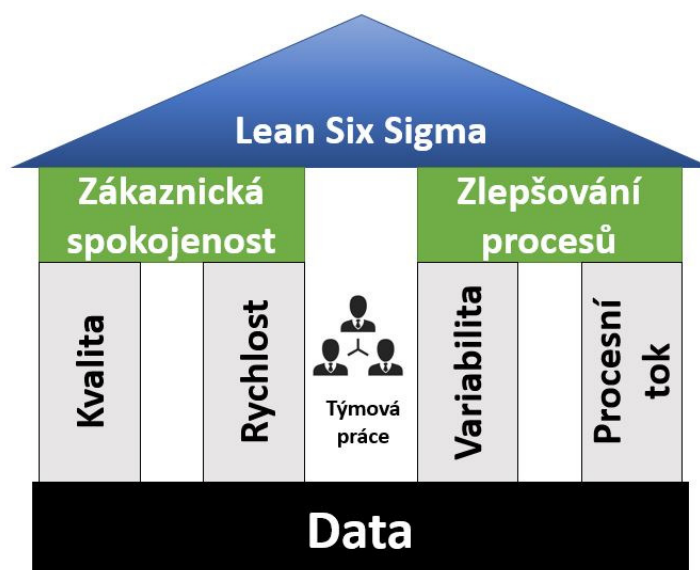
Ve výrobních procesech automobilu se při zavádění nových produktů zahajuje fáze projektování, dělená do několika etap napříč všemi odděleními. Pokud je produkt řádně zaveden, projekt se ukončí. Zůstane otevřená poslední fáze, která se týká možnosti neustálého zlepšování. Techniky zabývající se neustálým zlepšováním se v současnosti potýkají i s tzv. lean výrobou, patří mezi ně metody Six Sigma, 5S, Kaizen, PDCA cyklus, Continuous improvement a nebo Risk Management. [13]

Pakliže je proces nestabilní nebo se vyskytuje problém, obdobné metody mohou do značné míry posloužit k rozboru problému a nalezení nejlepšího řešení. Děje se tomu tak, protože všem firmám nezávisle na sobě napříč věkem jde o čas a čas jsou peníze.

Vybrané metody plánování, analyzování procesu a způsobu hodnocení jsou standardem společnosti IMI Precision s.r.o. a v následujících odstavcích budou podrobněji představeny.

7.1 Ověřování a zlepšování - DMAIC

Pro správné porozumění zkoumaného procesu existuje spousta metod a systémů. Postup je nutné dobře naplánovat. Jedna z takových metodik vznikla právě kvůli zvyšujícím se požadavkům na kvalitu výroby a zákaznickou spokojenost. Nazývá se DMAIC. Jednotlivá písmena značí slova a jejich pořadí je pevně stanoveno, viz dále. Fáze jsou propojeny tak, že výstupní hodnoty z předcházející jsou vstupní do následující fáze. Při dodržení pevné systematicky by měly být problémy odstraněny trvale. [13]



Obr. 37: DMAIC house – 4 pilíře [13]

Fáze DMAIC:

- *Define (definovat)* – definovat projektové cíle a zákaznické výstupy
 - identifikace problému / projektu + stanovení cíle (vymezení hranic)
 - díky stanovení cíle hned na začátku lze snadno odhadnout, zda je cíl dosažitelný za jednotku dostupných prostředků
 - vysoká úspora času a financí na problémech, které nejsou tak složité nebo naopak tak složité, že nejsou rentabilní
- *Measure (měřit)* – změřit proces a určit současný stav, kvantifikovat problém
 - Určení správných a potřebných údajů o problému
 - Sběr kvalitních a spolehlivých dat
- *Analyze (analyzovat)* – analyzovat a určit kořenové příčiny problému
 - hledání podstaty problému (kořenová příčina)
 - analýza a stanovení závislostí výstupních a vstupních veličin
- *Improve (zlepšit)* – zlepšit proces eliminací defektů
 - výběr nejvhodnějšího řešení kořenové příčiny
 - ověření navrženého řešení v „pilotním“ provozu
 - identifikace rizik spojených s vybraným řešením (uvážení náročnosti, kontrola návratnosti a prosperity navrženého řešení)
- *Control (řídít)* – řídit budoucí výkon procesu
 - monitoring a standardizace nově nastaveného procesu
 - nastavení pravidelného ověřování změn
 - při zanedbání tohoto kroku většina projektů zanikne, veškerá práce a čas přijdou na zmar

Pro každou fázi existuje množství průběhů nebo variant, jak postupovat. Konkrétní postup si každá firma (člen týmu) může zvolit dle svého uvážení, důležité je, dobrat se ke stejnému výsledku. Předpokládá se znalost problematiky, aby vybraná metoda byla opravdu vhodná.

Využití DMAIC:

- úspora času a financí při návrhu nového projektu / řešení problému
- zvýšení výkonnosti procesu
- navržení řešení konkrétní příčiny pro konkrétní proces
- odstranění problému na trvalo

7.2 Ověřování způsobilosti strojů a procesů

Všechny použité metody pro ověřování způsobilostí musí dokládat, že procesy jsou schopny dosahovat plánovaných výsledků. Pokud se požadovaných výsledků z nějakého důvodu dosahovat nebude, musí dojít k ověření znovu (nebo v pravidelných intervalech preventivně). V případě nedosažení výsledků je podle potřeby nutné stanovit nápravná opatření a změny v procesu.

Rozlišují se krátkodobé a dlouhodobé analýzy. Krátkodobé analýzy posuzují kontinuální výrobu, dlouhodobé vybírají vzorky za delší dobu, a jsou tak reprezentanty sériové výroby. Počet minimálních vzorků se udává podle výstupu. [15]

7.2.1 Analýza způsobilosti stroje

Analýza způsobilosti stroje je krátkodobá analýza, která by měla odkrýt, jaký vliv na výrobní proces má stroj. Během analýzy se pozorují vlastnosti stroje a zároveň by měly být vyloučeny všechny možné jiné ovlivňující vlivy. S největší pravděpodobností budou ale nějaké vlivy zůstat, během chodu by tak měly být vnější vlivy udržovány v konstantním průběhu. Pokud není možné zachovat proces v konstantním chodu, všechny změny musí být dokumentovány. Tím se zvýší šance na dosažení způsobilosti, pokud nebude dosažena specifikace pro způsobilost. [13]

Vyhodnocení dat:

Pomocí softwaru se nejprve data zhodnotí kvalitativně, zda jsou naměřené hodnoty stabilní v čase. Ideální pomůckou je vizualizace v podobě grafů. Pokud data budou nepřijatelná a příliš nestabilní, je nutné identifikovat chování stroje, proces stabilizovat a následně provést měření znovu.

Způsobilost stroje je prokázána, pokud index způsobilosti dosahuje hodnoty:

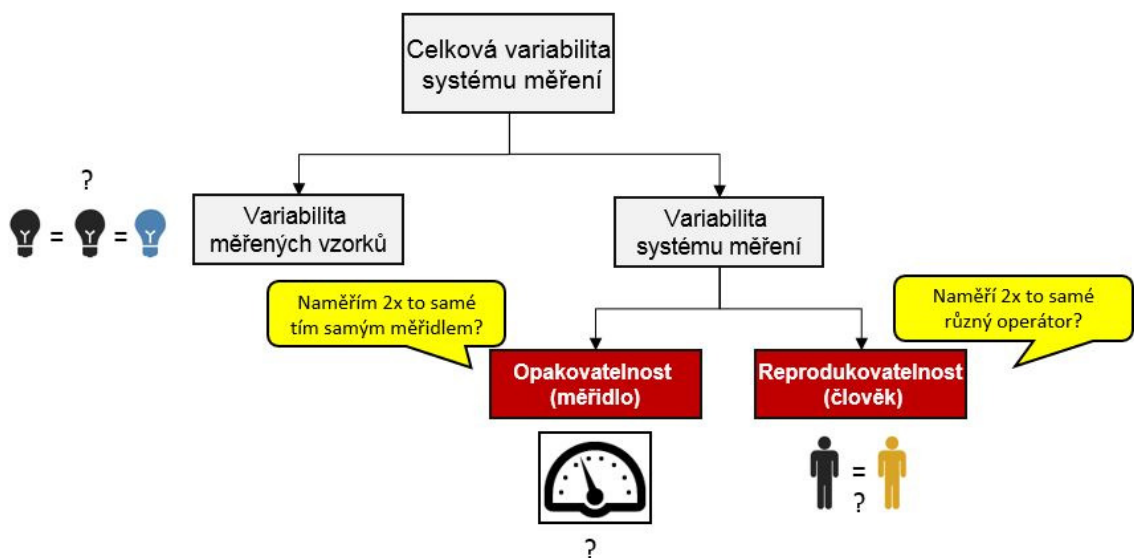
$$C_{mk} \geq 1,67$$

7.2.2 Analýza systému měření (MSA)

Pro vyloučení faktu, že systém neměří správně, se provádí studie MSA (Measurement System Analysis) – krátkodobá analýza. Jinými slovy studie ověří spolehlivost výstupních dat. Výsledky měření nesmí být ovlivněny měřidlem ani osobou či postupem měření. Tato analýza se provádí ještě před měřením (sběrem dat v běžném provozu). Další případy nastávají při stěhování stroje / zařízení, implementaci nového měřidla nebo po kalibraci měřidel. [13]

Studie hodnotí následující parametry:

- *opakovatelnost* – schopnost měřidla dosáhnout stejného výsledku při opakovaných měřeních
- *reprodukovatelnost* – schopnost operátorů dosáhnout stejných výsledků se stejným měřidlem
- *strannost* – posunutí naměřených vzorků od střední hodnoty
- *linearita* - souvisí se stranností a součástí testu



Obr. 38: Metoda MSA (Measurement System Analysis) [13]

Etapy přípravy MSA:

- určení počtu vzorků dle podstaty systému
- výběr vzorků + označení
- výběr operátorů ideálně zkušených v procesu výroby
- nastavení plánu a náhodného pořadí vzorků – správně by operátor neměl vědět, který vzorek měří
- zaručení stejných podmínek během všech měření (teplota, tlak, denní doba)

	Dlouhá studie	Krátká studie
Počet vzorků	10	5
Počet opakování	3	2
Počet operátorů	3	2

Obr. 39: MSA – detail požadavků pro studie [13]

7.2.3 Analýza způsobilosti procesu

Analýza způsobilosti procesu probíhá po delší časový úsek, řadí se mezi dlouhodobé analýzy. Během měření nedochází k odstranění externích vlivů. Nahlíží se na celý proces, jaký opravdu je. Podle daného postupu se analyzuje přesně daný počet vzorků vybraných namátkově a zcela náhodně. U všech vybraných vzorků dojde ke změření všech hodnot jako při standardním průběhu procesu výroby automobilů. [13]

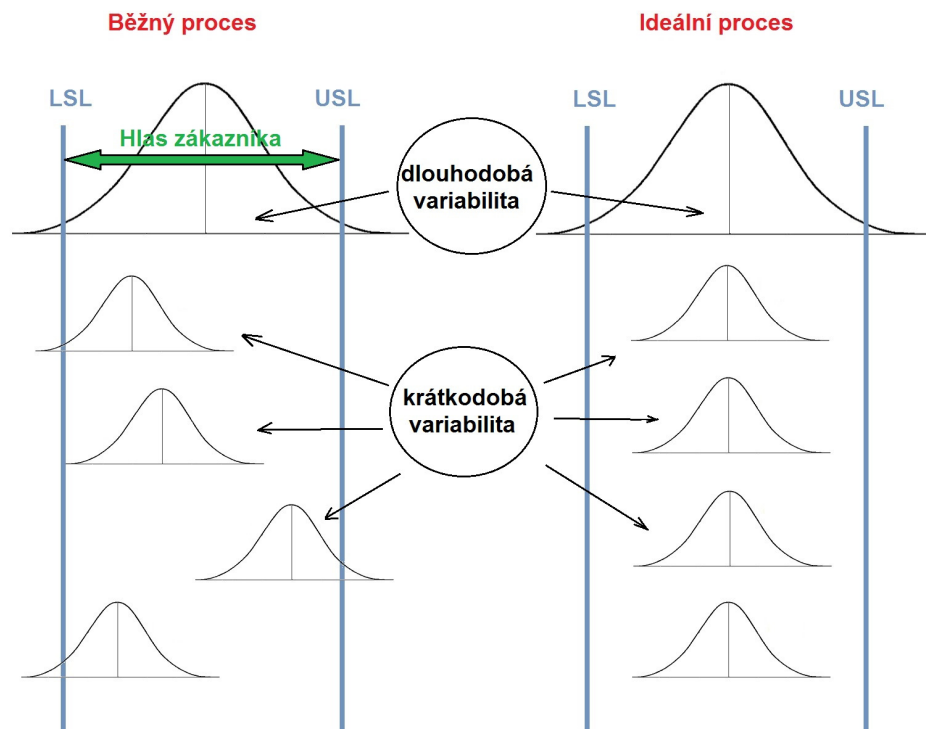
Vyhodnocení dat:

Pomocí softwaru se nejprve data zhodnotí kvalitativně, zda jsou naměřené hodnoty stabilní v čase. Ideální pomůckou je vizualizace v podobě grafů. Index způsobilosti procesu bere v potaz polohu procesu mezi stanovenou dolní a horní mezí.

Maximální hodnota, které může index dosáhnout je 2. Minimální dvoustranná procesní způsobilost spojitých dat je splněna, pokud index způsobilosti dosahuje hodnoty:

$$C_{pk} \geq 1,33$$

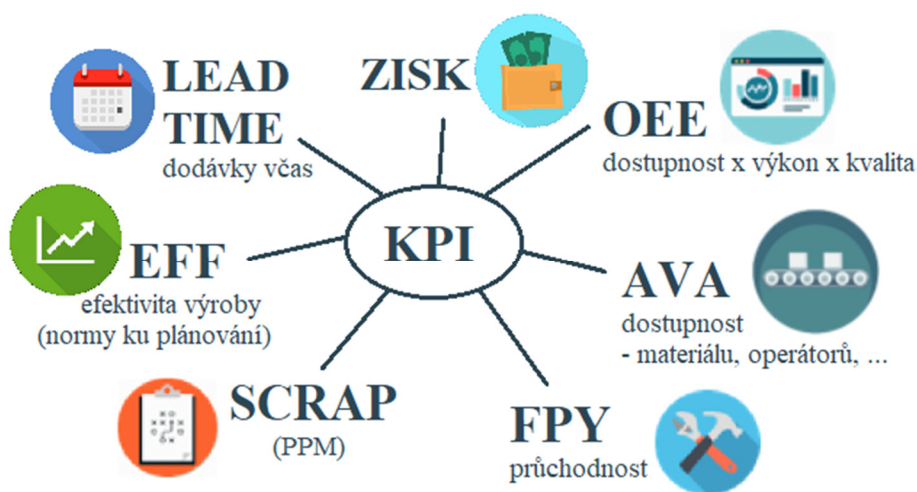
Na obrázku 41 je zobrazen běžný a ideální proces. Hodnoty LSL a USL znázorňují hranice (např. výrobní tolerance). U běžného procesu dochází k pohybu mezi křivkami – variabilitu způsobují vnější vlivy. Dlouhodobá měření dokáží pohyb zachytit.



Obr. 40: Analýza způsobilosti procesu – běžný a ideální proces [13]

7.2.4 Analýza průchodnosti na poprvé (FPY)

Při velkosériové výrobě v automobilu je běžné sledovat aktuální ztráty, které se odráží na výstupech v podobě zisku. Hodnoty se souhrnně označují akronymem KPI (Key Performance Indicator) neboli ukazatele efektivity firmy. Jednotlivé ukazatele se zaměřují na dílčí skupinky resp. podobory, podle kterých je potom jednodušší vyhledat problematickou část procesu, viz Obr. 42. Pravidelné sledování ukazatelů je standardem. KPI umožňují odpovídat na otázky, zda má výroba náskok nebo je pozadu, a jak moc velký ten rozdíl je oproti cíli.



Obr. 41: Složky KPI ukazatelů ve společnosti IMI Precision Engineering

FPY ukazatel kvality vyhodnocuje podíl počtu OK kusů ku počtu všech vyrobených kusů. Za OK kusy považujeme výrobky, které prošly procesem na poprvé. Všechny vyrobené kusy zahrnují všechny OK kusy a všechny zmetky (opravitelné i neopravitelné). Pokud by podíl byl rovný 1, pak je výroba 100% bez zmetků.

Dílčí složky FPY:

- porucha stroje
- nesprávně stanovená technologie
- nevhodná kontrolní metoda
- vadný vstupní materiál
- chyba při montáži

Požadavek v automobilu dosahuje obvyklých 97 % pro celý výrobní proces. Podle rovnice se rozpočítá celkové FPY na jednotlivé stanice / pracoviště / linky.

$$FPY_{celkové} = (FPY_{stanice1}) \cdot (FPY_{stanice2}) \cdot (FPY_{stanice3}) \dots$$

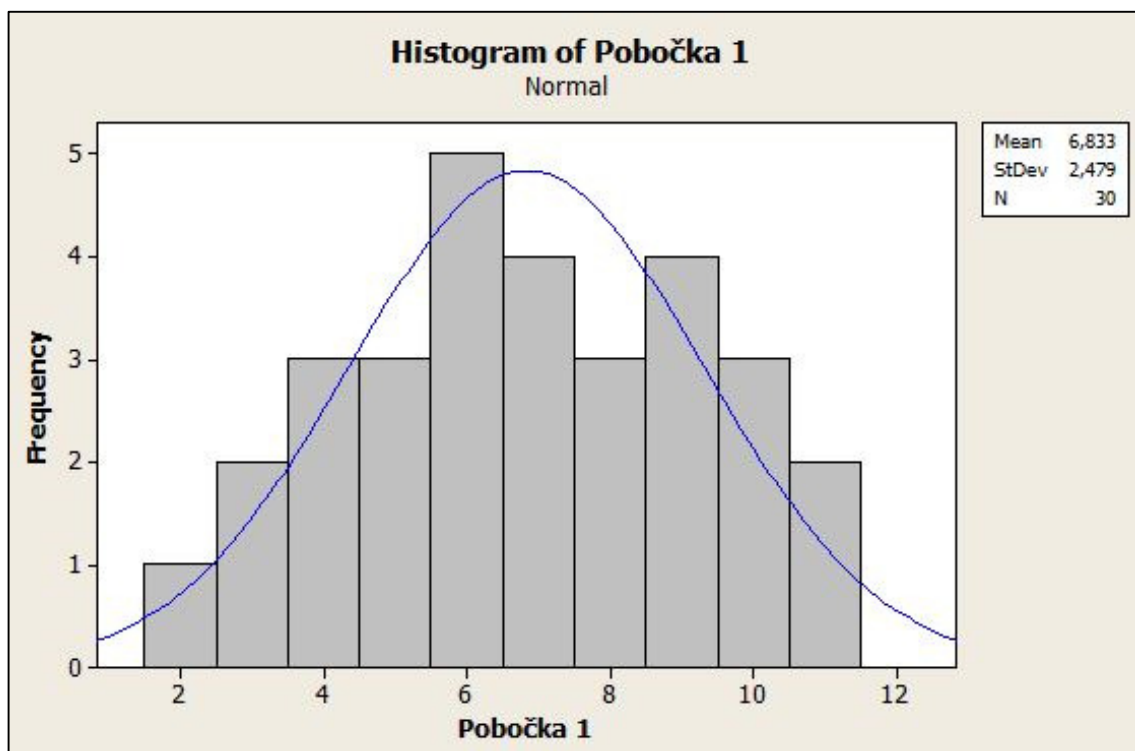
7.3 Vyhodnocování a interpretace výsledků

Zvolený postup a vypovídající naměřená data ještě nejsou zárukou odhalení kořenových příčin. Rozdílné analýzy vyžadují rozdílnou interpretaci. Každá bude zaznamenána do příslušného grafu.

7.3.1 Těsnost

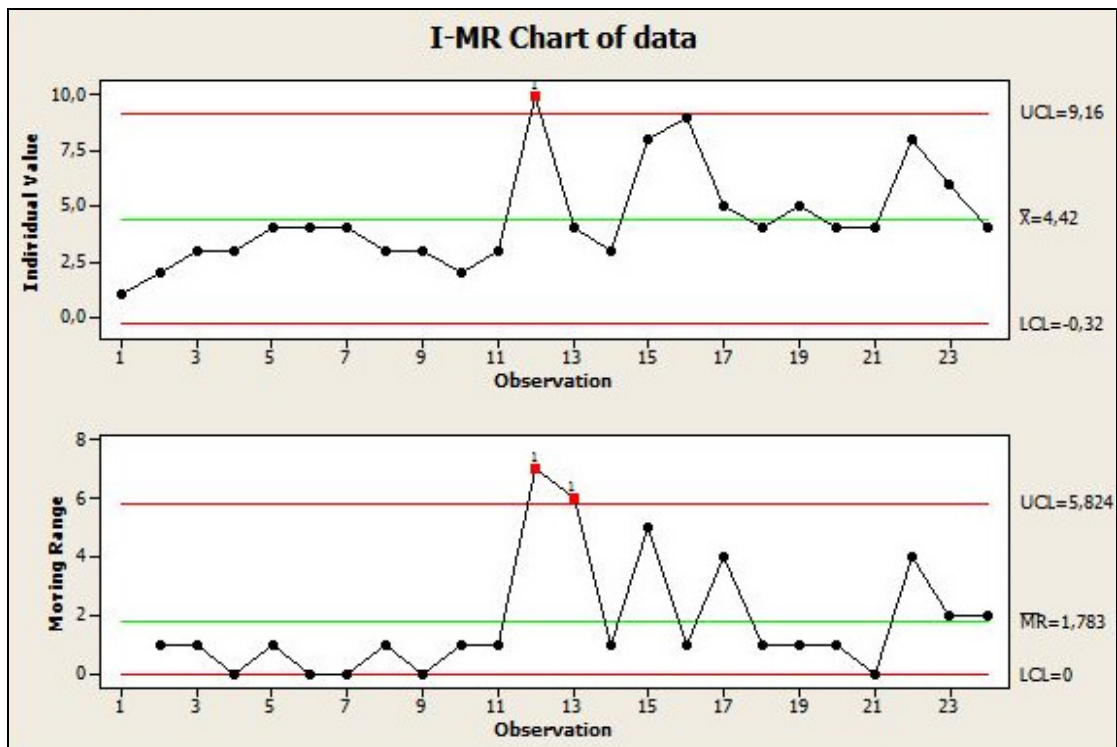
Primitivní vyhodnocení těsného (OK) a netěsného (NOK) výrobku zajišťuje linka na základě „rozhodnutí“ zařízení ATEQ F620. Naměřené hodnoty všech testovaných kusů se ukládají do paměti, automaticky se soubory ukládají po dnech. Horní limit povolené netěsnosti stanovil zákazník na hodnotu $100 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$.

Vyhodnocení těsnosti z krátkodobého hlediska probíhá na vybraných vzorcích a celý průběh je řízen metodou MSA. Nabízí se histogram (názorný příklad na Obr. 43), který vystihuje distribuci vzorku dat pomocí sloupců, z nichž každý zastupuje konkrétní hodnotu a výška sloupce udává četnost hodnoty.



Obr. 42: Histogram – ukázka [13]

Pro hodnocení těsnosti z dlouhodobého hlediska je potřeba zvolit grafickou podobu, která ukáže průběh dat v čase. Pro takové analýzy se volí regulační diagram. Monitoruje časový vývoj sledovaných parametrů. Na první pohled je zřetelný trend vývoje a stabilita procesu. Při měření spojitých dat pro jeden druh výrobku bude optimální I-MR chart. Na první pohled lze bez větší námahy pozorovat, zda proces je v mezích (např. výrobních tolerancích).



Obr. 43: I-MR Chart – ukázka [13]

7.3.2 Pevnost svaru

Specifikace zkoušky pevnosti svaru udává pro plasty při provozních teplotách do 50 °C spodní limit, který je roven 4 násobku jmenovitého tlaku. Jmenovitý tlak vzorku je definován zákazníkem na 0,3 bar.

Pakliže bude dodržena podmínka těsnosti, vzorky by neměly podlehnout deformačnímu tlaku pod 1,2 bar. K měření poslouží testovací „kabina“ s vlastním zdrojem hydrostatického tlaku a tlakoměrem s rozsahem do 20 bar.

Jelikož se jedná o stejný případ měření spojitých dat pro jeden druh výrobku, bude optimální I-MR chart jako u dlouhodobého testu těsnosti.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 CÍL PRÁCE

Na základě statistických ukazatelů a znalostí o ultrazvukovém svařování termoplastu PBT GF30 je požadavkem stabilizovat proces, eventuálně vytvořit návod pro rychlou změnu parametrů v provozu společnosti, u níž byl prováděn experiment. Pod tento velký cíl spadají jednotlivé úkony ve smyslu provést test, analyzovat proces, stanovit kořenové příčiny problému a najít řešení. Všechny jednotlivé body budou směřovat k hodnocení jak z krátkodobého tak i z dlouhodobého hlediska. V závěru budou shrnuty všechny výsledky hodnotících parametrů výroby – ukazatel průchodnosti, těsnost a pevnost svaru v závislosti na průběžných změnách svařovacích parametrů ultrazvukového svařování.

ZADÁNÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Proved'te experimentální svařování.
3. Optimalizujte proces svařování při změně technologických parametrů.
4. Proved'te statistické vyhodnocení výsledků.

9 SEZNÁMENÍ S FIRMOU IMI PRECISION ENGINEERING

Společnost IMI Precision Engineering je jedním z výrobních závodů po celém světě společnosti IMI International s.r.o. V závodě se vyrábí vzduchové a hydraulické ventily, ventilové ostrovy pro rozvod vzduchu, písty a válce pro ovládání vzduchu. Většina ventilů je vyráběna ruční montáží a následně jsou všechny výrobky podrobeny testování v různých stanicích podle náročnosti výrobku a požadavků zákazníka. Testovací stanice bývají součástí montážních linek. S postupným vývojem jsou na novější linky kladeny vyšší nároky z oblasti lean metod, mezi které patří Six Sigma, Poka Yoke, SMED, One Piece Flow a mnoho dalších.

Vybrané výrobky *motor actuator* se řadí do rodiny HVAC, kde slouží jako hnací pohon pro ventily ve HVAC systémech (klimatizace, ventilace a rozvod vzduchu). Motor actuator má obal z plastového materiálu PBT GF30 (horní a spodní díl), uvnitř jsou další komponenty. Výrobek putuje po dopravním pásu do ultrazvukové svářečky Branson 2000mc net, kde dojde ke svaření plastových dílů (po jednom kusu). Na další stanici linky probíhá mimo jiné měření těsnosti pomocí zařízení ATEQ F620 na principu tlakového spádu. Výrobek je v testovací lince podroben dalším 7 testům, které nemají přímou souvislost s těsností, proto o nich nadále nebude řeč.

Z kvalitativního hlediska by výroba ideálně neměla produkovat žádné scrapové výrobky (zmetky). Ukazatelem v naší výrobě je číslo FPY (first pass yield), které udává, jaké procento výrobků projde napoprvé výrobním procesem bez neshody. V ideálním případě tak dosahuje FPY 100 %. Interní požadavek je 97 % na výrobu uvedeného výrobku (motor actuator). Na přelomu roku 2018-2019 realita ukazuje děsivých 65 %.

Jelikož čas jsou peníze, je potřeba jednat rychle. Tým pracovníků se znalostí procesu, výroby a kvality začal pracovat na rozboru. Prvním krokem je definovat celý proces a nalézt stěžejní příčiny k odhalení důsledku – pomocí diagramu rybí kosti (Ishikawa). Souběžně probíhá přeměrování jednotlivých komponent pro výrobu – zda jsou rozměry ve výrobních tolerancích. Dodávaný materiál vykazuje po testech shodné chemické složení i rozměry napříč rozdílnými šaržemi. Všechny hodnoty jsou v intervalu odsouhlasených tolerancí, které jsou z hlediska designu svaru v pořádku. Zřejmě odlišnost při procesu vstřikování i mezi jednotlivými šaržemi se projevuje výskytem problémů při svařování plastových dílů.

S vědomím rizik, která ani neustálým zlepšováním procesu nedokážeme eliminovat, se pouštíme do podrobné analýzy a nalezení řešení. Vše směřuje ke kvalitě materiálu, která se stala podnětem této diplomové práce. K řešení byla použita ověřená metodika DMAIC.

10 EXPERIMENT

Výstup z aplikované metodiky DMAIC lze zkrátit na jednu stranu. Ty další popisují průběh.

Během fáze *Definice* (D) mělo dojít k určení stanovisek:

- *Kde se vyskytuje?* Linka pro produkt motor actuator.
- *Kdy se vyskytuje?* Nepravidelně.
- *Jak se projevuje?* Netěsnost výrobku.
- *Kvantifikace problému?* Pokles ukazatele FPY na 65 % (z 97 %).
- *Čeho chceme při řešení dosáhnout?* Těsnost výrobku, zvýšení FPY o 22 %.
- *Jakým způsobem budeme měřit?* Pomocí ukazatele FPY.
- *Máme všechny dostupné informace?* Ano – Ishikawa diagram.

Druhá fáze *Měření* (M) se zaměřuje na další otázky, kterými se definuje plán sběru dat:

- *Co budeme měřit?* Průchodnost % (FPY, ukazatel KPI) a těsnost.
- *Jak to budeme měřit?* Způsobilost stroje, opakovatelnost, způsobilost procesu.
- *Kdy to budeme měřit?* V pilotní výrobě okamžitě, poté v sériové výrobě denně.
- *Čím to budeme měřit?* Měřidlo těsnosti ATEQ F620, burst test pro pevnost.
- *Kdo to bude měřit?* Sběr dat automaticky v PC.

Třetí fáze *Analýza* (A) probíhá podle stanovených metod v první fázi:

- *kontrola těsnosti – krátkodobá - MSA*
- *kontrola těsnosti – dlouhodobá - FPY*
- *kontrola pevnosti*

Čtvrtá fáze *Zlepšení procesu* (I) vede k řešení kořenové příčiny a identifikaci rizik spojených s vybraným řešením:

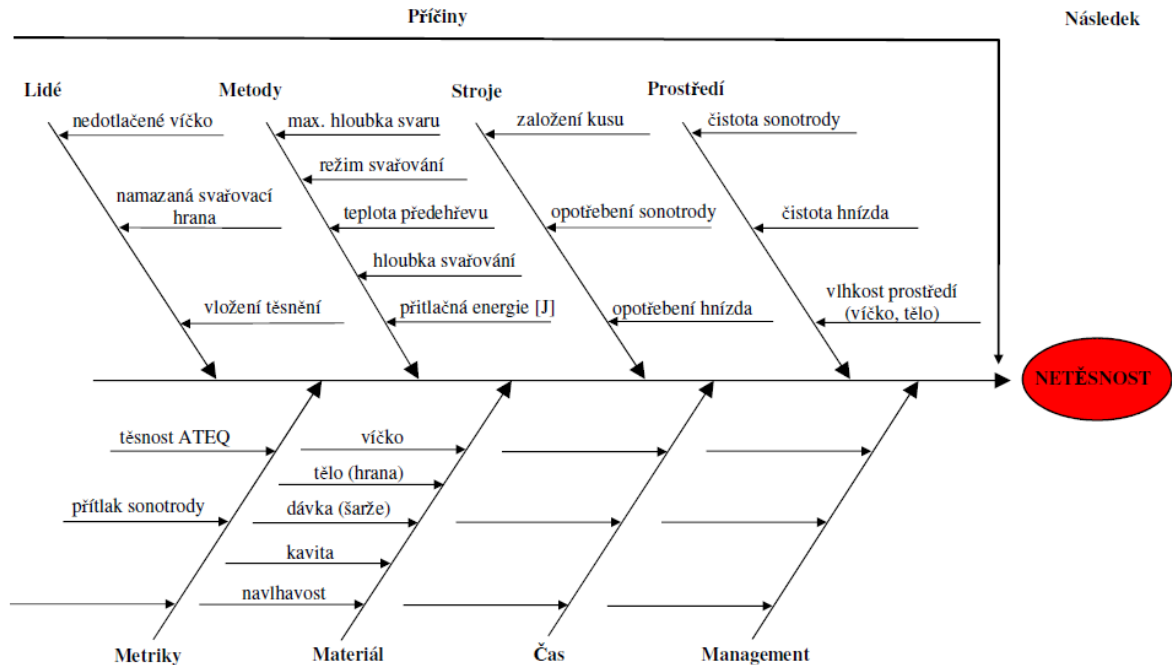
- *Nastavení vyšší čistoty během správné montáže.*
- *Kontrola toku materiálu prostředkem FIFO (First In, First Out).*
- *Instrukce, návod pro rychlé přeserřízení svářečky.*
- *Kontrola rizik souvisejících se změnou procesu v dokumentaci.*

Poslední fáze *Řízení procesu* (C) definuje postupy, kterými se zavedené změny kontrolují:

- *Pravidelný zápis o kontrole procesu (úklid, graf svářečky a FIFO) – denní báze.*
- *Pravidelné ověřování spolehlivosti testovací stanice a ukazatel FPY – týdenní báze.*
- *Pravidelné ověřování měřidel a jejich recalibrace – roční báze.*

10.1 Identifikace problému – diagram Ishikawa

Pomocí diagramu Ishikawa se mají odhalit všechny možné příčiny netěsnosti. [6], [17]



Obr. 44: Diagram Ishikawa pro analýzu netěsnosti [1]

Diagram lze sestavit na základě zkušeností a znalostí problematiky z praxe. K diagramu je potřebná týmová spolupráce, která v tomto případě vedla ke vzniku a „pocitovém“ hodnocení nejzávažnějších příčin.

Diagram Ishikawa je živý soubor, který se postupně doplňuje a rozšiřuje.

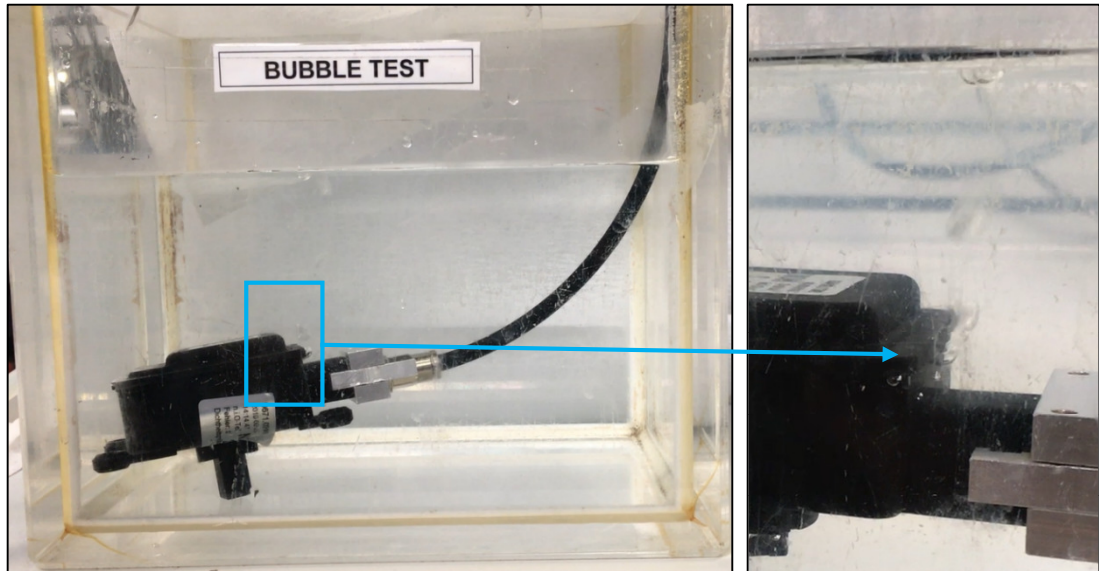
Závěrem diskuze bylo, že největší vliv má materiál – čistota a kvalita svařované hrany – a čistota nástrojů.

10.2 Určení faktorů ovlivňující zkoumanou veličinu

Z rozboru vplynuly příčiny, které vyžadovaly pozornost. Z rozboru byly vypuštěny příčiny, které nesouvisely s problematikou ultrazvukového svařování a těsností.

10.2.1 Správná montáž

Během analýzy v bublinkovém testu těsnosti se projevila vada těsnosti a to hned ve dvou variantách. Bublinkový test není sice adekvátní pro měření hodnoty úniku v tak malém měřítku (do 100Pa s⁻¹), ale téměř bez prodlevy „ukáže“ skutečné místo úniku.



Obr. 45: Bublinkový test – detail úniku svarem



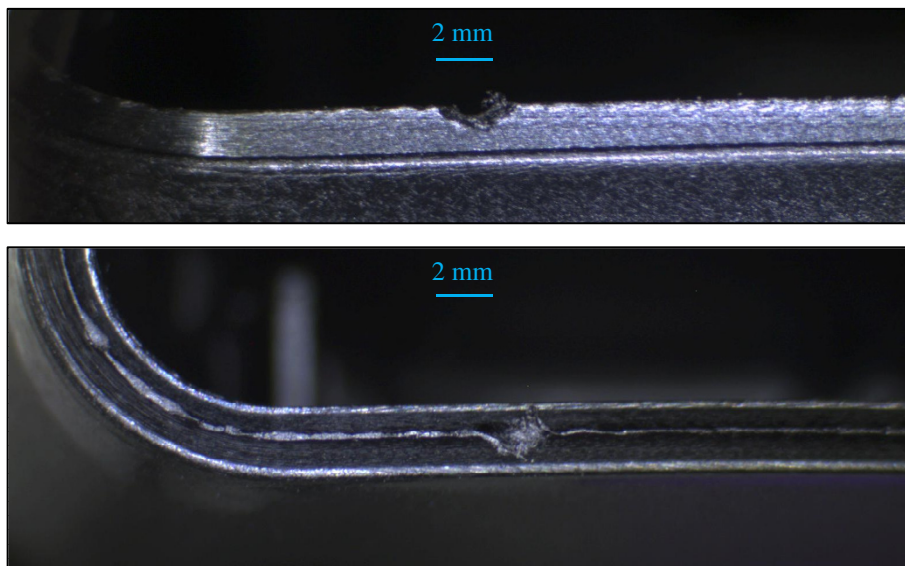
Obr. 46: Bublinkový test – detail úniku u hřídele

Netěsné výrobky se touto metodou třídí na dvě skupiny:

- problematika svaru (k úniku dochází pod víčkem, Obr. 45)
- problematika montáže (únik je detekován ve spodní části u hřídele).

10.2.2 Hrana

Hrana by neměla jevit výrazné povrchové vady ani stopy po mazivu. K porušení svařované hrany snadno dochází při nevhodné manipulaci s materiálem. Mazivo se používá při montáži, a tak se operátor může snadno dotknout prstem svařované hrany.



Obr. 47: Detail poškození svařovací hrany těla vzorku motor actuator

Rizikům se zamezilo – dohlíží se na dodržování předepsaného postupu pro manipulaci a na zvýšení důslednosti při montáži.

10.2.3 Čistota sonotrody a hnízda

Sonotroda má jako každý nástroj určitou životnost. V našem případě je vyrobena ze slitiny titanu a měla by dosáhnout životnosti cca 200000 – 250000 ks svarů. Pevný zakládací přípravek nazývaný hnízdo je uložen pevně, vycentrován pod sonotrodou. V průběhu výroby je potřeba obě části kontrolovat. Během výroby vysokého množství kusů denně se v hnízdě usazují popelové a prachové nečistoty, který je potřeba omést.

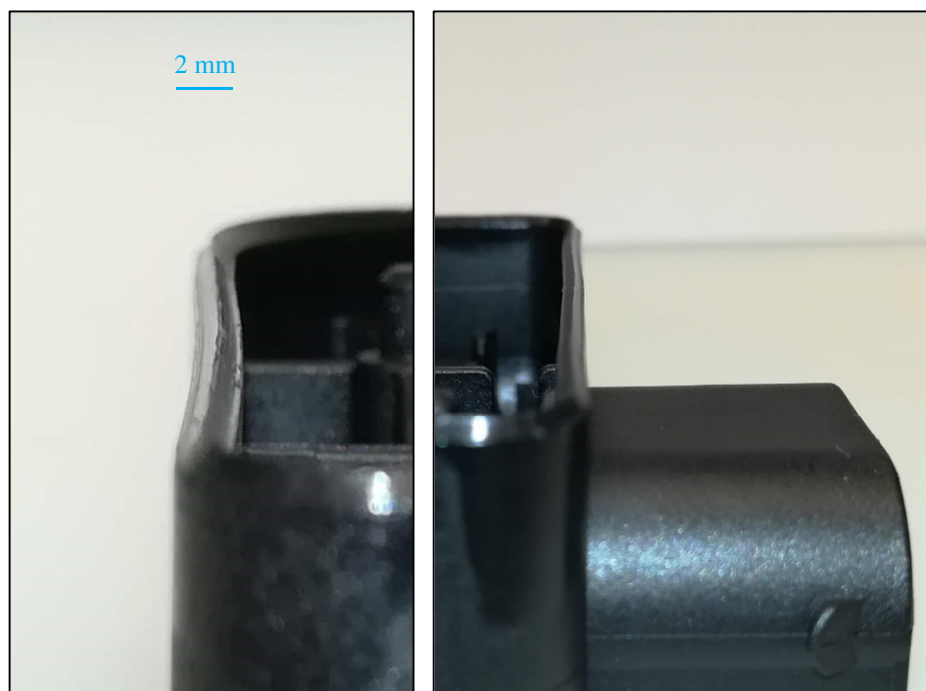


Obr. 48: Sonotroda (vlevo); hnízdo, pevný přípravek (vpravo)

Zavedení a následné dodržování pravidelného úklidu a průběžných kontrol vedlo k požadovaným výsledkům.

10.2.4 Stabilita materiálu

Při chemickém rozboru materiálu vzájemně rozdílných kavit a šarží se ověřilo, že materiály mají složení totožné. Jednotlivé kusy přeměřené pomocí 3D měření odpovídají výrobním tolerancím na výkrese. Výkresy odpovídají designu ploch a teorii o ultrazvukovém svařování. Rovinnost horní hrany těla je také v mezích tolerance. Přesto se vyskytují komplikace při svařování zaměněných kavit nebo při svařování odlišných šarží. Materiál se projevuje jako nehomogenní, ve svařované hraně kvůli tečení materiálu při vstřikování dochází k vyšší koncentraci skelných vláken. Skelná vlákna jsou navíc neuspořádaná a mohou přecházet přes okraj. Hrany jsou poměrně křivé, k čemuž dochází pravděpodobně během ochlazování. Prohnutí hran je na každé straně jiné. V místě, kde je stěna nejtenčí bez výstuh je strana prohnutá celá, viz Obr. 49 vlevo, na straně konektoru se objevuje průhyb pouze v oblasti těsně nad konektorem v místě, kde je nejvíce materiálu (pohled shora na Obr. 50).



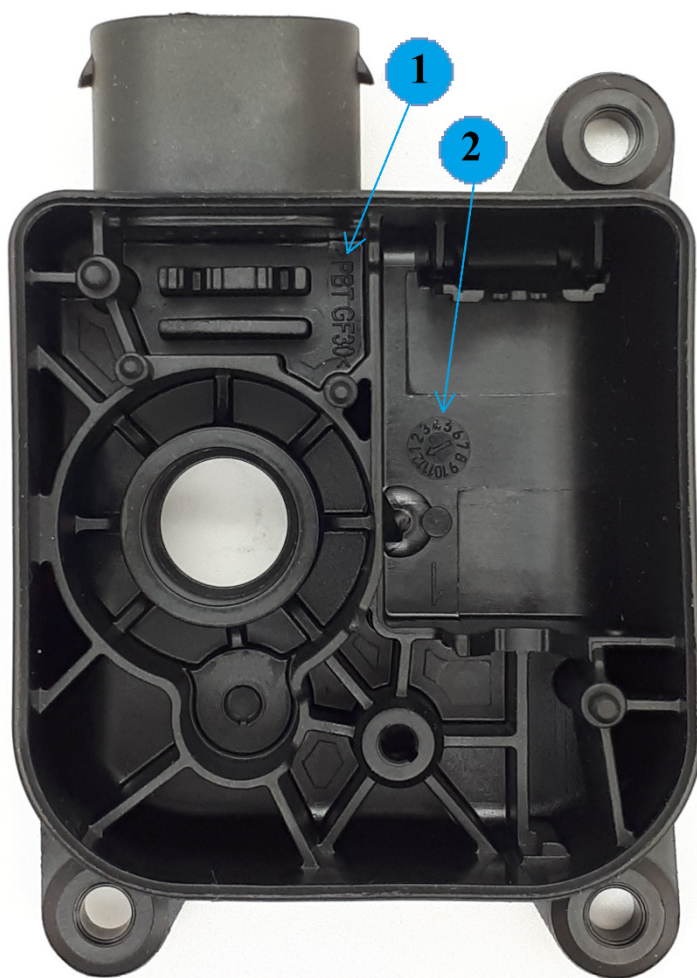
Obr. 49: Detail průhybu svařovací hrany těla vzorku motor actuator

Úprava a zkvalitnění procesu vstřikování u dodavatele jsou finančně příliš nákladné, proto je potřeba upravovat proces svařování přímo ve výrobě v závislosti na výrobních dávkách (šaržích), podle právě používaného materiálu.

10.2.5 Šarže materiálu

Po předešlých testech a nastavení nápravných opatření stále problém existoval. Nepravidelnost časového intervalu výskytu problému ukazuje, že problémy s těsností svaru souvisí se změnou výrobní šarže. Spotřební materiál se průběžně nakupuje od externího dodavatele. Množství se definuje vždy podle spotřeby, a tak vzniká nepravidelný interval mezi objednávkami.

Ačkoliv je chemické složení shodné napříč šaržemi, zřejmě při vstřikování dochází ke změně množství skelných vláken ve svařované hraně.



Obr. 50: Vzorek motor actuator

Popis Obr. 50:

1 – Označení materiálu PBT GF30, na všech kusech stejná značka, 2 – označení šarže materiálu, šipka značí měsíc výroby a rok je vyznačen v okolí šipky (dále ve formátu MM/RR).

10.2.6 Nastavení parametrů svářečky

Nastavení jednotlivých parametrů během režimu svařování vede k výsledkům svařování. Svařování je hodnoceno v testovací lince, která se skládá z několika dílčích testů pro každou charakteristiku výrovku zvlášť. Svařovací parametry zásadně ovlivňují pevnost a těsnost svaru výrobku *motor actuator*. Sekundárně ovlivňují negativně funkci výrobku (pokud je svar příliš hluboký).

10.3 Výběr říditelných faktorů

Všechny zmíněné příčiny se během krátkého časového úseku zkontrolovaly a případně napravily. Na potvrzení teorie rozdílnosti šarží (výrobních dávek) bylo zapotřebí zajistit více materiálu z různých časových období a vzorky podrobit důkladnější analýze.

Mezi říditelné faktory řadíme:

- správnou montáž
- kvalitu hrany před svařením
- čistotu sonotrody a hnízda pro uložení výrobku
- parametry ultrazvukové svářečky

Neříditelnými faktory tedy jsou:

- odlišnost mezi šaržemi materiálu
- stabilita materiálu

Z těchto dvou důvodů bylo nevyhnutelné vytvořit návod pro budoucí výsledky svařování. Jediný faktor, který můžeme cíleně ovládat, jsou parametry svařování. Jak se zmiňují i v teoretické části, optimalizace parametrů ultrazvukové svářečky je nejrychlejší a nejlevnější variantou v porovnání s úpravou designu nebo vstřikovacím procesem.

11 OPTIMALIZACE SVAŘOVACÍHO PROCESU

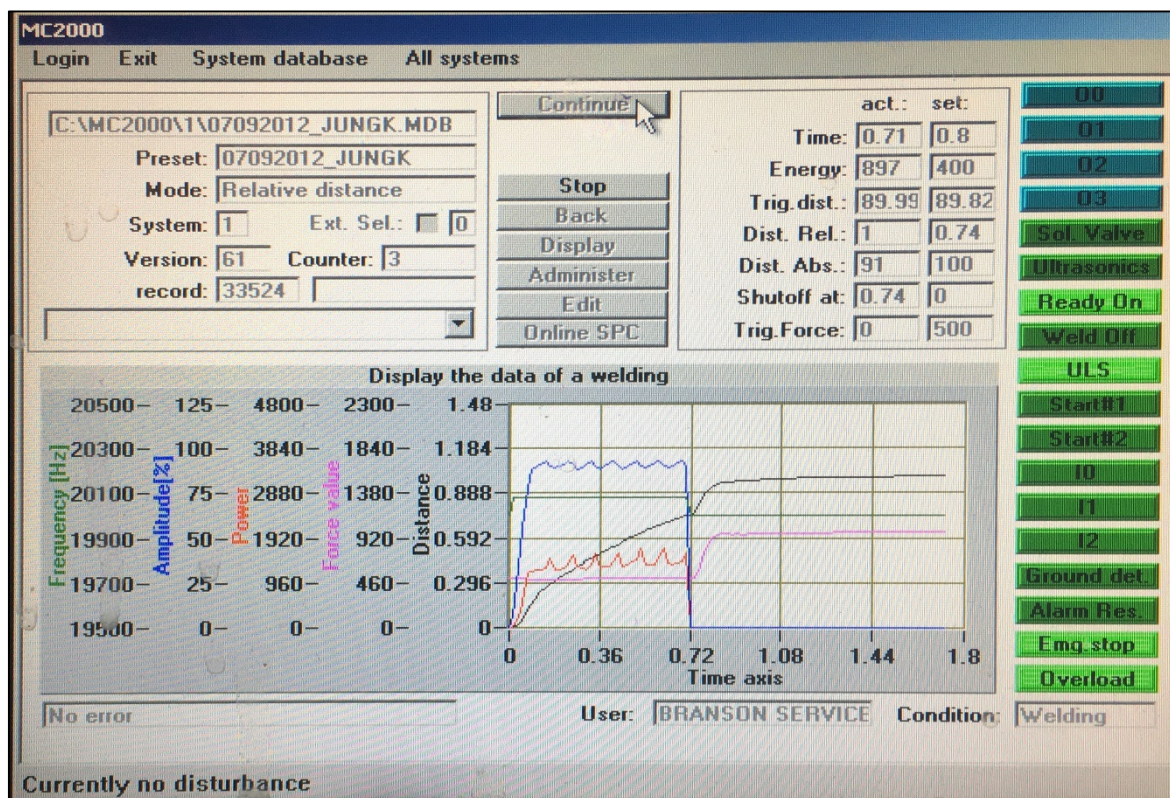
Parametry svářečky – říditelné faktory – se optimalizují postupně a v několika krocích. Změny se prováděly v krátkém časovém sledu po sobě, neboť svářečka zobrazuje výsledek svaření hned po dokončení svařování (vyjetí sonotrody do výchozí pozice). Hodnoty se zobrazují v poli i v grafu, ukládají se automaticky do složky.

Jakákoliv změna vede k automatickému navýšení verze (Version; vlevo na obrazovce). Tuto změnu nelze v programu MC2000 obejít nebo falsifikovat, a tak bude v průběhu optimalizace a analýzy procesu používána k identifikaci provedených změn během svařování.

11.1 Výchozí stav

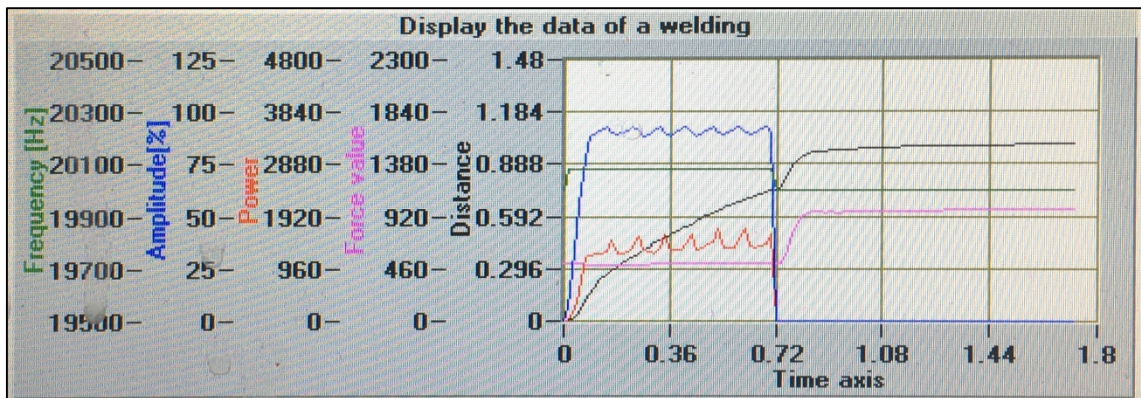
Na svařených kusech se projevuje velký přetok materiálu, u některých dokonce průvar. Únik pod víčkem se vyskytuje nejčastěji v místě s největším objemem materiálu (v blízkosti konektoru). Aktuální nastavení je na režim Relativní dráha (Collapse; více v kapitole 3.5).

Grafický výstup na ovládacím panelu se záznamem hodnot na obrázku.



Obr. 51: Grafický výstup ze svářečky, verze 61

Detail obrazovky s grafem:



Obr. 52: Detail výstupu ze svářečky, verze 61

Popis Obr. 52:

Zleva – Frekvence (Frequency – zelená) konstantní průběh po dobu svařování, Amplituda (Amplitude – modrá) stabilní mezi 85-95 %, výkon (Power – oranžová) velmi pomalý rostoucí trend, síla (Force value – růžová) téměř konstantní průběh po dobu svařování potom prudký nárůst k hranici 1000 N, relativní dráha (Distance – černá) zhruba lineární růst během svařování potom prudký nárůst.

Frekvence se nemění, závisí na generátoru celé ultrazvukové svářečky. Amplituda je také stabilní a doposud patřila mezi neměnné parametry v režimu Relativní dráhy. Čas svařování ale dosahuje až 0,72 s. Sice se pohybujeme v řádu desetin, ale v kombinaci s průběhem síly a dráhy je doba nevyhovující. Prudký nárůst u obou parametrů je způsoben tím, že se dlouho taví materiál a náhlý vzrůst je chvíle, kdy se sonotroda doslova proboří nataveným materiálem s cílem dosáhnout nastavenou relativní dráhu během svařování. V dílčí sekci obrazovky aktuálních a nastavených parametrů vidíme vyčíslené hodnoty (act.) a výsledná hloubka dosahuje rovný 1 mm.

Hraniční hodnota funkce výrobku *motor actuator* dosahuje 0,82 mm. Při dosažení výsledné hloubky 1 mm dochází k poškození vnitřních komponent nebo nejméně ztrátě funkce. Výrobky tedy mohou projít jako těsné, ale neprojdou během následujících měření, takže i toto se týká problematiky s optimalizací svařovacích parametrů.

11.2 Optimalizace I – režim relativní dráhy

Cílem optimalizace bylo dosáhnout stabilních výsledků svařování. Pro dosažení takových výsledků s co nejmenšími tvarovými a výškovými odchylkami je potřeba optimalizovat poměry amplitudy kmitů, svařovací čas, relativní a absolutní vzdálenost a nakonec také přítlačnou sílu.

Amplituda kmitů

Amplituda kmitů ovlivňuje přenos frekvence z generátoru, přes konvertor až k sonotrodě. Udává se v procentech a je možné nepřímouměrně ovlivňovat dobu svařování. Pokud tedy svařovací čas trvá dlouho, zvýšením amplitudy se zkrátí, neboť sonotroda rychleji kmitá. Přímouměrně s rostoucí amplitudou roste i pevnost svaru. Příliš vysoká amplituda může vizuálně až funkčně poškodit povrch materiálu. Obvykle se dosahuje hodnot 80 – 100 %. Nastavení amplitudy bylo voleno s ohledem na materiál a zkušenosti na 90 %.

Přítlačná síla

Přítlačná síla zajišťuje správný přenos ultrazvukových kmitů ze sonotrody na budoucí spoj (energy director). Nastavení přítlačné síly je zvoleno s ohledem na zkušenost práce s materiálem, nastavená hodnota ukazuje 400 N.

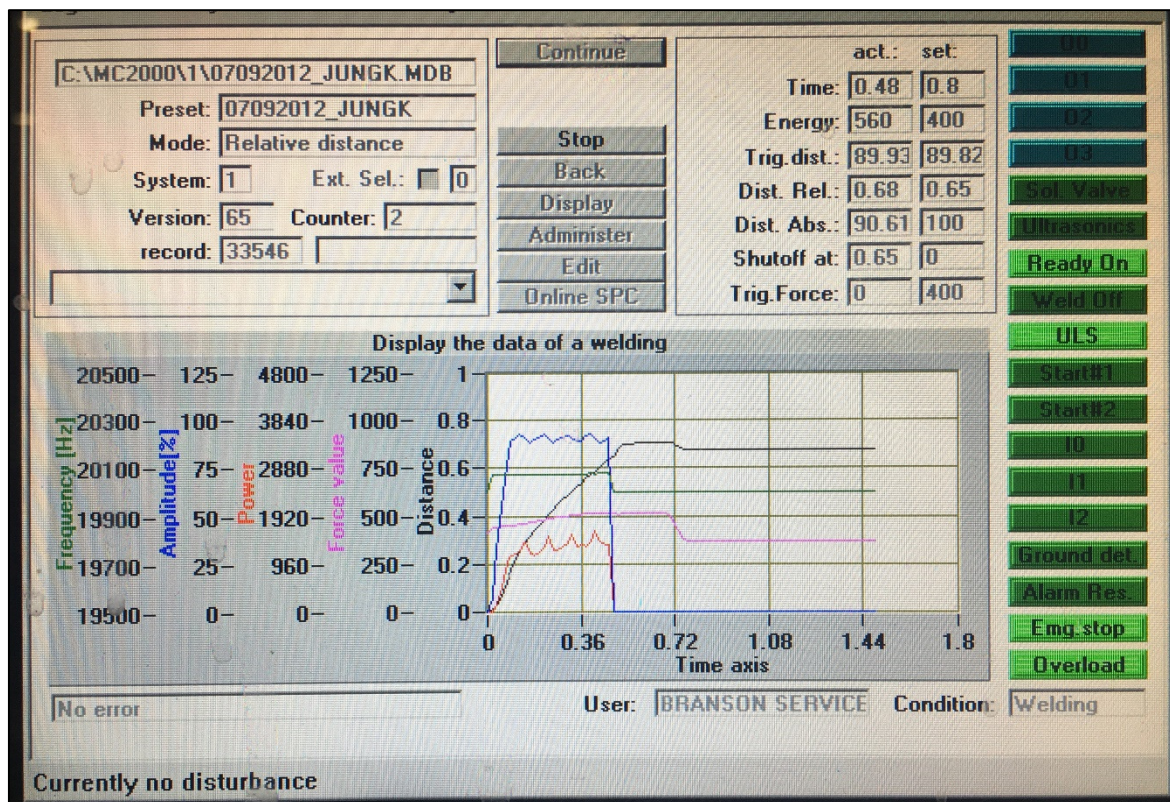
Svařovací čas

Svařovací čas je doba působení ultrazvukové energie na svar. Podle svařovaného plastového materiálu se svařování odehrává v řádech 0,1 s. Obvykle se používá co nejkratší čas, nesmí být ale na úkor dráhy. Pokud by tedy svařovací čas byl příliš krátký, přítlačná síla by v automatickém režimu kompenzovala dobu. Pro materiál PBT GF30 odpovídá doba v intervalu 0,35 – 0,5 s. V režimu relativní dráhy (Collapse) ale není svařovací čas primárním parametrem, musí být tedy zkrácen uměle a to buď za pomoci snížení amplitudy anebo úpravou dráhy.

Relativní dráha

Relativní dráha určuje sekundárně čas a přítlačnou sílu potřebné k dosažení dané dráhy. Snížením dojde k redukci obou zmíněných parametrů. Počáteční hodnota byla 0,74 mm, první úprava vedla k 0,6 mm. Postupně byla dráha při optimalizaci měněna až po dosažení kvalitních a stálých výsledků.

11.3 Výsledný stav – režim relativní dráhy



Obr. 53: Grafický výstup ze svářečky, verze 65

Popis Obr. 53:

Zleva – Frekvence (Frequency – zelená) konstantní průběh po dobu svařování, Amplituda (Amplitude – modrá) stabilní mezi 85-95 %, výkon (Power – oranžová) velmi pomalý rostoucí trend, síla (Force value – růžová) průběžný nárůst během svařování a i po ukončení svařování, potom plynulý pokles na nastavenou hodnotu 400 N, relativní dráha (Distance – černá) zhruba lineární růst během svařování a i po ukončení svařování.

Optimalizace parametrů a sledování v průběhu času proběhlo v měsíci 03/2019. Dlouhodobá analýza měla prostřednictvím KPI ukazatele sledovat případné odchylky od stanovené průchodnosti. Během času pozorování se po několika týdnech začal vyskytovat neznámý problém, který nesouvisel ani s kvalitou materiálu ani s nastavenými parametry. Lineární enkodér, který je na lisu upevněný z boku, viz Obr. 12, vypověděl funkci. Vada se projevila tím, že sonotroda nedojela ke svařovanému kusu, neboť neodměřila uraženou vzdálenost správně, a ihned se vrátila do výchozí pozice bez ohlášení chyby.

Díl je neopravitelný a vzhledem ke stáří stroje ani nelze objednat nový nikde na světě. Muselo dojít k optimalizaci včetně změny režimu, který nebude závislý na odměřování dráhy.

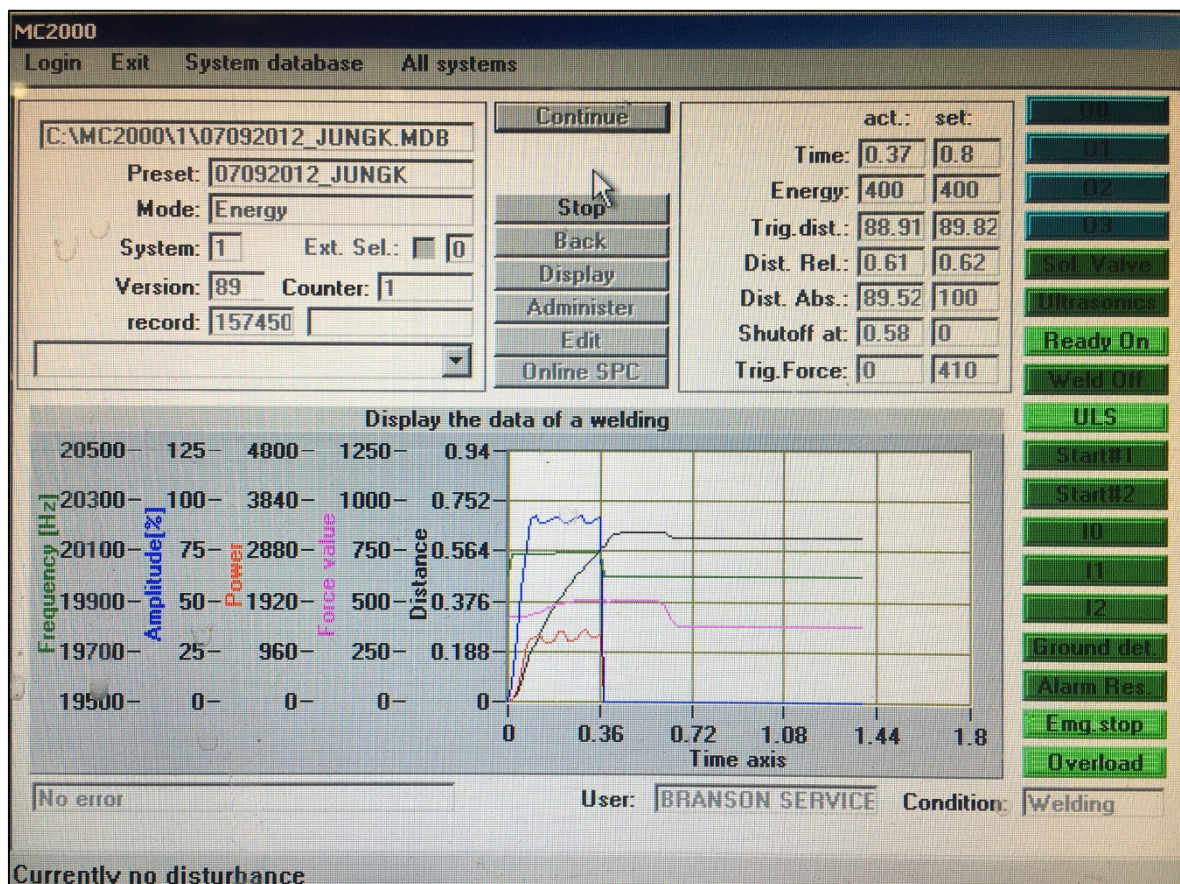
11.4 Optimalizace II – režim energie

Změna režimu byla jediná možnost, jak se vyhnout rozbitému lineárnímu enkóderu. Z režimů, které nejsou závislé na dráze, zbývalo vybrat mezi režimem výkonu, energie, a času. Podle podrobného popisu v kapitole 3.5 pro naše využití bylo nejvhodnější použít nastavení Energie. Jak bylo v téže kapitole zmíněno, výsledky svařování jsou z hlediska pevnosti shodné. Energie se počítá jako výkon za čas. V závislosti změny výkonu v průběhu svařování může být hodnota energie vyčerpána předčasně.

Energie

Nastavení počáteční hodnoty energie je zvoleno s ohledem na zkušenost práce s materiálem, 400 J. Hodnota byla v průběhu několika přenastavení optimalizována obdobným způsobem, jako se u předchozí optimalizace ladila dráha.

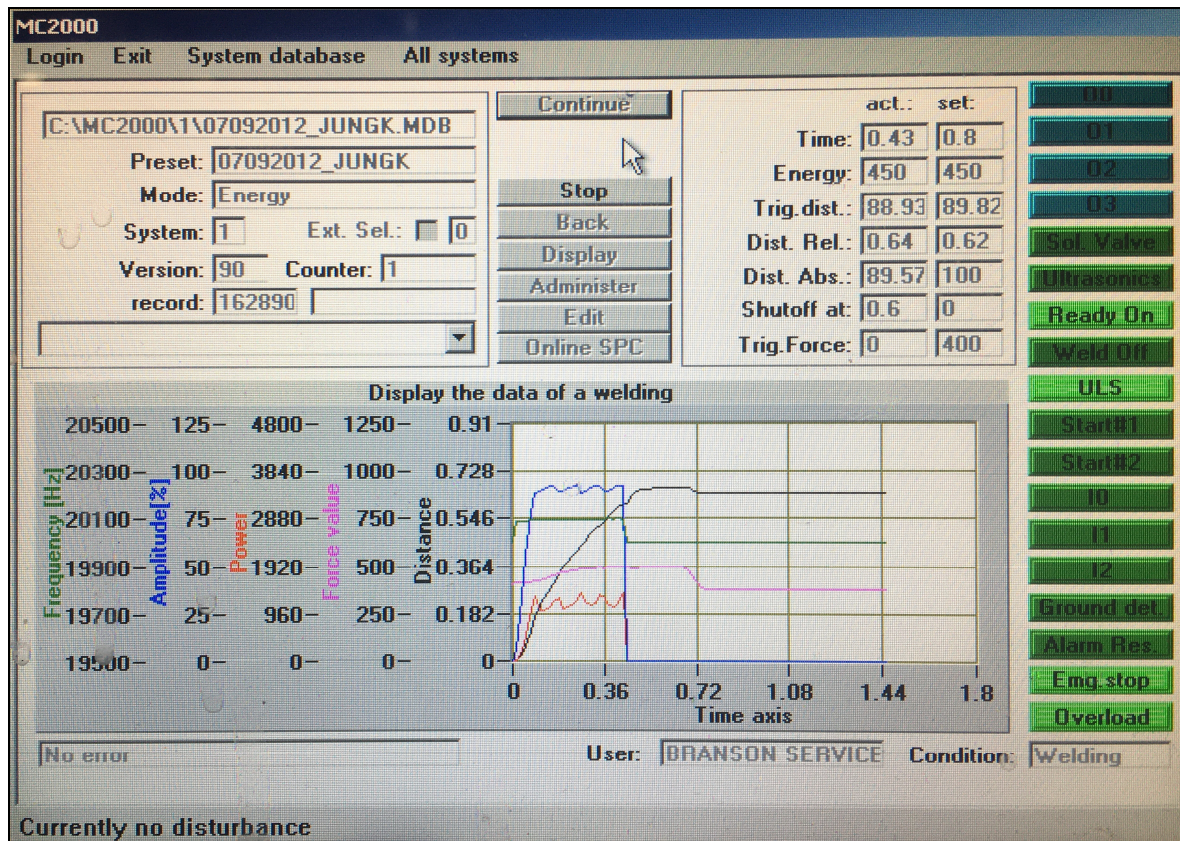
V režimu Energy je to jediný parametr, který pružně ovlivňuje kvalitu a pevnost svaru.



Obr. 54: Grafický výstup ze svářečky, verze 89

Na první pohled je na Obr. 54 vidět zkrácení svařovacího času. Ostatní křivky jsou v porovnání s předchozím režimem tvarově podobné.

11.5 Výsledný stav – režim energie



Obr. 55: Grafický výstup ze svářečky, verze 90

Popis Obr. 55:

Zleva – Frekvence (Frequency – zelená) konstantní průběh po dobu svařování, Amplituda (Amplitude – modrá) stabilní mezi 85-95 %, výkon (Power – oranžová) velmi pomalý rostoucí trend, síla (Force value – růžová) průběžný nárůst během svařování a i po ukončení svařování, potom plynulý pokles na nastavenou hodnotu 400 N, relativní dráha (Distance – černá) zhruba lineární růst během svařování a i po ukončení svařování.

11.6 Hodnocení optimalizací

Počet potřebných verzí pro optimalizaci u svařovacího režimu Relativní dráhy bylo zapotřebí celkem pět, pro optimalizaci u svařovacího režimu za použití vizuální kontroly grafu stačila pouze jedna.

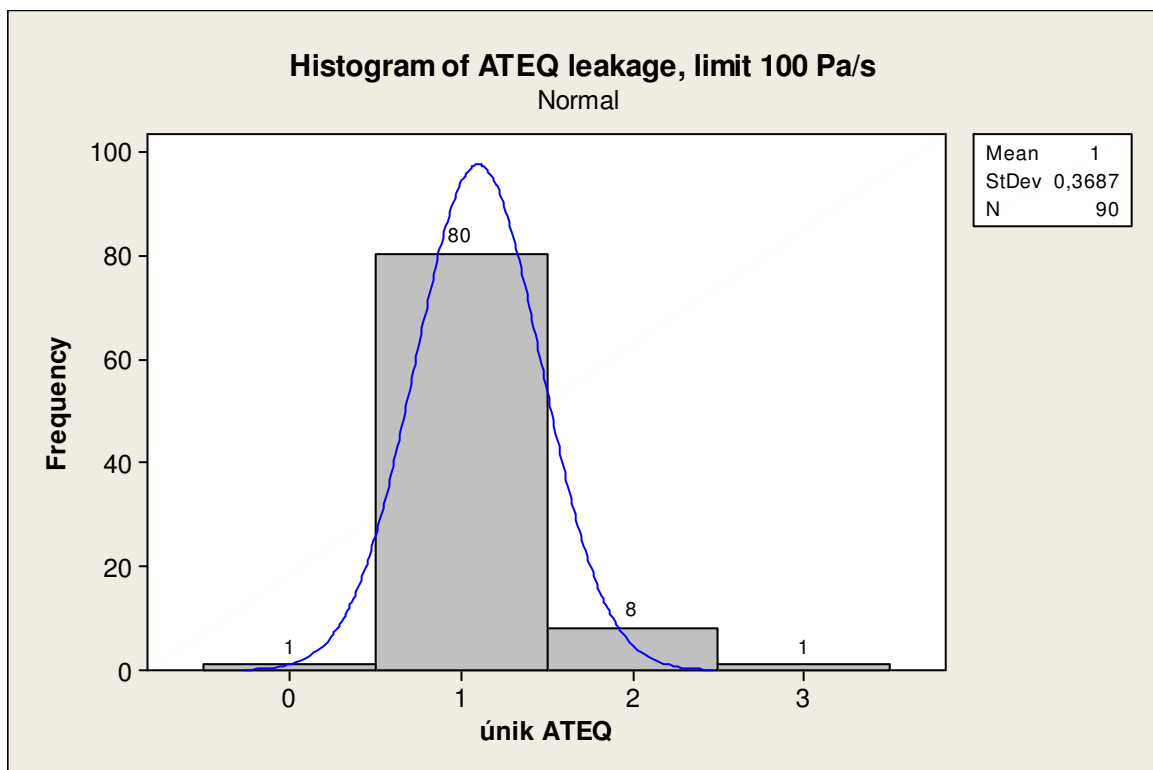
Tímto se ověřila účinnost vizuální „tabulky“ (příloha P IV), jak postupovat při změně rychle a efektivně. Navíc se osvědčila i napříč svařovacími režimy.

12 STATISTICKÉ HODNOCENÍ A MĚŘENÍ

Vývoj a stálost po optimalizaci parametrů svařičky jsou denně sledovány pomocí kvalitativních KPI ukazatelů a vyhodnocovány týdně. Pro zvýšení spolehlivosti měřených dat a jejich vypovídající hodnotě se provádí vždy MSA (Measurement System Analysis), která slouží k určení spolehlivosti měřicího zařízení nezávisle na operátorech nebo měřených vzorcích. Jelikož byla i při první optimalizaci provedena změna technologického postupu svařování, změny musí být evidovány do životopisu dílu a sledovány z dlouhodobého hlediska kvůli udržení standardu v automotive výrobě a její legislativě. Pro účely ověření provedených změn je nutné ověřit i deklarované funkční parametry, mezi nimi je i pevnost svaru. Všechny jednotlivé analýzy jsou zpracovány v dostupném softwaru Minitab na základě naměřených hodnot, pro dlouhodobý test těsnosti vybraných 10 % vzorků z každého týdne, pro test pevnosti jsou vybrány náhodné zmetky jako vzorky z různých časových období.

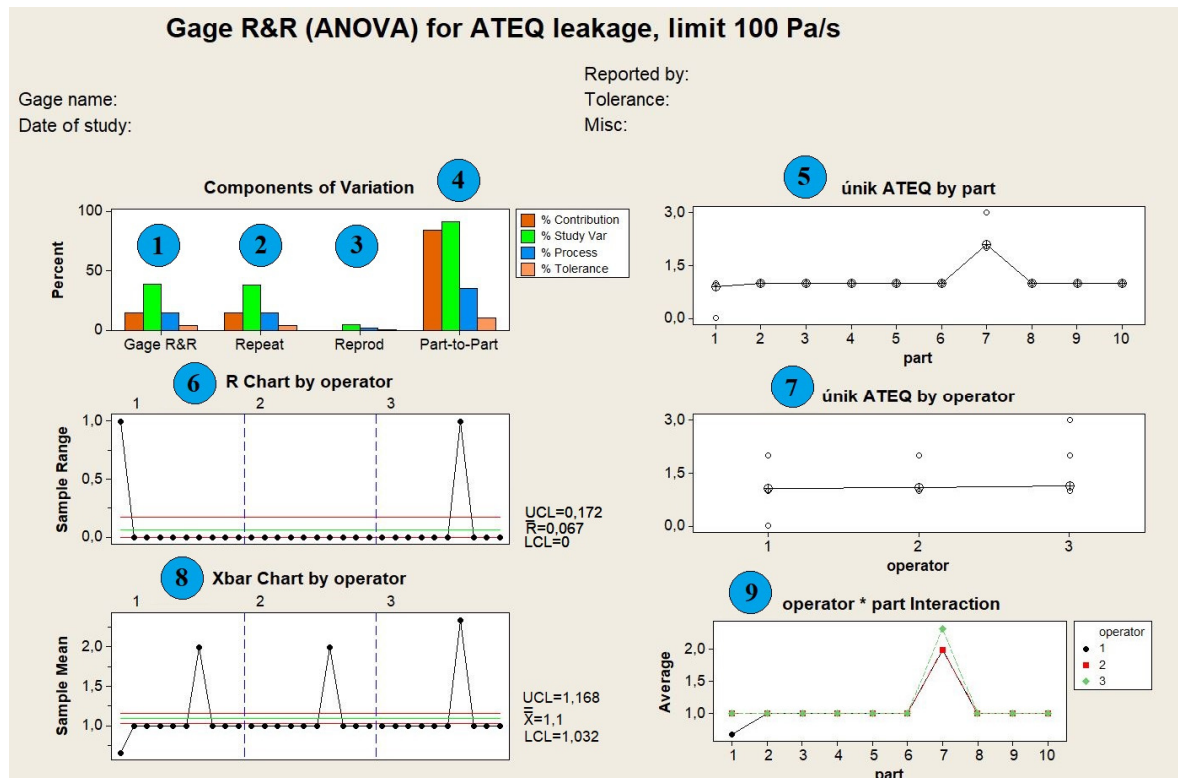
12.1 Těsnost – krátkodobá analýza

Krátkodobá analýza v provedení R&R Studie obsahuje 10 kusů, 3 měření třemi operátory.



Obr. 56: MSA Gage R&R Study - Histogram

Histogram na Obr. 56 vyjadřuje normální rozdělení naměřených dat pro 90 měření. Hodnoty úniku jsou v rozmezí 0 až 3 Pa·s⁻¹ s největší četností pro hodnotu 1 Pa·s⁻¹.



Obr. 57: MSA Gage R&R Study - ANOVA

Popis Obr. 57:Graf Components of Variation:

- 1 – Gage R&R vyjadřuje analýzu rozptylů. S klesající hodnotou klesá i variabilita.
 2, 3 – vyjádření jednotlivých složek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti vzhledem k 4 – Part to Part. Part to Part musí být výrazně vyšší než ostatní podskupiny.

5 – Graf únik ATEQ by part: porovnání vzorků a zobrazení rozptylu hodnot

Zde vidíme 10 vzorků a distribuci měření. Vzorek 7 dosahuje nejvyšší hodnotu úniku. Každý rozptyl pro daný vzorek by měl být co nejmenší, tzn. malý rozptyl měření mezi operátory.

6 – Graf R Chart by operator: zobrazení rozptylu jednotlivých operátorů

Operátoři 1 a 3 měli problém měřit shodně vzhledem ke svým měřením (hodnoty nad UCL).

7 – Graf únik ATEQ by operator: Box-Plot pro vyjádření měření operátorů

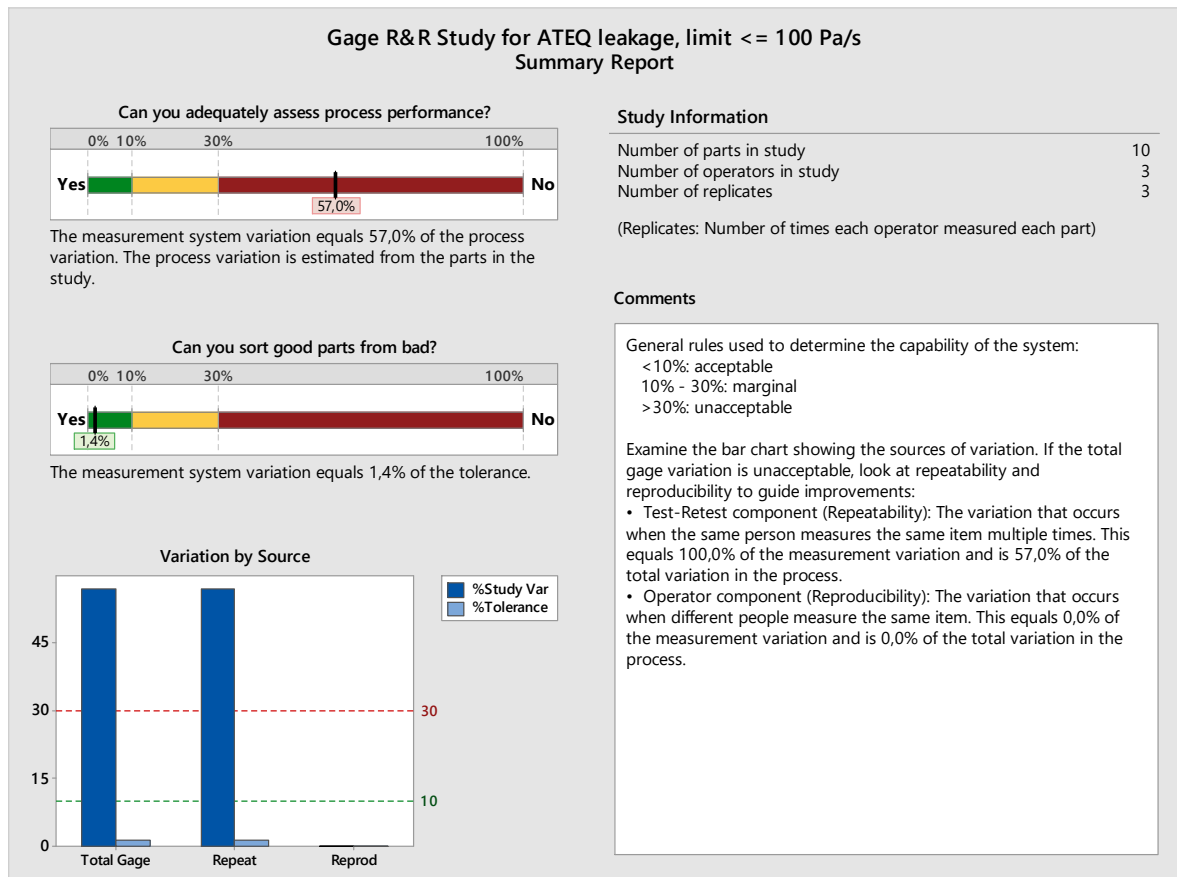
Všichni operátoři dosáhli velmi obdobného mediánu – přímka je téměř rovná.

8 – Graf Xbar chart by operator: průměrná hodnota jednotlivých vzorků

Všichni operátoři dosáhli hodnot v limitech a potvrdili vysokou reprodukovatelnost.

9 – Graf part * operator Interaction: vztah mezi operátorem a vzorkem

Křivky operátorů by měly být přibližně stejné, výsledek je bez patrných odchylek.



Obr. 58: MSA Gage R&R Study – Summary Report

Výkon procesu přesahuje povolenou hranici 30 % (vyznačených 57 %) a není tak možné ho zhodnotit jako přijatelný. Z tohoto důvodu postoupíme k druhému grafu, který rozlišuje, zda je možné třídít dobré a špatné kusy. Z hlediska tolerance měřicího systému variace procesu dosahuje výsledku 1,4 %, která už je akceptovatelná.

Proces tak vyšel jako **PODMÍNĚNĚ PŘIJATELNÝ**.

12.2 Těsnost – dlouhodobá analýza

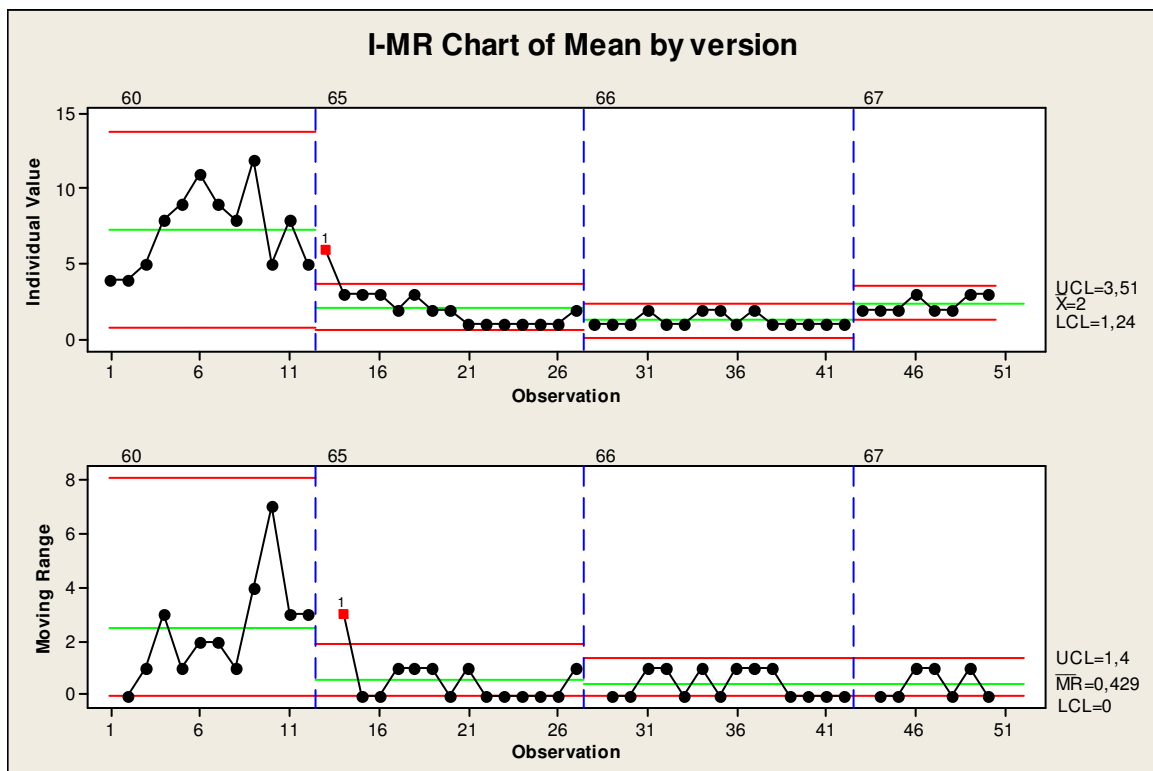
Dlouhodobá analýza proběhla za rok 2019, kdy se sledoval proces. Za týden se průměrně vyrobí 4200 kusů. Data se redukuje, z každého týdne se použilo 10 % naměřených hodnot, vybrán byl každý desátý vzorek. Bylo vygenerováno 50 hodnot (data ze všech týdnů výroby). Střední hodnoty a směrodatné odchylky byly zpracovány v I-MR grafu. I-MR graf slouží k vizuálnímu posouzení stability výrobního procesu.

V týdnech 51 a 52 výroba neprobíhala, provoz byl omezen v předvánočním čase.

Tabulka 1 – Dlouhodobá analýza roku 2019 – směrodatné odchytky, stř. hodnoty a FPY

týden (KW)	Střední hodnota	Směrodatní odchytky	počet vzorků N	zmetky	průchodost FPY		
	[Pa/s]	[Pa/s]	[ks]	[ks]	[%]		
před optimalizací	01	4	10	409	59	85,57%	
	02	4	12	416	72	82,69%	
	03	5	11	428	78	81,78%	
	04	8	13	422	68	83,89%	
	05	9	15	419	56	86,63%	
	06	11	19	421	62	85,27%	
	07	9	16	418	58	86,12%	
	08	8	16	421	70	83,37%	
	09	12	19	426	57	86,62%	
	10	5	10	422	54	87,20%	
	11	8	14	424	57	86,56%	
Optimalizace I	12	5	10	424	54	87,26%	
	13	6	12	428	20	95,33%	
	14	4	6	419	6	98,57%	
(verze 65)	15	3	2	429	3	99,30%	
	16	4	6	418	3	99,28%	
	17	2	4	411	4	99,03%	
	18	3	3	428	4	99,07%	
	19	2	1	430	4	99,07%	
	20	2	2	426	0	100,00%	
	21	1	1	425	6	98,59%	
	22	1	2	426	7	98,36%	
	23	1	1	417	3	99,28%	
	24	1	1	415	6	98,55%	
změna šarže	25	1	1	427	5	98,83%	
	26	1	1	427	1	99,77%	
	27	2	2	420	11	97,38%	
	28	1	1	426	2	99,53%	
	29	1	3	423	1	99,76%	
	30	1	2	417	4	99,04%	
	31	2	2	434	5	98,85%	
(verze 66)	32	1	1	423	0	100,00%	
	33	1	1	434	4	99,08%	
	34	2	3	429	3	99,30%	
	35	2	3	433	3	99,31%	
	36	1	2	432	2	99,54%	
	37	2	4	433	4	99,08%	
	38	1	1	429	3	99,30%	
	39	1	3	417	3	99,28%	
	40	1	1	418	5	98,80%	
	41	1	1	420	10	97,62%	
změna šarže	42	1	2	416	0	100,00%	
	43	2	3	428	2	99,53%	
	44	2	3	429	2	99,53%	
	45	2	3	415	2	99,52%	
	(verze 67)	46	3	6	427	1	99,77%
		47	2	2	423	1	99,76%
		48	2	3	426	2	99,53%
49		3	6	411	3	99,27%	
bez výroby	50	3	6	432	2	99,54%	
	51	*	*	0	*		
	52	*	*	0	*		

Data z Tabulky 1 byla analyzována pomocí I-MR grafu, viz Obr. 61 a Obr. 62. Jednotlivé hodnoty jsou rozděleny vertikálně čísly 60 – 67, které značí nastavené verze programu v průběhu týdnů, viz kapitola 11 na str. 72. Od počátku roku verze 60 byly výsledky měření těsnosti nestabilní, v 13. týdnu (červený bod) došlo k optimalizaci parametrů, a tak až od 14. týdne je možno soubor statisticky hodnotit.

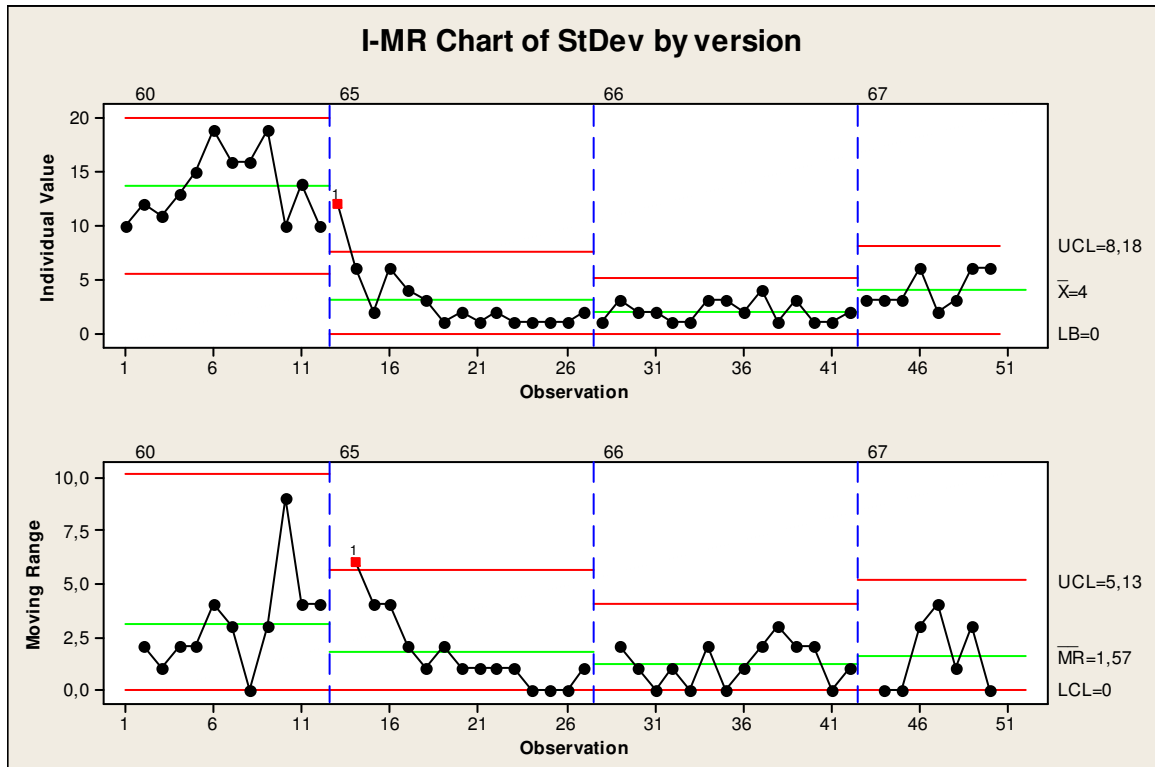


Obr. 59: Dlouhodobá analýza, I-MR graf středních hodnot

Popis Obr. 61:

Graf Individual Value: Střední hodnota vyznačena zelenou přímkou postupně klesá a přibližuje se hodnotě úniku $0 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, zároveň se oblast mezi LCL a UCL zužuje. Znakem stabilního procesu je linearita střední hodnoty. V našem případě se mění závisle s variantou nastavení. Na konci roku dosahuje rozdílu jen necelé tři jednotky. Týden 13 je mimo regulační meze – došlo k optimalizaci, od týdne 14 jsou už data výrazně stabilnější.

Graf Moving Range: Graf se směrodatnými odchylkami vykazuje opět jednu výchytku v týdnu 13, kdy probíhala optimalizace. Zdola je soubor omezen hodnotou $\text{LCL} = 0 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, shora je soubor omezen hodnotou $\text{UCL} = 128 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ danou rozsahem měřidla. Měření dle předchozího grafu vykazují střední hodnotu nejčastěji pod $4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$.

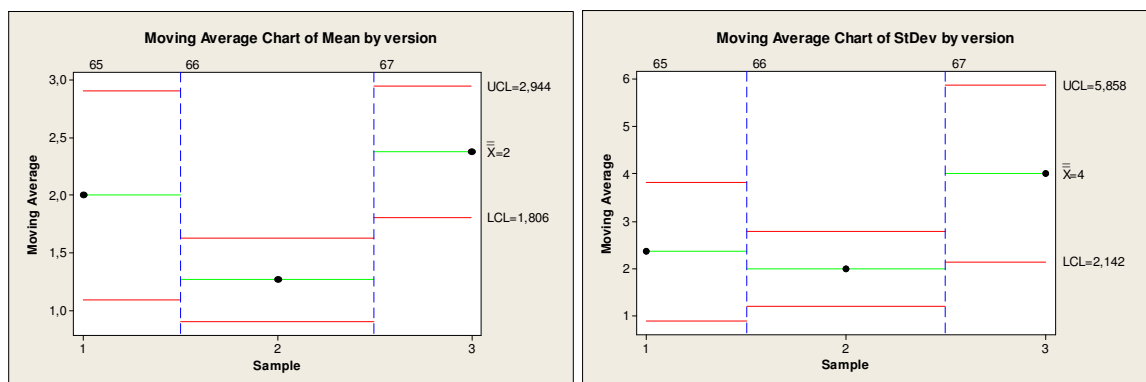


Obr. 60: Dlouhodobá analýza, I-MR graf směrodatných odchylek

Popis Obr. 62:

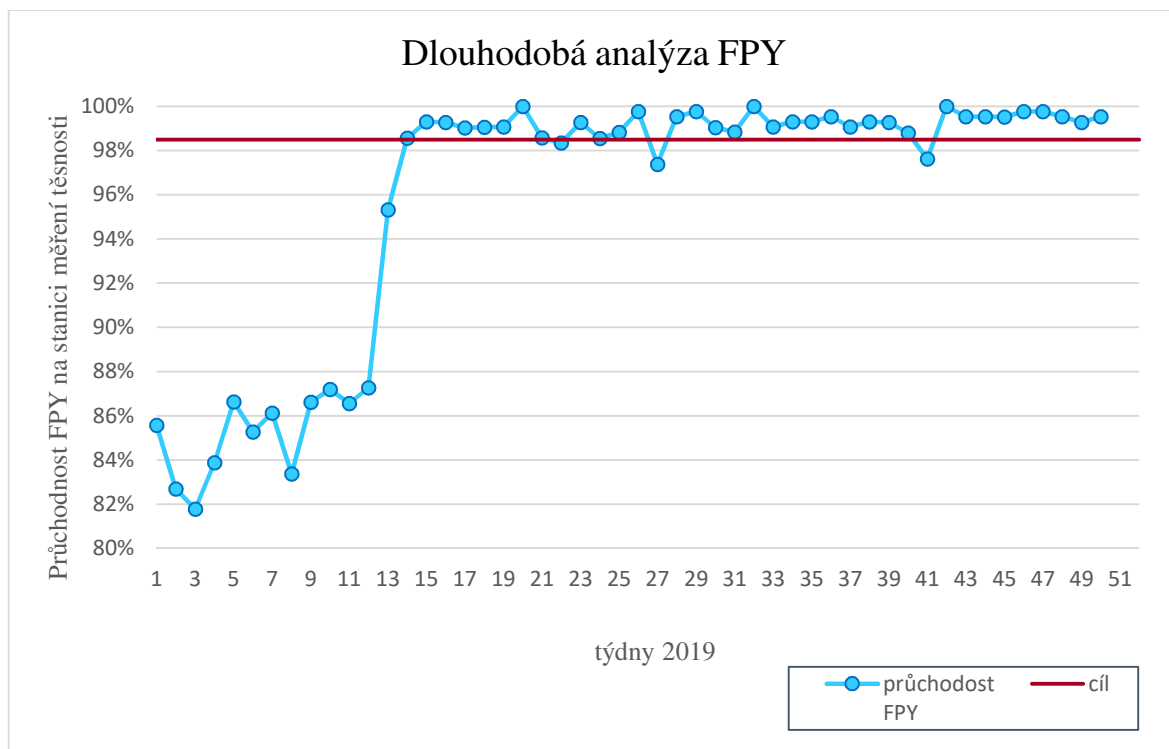
Vývoj křivek je obdobný jako u středních hodnot za celý rok. Střední hodnoty jsou kolísavější.

Období po optimalizaci je statisticky hodnoceno klouzavým průměrem za každé období na Obr. 61. Grafy se mohou zdát jako nestabilní, důležité je měřítko svislé úniku, kde je horní mez limitována únikem $20 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$. Naměřené hodnoty nepřesahují střední hodnotu více než $3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ a střední odchylka nepřekračuje $6 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$. Obě hodnoty jsou tak hluboce pod povolenou mezí. Klouzavý průměr je vhodný pro jednoduché odhalení trendu.



Obr. 61: Dlouhodobá analýza, klouzavý průměr

Poslední graf znázorňuje vývoj průchodnosti FPY v roce 2019. Cíl je nastaven na 98,5 %.



Obr. 62: Dlouhodobá analýza, FPY ukazatel

Ukazatel průchodnosti na poprvé (FPY) vykazuje v první části roku nestabilitu výsledků a příležitostní propady. Od týdne 13 a provedené stabilizace udržuje linearitu s drobnými výchyly. Proces se začalo dařit udržet v požadované průchodnosti na stanici těsnosti nad 98,5 %. Měření těsnosti se spolu s dalšími stanicemi podílí na celkové průchodnosti 97 % a samotná těsnost je nastavena na vyšší nároky.

Týdny 27 a 42 jsou pod hranicí z důvodu změny šarže a nutné změny nastavení svářečky. Hodnoty jsou sice pod limitem 98,5 %, ale celková průchodnost linky není ohrožena.

Do konce výrobního týdne 50 je vidět už zcela stabilní dosažené výsledky s průchodností kolem 99,5 %. Data v grafu jsou zapsána také v Tabulce 1 na předcházející straně.

V prvním měsíci roku 2020 došlo k druhé optimalizaci a změně svařovacího režimu. Druhá optimalizace nezasahuje do dlouhodobé analýzy pro rok 2019.

Po nápravě a odstranění příčin nebo jakémkoliv jiném zásahu by mělo znovu dojít ke shromáždění dat, analýze a statistickému hodnocení procesu.

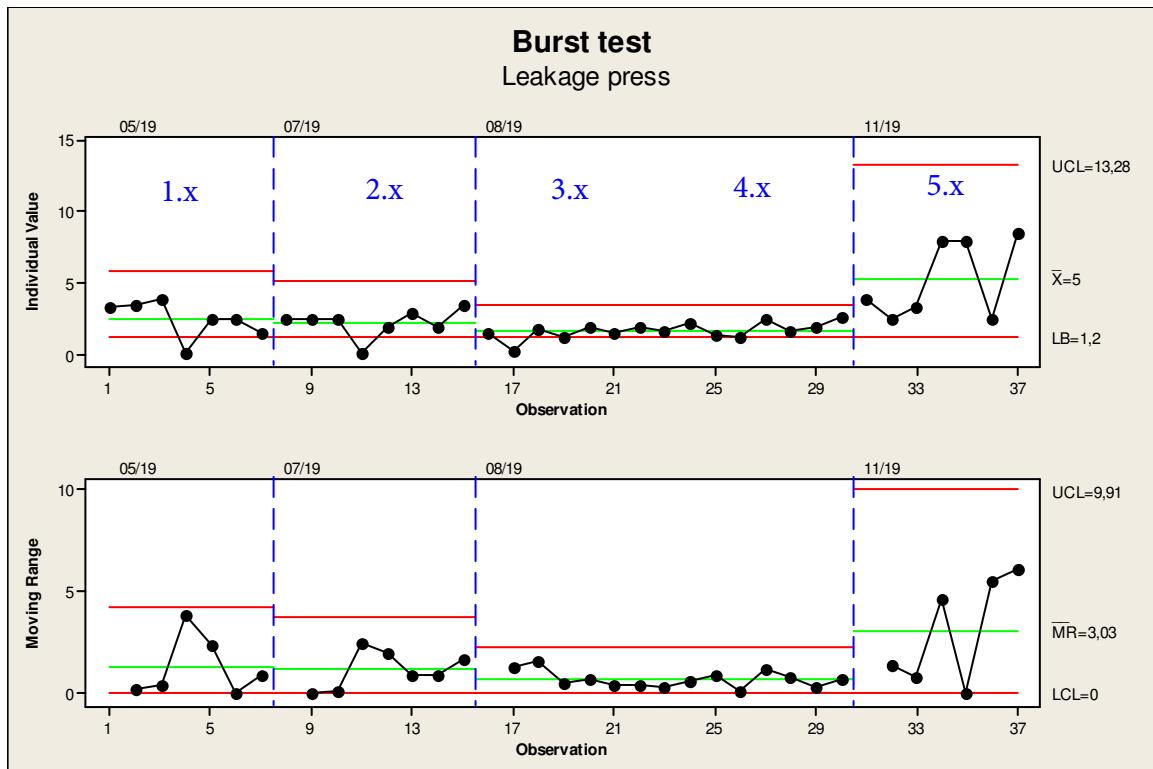
12.3 Měření pevnosti spoje

Burst test odhaluje minimální tlak, při kterém začíná být vzorek netěsný. Patří mezi destrukční zkoušky. Celkem bylo měřeno 37 zmetků z pěti období a o 4 různých šarží.

Tabulka 2 – Soubor naměřených dat (Burst test) ze dne 4.3.2020

Date	Sample	No.	Leak- pressure [Bar]	Destruction pressure [Bar]	Batch	Mode
4.3.2020	1.1	1	3,3	6,8	05/19	Collapse
	1.2	2	3,5	7,3	05/19	Collapse
	1.3	3	3,9	7,0	05/19	Collapse
	1.4	4	0,1	3,6	05/19	Collapse
	1.5	5	2,4	7,9	05/19	Collapse
	1.6	6	2,4	7,9	05/19	Collapse
	1.7	7	1,5	*	05/19	Collapse
	2.1	8	2,5	7,3	07/19	Collapse
	2.2	9	2,5	6,9	07/19	Collapse
	2.3	10	2,4	7,4	07/19	Collapse
	2.4	11	0,0	*	07/19	Collapse
	2.5	12	1,9	7,6	07/19	Collapse
	2.6	13	2,8	8,4	07/19	Collapse
	2.7	14	1,9	8,8	07/19	Collapse
	2.8	15	3,5	8,5	07/19	Collapse
	3.1	16	1,5	7,9	08/19	Collapse
	3.2	17	0,2	7,1	08/19	Collapse
	3.3	18	1,7	7,4	08/19	Collapse
	3.4	19	1,2	6,4	08/19	Collapse
	3.5	20	1,9	8,9	08/19	Collapse
	3.6	21	1,5	8,0	08/19	Collapse
	3.7	22	1,9	8,5	08/19	Collapse
	4.1	23	1,6	8,9	08/19	Energy
	4.2	24	2,2	8,6	08/19	Energy
	4.3	25	1,3	8,6	08/19	Energy
	4.4	26	1,2	8,1	08/19	Energy
	4.5	27	2,4	8,2	08/19	Energy
	4.6	28	1,6	8,2	08/19	Energy
	4.7	29	1,9	7,9	08/19	Energy
	4.8	30	2,6	8,0	08/19	Energy
	5.1	31	3,9	8,2	11/19	Energy
	5.2	32	2,5	8,0	11/19	Energy
	5.3	33	3,3	8,1	11/19	Energy
	5.4	34	7,9	7,9	11/19	Energy
	5.5	35	7,9	7,9	11/19	Energy
	5.6	36	2,5	8,3	11/19	Energy
	5.7	37	8,5	8,5	11/19	Energy

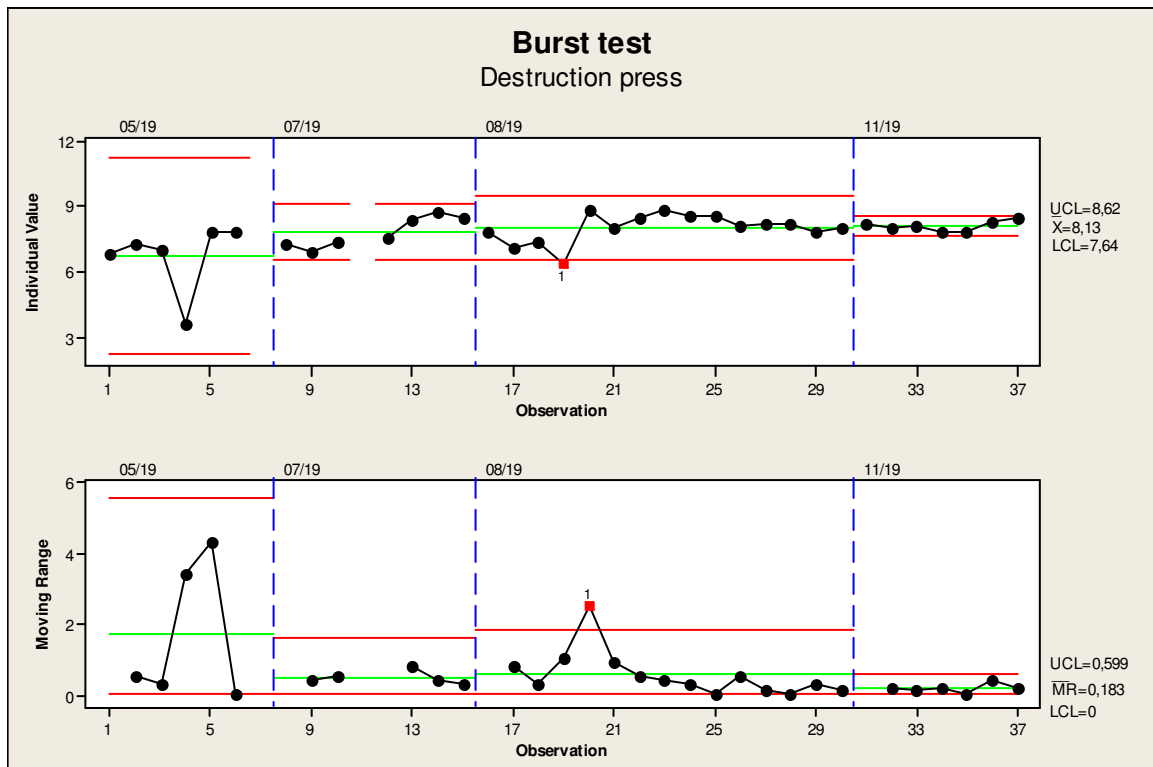
Naměřená data byla zpracována do I-MR grafů, které slouží k zobrazení chování procesu:



Obr. 63: I-MR chart ze zkoušky Burst test – Leakage press

Na vzorcích ze 4 různých materiálových šarží byla provedena zkouška pomocí Burst testu (hydraulická zkouška úniku). Prvních 22 vzorků bylo svařeno režimem relativní dráhy (Collapse), zbylých 15 bylo svařeno při režimu energie (Energy).

U horního grafu *Individual Value* je dolní hranice povolena na $1,2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ (LB = čtyřnásobek maxima jmenovitého tlaku), který je daný povahou zkoušky pro plastové materiály při teplotě do $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Přechod mezi jednotlivými šaržemi vypadal vcelku nadějně, že se v průběhu měsíců proces stabilizuje, až po poslední šarži 11/19. Ačkoliv změna svařovacího režimu zřejmě nezpůsobuje ustálení úniku tlaku, alespoň se zvýšila průměrná hodnota z přibližně $1,5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ na $5,21 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ a výsledky tak nejsou na hranici povolené hodnoty.



Obr. 64: I-MR chart ze zkoušky Burst test – Destruction press

Stejně vzorky byly na závěr testu těsnosti podrobeny destrukční zkoušce (hydraulická zkouška pevnosti). Destrukční tlak se v průběhu několika šarží (řádově měsíců) zlepšil ve smyslu vyšší opakovatelnosti. Prvních 22 měření zahrnuje vzorky z doby nastavení svářečky na režim relativní dráhy (Collapse) a posledních 15 je z nastavení režimu energie (Energy).

Zřetelně je z horního grafu *Individual Value* viditelné, jak se po změně režimu nastavení svářečky ustálila pevnost svaru a jak výrazně se zmenšil rozdíl mezi horní a dolní mezí (UCL a LCL). Prázdná místa 7 a 11 v grafu (vzorky 1.7 a 2.4) znamenají, že únik kapaliny byl tak velký, že se nepodařilo zkušební vzorek natlakovat až na tlak destrukční. Režim Energie byl z hlediska pevnosti svaru vyhodnocen pouze na dvou šaržích, ale dle stability procesu lze do budoucna predikovat s vyšší opakovatelností pevnosti než u režimu Relativní dráhy Collapse.

Červené body značí hodnoty s větší odchylkou než USL (LSL) nad povolenou regulační mez. Jeden testovací vzorek tedy nedosahoval hodnot jako jemu podobné vzorky. Jelikož se ve všech případech pro Burst test jednalo o zkušební vzorky, které se při testování v lince projeví jako netěsné přes svar, dopadl výsledek nad očekávání, když jen jeden výsledek dosáhl pevnosti svaru nižší, než byla povolená mez LCL.

ZÁVĚR

Předkládaná diplomová práce se zabývá ultrazvukovým svařováním ručně montovaného produktu z termoplastu PBT GF30, který slouží jako motor pro spínání ventilů v oblasti automobilu, konkrétně pro rozvod vzduchu v dopravních prostředcích.

U svařovaného výrobku *motor actuator* docházelo nárazově k velkým problémům svařování a důsledkem byla netěsnost. Výroba byla vcelku nová, příčina byla neznámá, ke změnám v nastavení ani v procesu nedocházelo, ale přesto se čas od času začal proces jevit jako nestabilní s vysokou mírou výpadků. Netěsné kusy nelze opravit, a tak musí být zlikvidovány, čímž rostou vícenásobky firmy. Navíc kvalitativní ukazatel FPY (průchodnosti výrobků na poprvé), který je zavedený ve firmě, procentuálně klesá pod povolený limit. Pro automobilový výrobek se běžně zavádí průchodnost nad 97 % a tento standard je potřeba rozšířit i pro sledované problémové výrobky, kde počáteční hodnoty průchodnosti dosahovaly kolem 70 %.

Ve společnosti se dbá na kvalitní rozbor a analýzu. Dle zavedených postupů byla i pro tento proces navržena metodika DMAIC, která se člení podle jednotlivých písmen na 5 fází. Jmenovitě se jedná v překladu o definici (D = define), měření (M = measure), analýzu (A = analyse), zlepšení procesu (I = improve) a řízení změn procesu (C = control).

Během první fáze definice bylo cílem definovat problém. Souhrnně se jednalo o testovací linku pro produkt *motor actuator*, projevuje se netěsností a vyskytuje se nepravidelně. Všechny dostupné informace byly shrnuty v diagramu „rybí kosti“ – Ishikawa. Definovaný cíl byl stanoven jako požadavek na zvýšení KPI ukazatele průchodnosti FPY na standardní hodnotu 97 %.

Ishikawa diagram díky své členitosti jednoznačně definuje problémy. Největší vliv na netěsnost měl materiál a čistota nástrojů. V závislosti na kvalitě materiálu se mění požadavky na svařování. První zjištěný problém byla kvalita svařované hrany na předem vstříkovaných dílech – hrana musí být bez povrchových vad a také neobsahovat žádné stopy po mazivu, které se během montáže používá. Druhý problém činila celková čistota ve svařovacím zařízení. Během svařování dochází ke zvýšení výskytu prachových nečistot, které je potřeba pravidelně uklízet. Oba tyto problémy lze řídit (navrženo ve fázi C) pomocí pravidelného úklidu a zvýšení dbalosti při manipulaci materiálu.

Největší zjištěný problém vyžadující další analýzu byla kvalita dodávaného surového materiálu, která se projevila napříč výrobními šaržemi jako nestabilní.

Druhá fáze metodiky – měření – měla přinést odpovědi na otázky ohledně měření. Měřit se mělo pomocí kvalitativního ukazatele FPY. Za pomoci statistiky se měly provádět analýzy krátkodobé i dlouhodobé. Měřené veličiny byly netěsnost (únik) pomocí zařízení ATEQ přímo v testovací lince a pevnost svaru v interní laboratoři. Data se měla automaticky ukládat do příslušného počítače.

Fáze analýzy proběhla z krátkodobého hlediska bez problému. Měření MSA prokazující správnost měřicího systému proběhla s hodnocením procesu jako podmíněně přijatelný. MSA analýza se zakládá na reprodukovatelnosti měření, které má stanovené počty. V případě této diplomové práce se jednalo o 10 zkušebních vzorků testovaných třikrát třemi osobami, celkem tak šlo o 90 naměřených hodnot pro 10 vzorků. Měření MSA se provádělo po optimalizaci. S dlouhodobou analýzou měření těsnosti se pojí optimalizace svařovacích parametrů. Na optimalizaci parametrů a výslednou změnu režimu svařování navazuje měření pevnosti svaru.

(Ne)stabilita materiálu se projevovala spolu se změnou výrobní šarže, kterou dodal externí dodavatel. Ačkoliv bylo chemické složení shodné s předcházející šarží, zřejmě změna množství nebo orientace skelných vláken ve svařované hraně vedla ke vzniku komplikací. Úprava procesu vstřikování a designu svaru jsou finančně i časově příliš nákladné, a tak bylo nutné proces ladit vždy přímo ve výrobní lince pomocí změny svařovacích parametrů ultrazvukové svářečky.

K dosažení stabilních výsledků svařování vedla úprava parametrů dle návodu a školení. Od 13. týdne se povedlo zlepšit ukazatel FPY a také snížit střední hodnotu úniku po svařování. V průběhu třech dodaných šarží materiálu s odlišnou kvalitou svarové hrany došlo k vytvoření návodu, jak postupovat při změnách. Krátce po zavedení a zaškolení návodu pro svařovací režim relativní dráhy (Collapse) selhal lineární enkodér, který slouží k odměřování vzdálenosti. Jelikož díl nebylo možné opravit nebo objednat náhradní, bylo nutné přeprogramovat celou ultrazvukovou svářečku na jiný režim, který se nenastavuje na vzdálenost.

Zvolený režim Energie se obejde bez odměřování vzdálenosti, neboť vstupním parametrem je dosažení energie při svařování. Jako startovní hodnota bylo použito 400 J, kterých se dosahovalo u předcházejícího režimu. Bylo potřeba provést optimalizaci znovu. Znalost

„správného“ svařování podle vizuální pomůcky významně urychlilo nastavení parametrů v novém režimu.

Fáze zlepšení procesu současně vyžadovala aktualizaci a kontrolu dokumentů pro předkládané svařování. Nová rizika, která by mohla přinést změna svařovacího režimu, vyžadovala mimo jiné analýzu měření pevnosti svaru. Během kontroly pevnosti svaru se projevila zvýšená odolnost za režimu svařování energie oproti předchozímu režimu relativní dráhy. Minimální požadavek navrženého designu měl dosahovat čtyřnásobek jmenovitého tlaku v používaném obvodu (stanoveno interně), tj. 4 x 0,3 bar. Testované vzorky svařené na režim energie dosahovaly stabilních hodnot těsně pod hranicí 8 bar, a to se jednalo o zmetkové kusy vyřazené z důvodu netěsnosti z výrobní linky.

Z hlediska dlouhodobé analýzy těsnosti výrobků bylo požadavkem zvýšit ukazatel průchodnosti FPY. Ačkoliv během zkoumaného roku proběhlo měření na 46 týdnech z důvodu celozávodní dovolené, výpadku ukládání dat a omezenému provozu v období přelomu roku, lze považovat cíl za splněný. Od první optimalizace v týdnu 13 lze sledovat významné snížení kolísání kvalitativního ukazatele a jeho navýšení. Ve dvou týdnech je viditelný pokles na hranici 97,6 %, kdy došlo k najetí výroby na novou šarži materiálu. Okamžitě po přenastavení a úpravu parametrů se hodnoty průchodnosti vrátily do požadovaných 98,5 % a více.

Výsledkem práce je tedy optimalizace procesu pro dva režimy nastavení ultrazvukové svářečky a zároveň porovnání kvality těsnosti spojů a průchodnosti na poprvé. Současně jsou z dlouhodobého hlediska vyhodnoceny parametry pomocí metody DMAIC, které nepochybně ovlivňují výsledek ultrazvukového svařování stejného výrobku. Jsou jimi kvalita materiálu a množství skleněných vláken ve svařované hraně. Rozdíly mezi jednotlivými dávkami dodávaného materiálu se projevují při stejných parametrech svařování, které je tak nutné kontrolovat a případně aktualizovat s každou novou šarží dodaného materiálu. Jako kontrola se provádí pravidelný zápis při zahájení výrobní zakázky.

Teoretická část by měla pojmout vše zjištěné z dostupných zdrojů. Praktická část diplomové práce se soustředí na konkrétní plastový materiál PBT s 30 % skelných vláken a nastavení konkrétní ultrazvukové svářečky. V případě vizuálního výstupu svařovacího zařízení by mohly být výsledky aplikovány i pro další zařízení, o materiálu toto nelze tvrdit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Firemní materiály IMI International, s.r.o., IMI Precision Engineering
- [2] BĚHÁLEK, Luboš. MŠMT. *Polymery* [online]. 2016. Praha: publi.cz, 2016 [cit. 2020-01-22]. ISBN 978-80-88058-68-7. Číslo projektu: CZ.1.07/1.1.00/44.0012. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [3] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [4] JÜTTNEROVÁ, Sandra. Ultrasonografie. *Fyzika ultrazvuku* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2015, 2015 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: http://www.jtar-chitekt.cz/fyzika_ultrazvuku.html
- [5] MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie: Advanced methods of material removal. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-709-9430-4.
- [6] MARHOULOVÁ, Dagmar. *Japonské systémy řízení*. Praha: Svoboda, 1989. *Ekonomie a společnost* (Svoboda). ISBN 80-205-0033-2.
- [7] PATHAM, Bhaskar a Peter H. FOSS. *Thermoplastic Vibration Welding: Review of Process Phenomenology and Processing–Structure–Property Interrelationships* [online]. Danbury: SPE-Inspiring Plastics Professionals, 2010, 22 s. DOI 10.1002/pen.21784 [cit. 2019-11-11]. Dostupné také z: <https://online-library.wiley.com/doi/pdf/10.1002/pen.21784>. Technická zpráva. POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE. Vedoucí práce Bhaskar Patham.
- [8] ŠIMONOVSKÝ, Václav. Princip a bezpečnost sonografie, možnosti a limitace metody. *Ultrazvuk & Sonografie* [online]. Příbram: Václav Šimonovský, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk-simonovsky.cz/sonografie.html>
- [9] ŠVEHLA, Štefan a Zdenko FIGURA. *Ultrazvuk v technologii*. Bratislava: Alfa, 1984, 521 s. Edícia elektrotechnickej literatúry. ISBN -.
- [10] TŘEŠŇÁK, Michal. *Technologie spojování plastových dílů s důrazem na ultrazvukové svaření*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Pavel Švanda.

- [11] AUTODESK. *Dynamics that Affect the Shrinkage of Injection Molded Parts* [online]. USA: Autodesk, 2019 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/injection-molding/shrinkage-dynamics>
- [12] DUKANE INTELLIGENT ASSEMBLY SOLUTIONS. *Guide to Ultrasonic Plastics Assembly* [online]. Illinois, 2011, 118 s. [cit. 2019-11-11]. Dostupné také z: <https://www.ducane.com/us/>. Part No. 403-536-02.
- [13] *Lean Six Sigma* [online]. Praha: Copiright Lean Six Sigma, 2020 [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/>
- [14] MEGATECH. *Heating and Air Conditioning* [online]. Tewksbury: Megatech Corporation®, 2019 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.megatechcorp.com/hvac>
- [15] *Navrhování experimentů: Design of Experiment (DOE)* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017 [cit. 2020-03-01]. Dostupné také z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/CI059/DOE.pdf>
- [16] PBT vyztužený skelnými vlákny: TECADUR PBT GF30 natural. *Vysokovýkonné plasty* [online]. Dobřany: Ensinger, 2019, 2020 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/cs-cz/polotovary/plast/tecadur-pbt-gf30-natural#/product-technical-detail-collapse-item-0-lvl-1>
- [17] *Průmyslové inženýrství* [online]. Olomouc: Průmyslové inženýrství, 2017 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/>
- [18] Příklad ATEQ F620. *Automatické měření kvality ATEQ: těsnost, průtoky* [online]. Brno: Ateq Sp. z o.o, 2019, 2013 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <http://ateq.cz/produkty/detektor-netesnosti-f620/>
- [19] *Sociální síť pro business* [online]. Delaware: Managementmania.com, 2016 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs>. ISSN: 2327-3658.
- [20] TICONA GMBH. *Ultrasonic welding and assembly of engineering plastics: Calculation.Designs.Applications* [online]. 7. Kelsterbach: Ticona, 2004, 28 s. [cit. 2019-11-11]. Dostupné také z: http://www-eng.lbl.gov/~shuman/NEXT/MATERIALS&COMPONENTS/HV/UW_PE.pdf

- [21] Ultrazvukové vlnění. *WikiSkripta* [online]. Praha: MŠMT, 2019, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Ultrazvukov%C3%A9_vln%C4%9Bn%C3%AD
- [22] *What is Ultrasonic Welding Process* [video]. Jaipur: Engineer's Academy, 2019 [cit. 2020-03-01].
Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=46YvT_9_YDM
- [23] *Wiretech* [online]. Brno: ByznysWeb.cz, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.wiretech.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly a jednotky:

$^{\circ}\text{C}$	stupně Celsia (teplota)
λ [mm]	vlnová délka
A [dB]	amplituda, energie ultrazvuku
A_m [dB]	okamžitá amplituda
bar	tlak
c [m.s ⁻¹]	rychlost šíření
C_{mk}	index způsobilosti stroje
C_{pk}	index způsobilosti procesu
dB	decibel, vyjádření akustické intenzity (doplňková jednotka)
f [Hz]	frekvence, počet opakování za 1 s
Hz	hertz (odvozená jednotka)
J	joule (odvozená jednotka)
m	metr
N	newton (odvozená jednotka)
Pa.s ⁻¹	průtok (odvozená jednotka)
t [s]	čas
t_0 [s]	vývoj vibrační amplitudy v čase = 0 (počátek)
t_w [s]	vývoj vibrační amplitudy v čase svařování (konec)
T [s]	perioda, doba jedné otočky
V	Volt (odvozená jednotka)
y [mm]	výchylka

Zkratky:

DMAIC	(Define (definice), Measure (měření), Analyze (analýza), Improve (zlepšení), Control (kontrola)) metodika Six Sigma na řízení procesu
EPP	expandovaný polypropylen
EU	Evropská unie
FIFO	(Firs In, First Out) univerzální systém organizování pohybu materiálu
FPY	(First-Pass Yield) ukazatel kvality výroby – udává procento výrobků, které projde napoprvé výrobním procesem bez neshody
GMT	termoplasty vyztužené skleněnou rohoží
HF	(kabel High-Frequency) – vysokofrekvenční bipolární kabel
HVAC	(Heating, Ventilation and Air Conditioning) topení, větrání a klimatizace
I-MR	(Individual – Moving Range chart) zobrazení chování procesu
KPI	(Key Performance Indicator) ukazatele efektivity firmy (finance, průchodnost, efektivita výroby, scrap, dodávky materiálu, export výrobků,...)
ks	kus
MI	mechanický index
MSA	(Measurement System Analysis) analýza systému měření
LSL	(Lower Spec Limit) – dolní limit
PA	polyamid
PBT GF30	polybutylentereftalát s 30 % skelných vláken
PC	počítač
PE	polyetylen
PET	polyetylen tereftalát
PUR	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid

RoHS	(Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment) – omezení užívání nebezpečných látek v elektronických a elektrických zařízeních
SW	software
TI	tepelný index
USL	(Upper Spec Limit) horní limit
UZV	ultrazvuk
UZ	adjektivum ultrazvuku
VAC RMS	vstupní napětí, (Root Mean Square) kvadratický průměr hodnoty
ZM	základní materiál

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Frekvenční pásma zvuku [4]	12
Obr. 2: Popis vlnění [4].....	13
Obr. 3: Princip ultrazvukového svařování [12]	16
Obr. 4: Schéma ultrazvukové svářečky [12].....	18
Obr. 5: Ultrazvukové svařovací vlastnosti polymerů [12].....	20
Obr. 6: Kuželovitý vzor svarové plochy [20]	20
Obr. 7: Zkosený tvar svarové plochy [20]	21
Obr. 8: Tvar svarové plochy pro pevný spoj [20].....	21
Obr. 9: Mikrostruktura tepelně ovlivněných oblastí polymeru [7].....	22
Obr. 10: Svářečka BRANSON 2000mc net [1].....	24
Obr. 11: Uložení kusu v přípravku (hnízd) pod sonotrodou [1]	25
Obr. 12: Schéma lisu se sonotrodou BRANSON [1].....	26
Obr. 13: Pracovní obrazovka SW MC2000 [1]	27
Obr. 14: Elektromagnetický zámek [1].....	28
Obr. 15: Postup vložení kusu do hnízda [1].....	28
Obr. 16: Svařování kusu [1].....	29
Obr. 17: Postup vyjmutí kusu z hnízda [1]	29
Obr. 18: Režim detekce (Ground Detect) [1]	30
Obr. 19: Režim relativní dráhy (Collapse) [1].....	31
Obr. 20: Režim absolutní dráhy (Absolute) [1]	32
Obr. 21: Nastavení parametrů v SW MC2000 [1].....	33
Obr. 22: Ultrazvuková svařovací kompatibilita polymerů [12].....	37
Obr. 23: Vliv navlhavosti na svařovací čas [12].....	38
Obr. 24: IMI Precision Engineering motto [1]	42
Obr. 25: HVAC systém v osobním voze [14].....	44
Obr. 26: Montáž vzorku motor actuator [1].....	45
Obr. 27: Smontovaný vzorek motor actuator [1].....	45
Obr. 28: Umístění ventilů v hromadném dopravním prostředku [1]	46
Obr. 29: Měřicí zařízení ATEQ F620 [18]	47
Obr. 30: Test těsnosti v testovací lince [1]	48
Obr. 31: Nastavení programu 1 pro měření úniku ATEQ [1].....	48
Obr. 32: Průběh testování tlaku (nahore) a průběh měření úniku (dole) [1]	49

Obr. 33: Statistika výsledků měření ATEQ [1]	49
Obr. 34: Schéma bublinkového testu [1]	50
Obr. 35: Přípravek pro těsnost a pevnost [1]	50
Obr. 36: Destrukční zkouška	51
Obr. 37: DMAIC house – 4 pilíře [13]	53
Obr. 38: Metoda MSA (Measurement System Analysis) [13]	56
Obr. 39: MSA – detail požadavků pro studie [13].....	56
Obr. 40: Analýza způsobilosti procesu – běžný a ideální proces [13].....	57
Obr. 41: Složky KPI ukazatelů ve společnosti IMI Precision Engineering.....	58
Obr. 42: Histogram – ukázka [13]	59
Obr. 43: I-MR Chart – ukázka [13]	60
Obr. 44: Diagram Ishikawa pro analýzu netěsnosti [1]	65
Obr. 45: Bublinkový test – detail úniku svarem	66
Obr. 46: Bublinkový test – detail úniku u hřídele.....	66
Obr. 47: Detail poškození svařovací hrany těla vzorku motor actuator	67
Obr. 48: Sonotroda (vlevo); hnízdo, pevný přípravek (vpravo)	67
Obr. 49: Detail průhybu svařovací hrany těla vzorku motor actuator	68
Obr. 50: Vzorek motor actuator	69
Obr. 51: Grafický výstup ze svářečky, verze 61	71
Obr. 52: Detail výstupu ze svářečky, verze 61	72
Obr. 53: Grafický výstup ze svářečky, verze 65	74
Obr. 54: Grafický výstup ze svářečky, verze 89	75
Obr. 55: Grafický výstup ze svářečky, verze 90.....	76
Obr. 56: MSA Gage R&R Study - Histogram	77
Obr. 57: MSA Gage R&R Study - ANOVA	78
Obr. 58: MSA Gage R&R Study – Summary Report.....	79
Obr. 59: Dlouhodobá analýza, I-MR graf středních hodnot	81
Obr. 60: Dlouhodobá analýza, I-MR graf směrodatných odchylek.....	82
Obr. 61: Dlouhodobá analýza, klouzavý průměr	82
Obr. 62: Dlouhodobá analýza, FPY ukazatel	83
Obr. 63: I-MR chart ze zkoušky Burst test – Leakage press	85
Obr. 64: I-MR chart ze zkoušky Burst test – Destruction press	86

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Dlouhodobá analýza roku 2019.....	80
Tabulka 2 – Soubor naměřených dat (Burst test) ze dne 4.3.2020	84

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I (str. 24) – Branson information, Process Controller 2000mc net, dostupné z:

<https://www.yumpu.com/en/document/view/37356435/process-controller-2000mc-net>

PŘÍLOHA P II (str. 40) – materiálový list PBT GF30, dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/cs-cz/polotovary/plast/tecadur-pbt-gf30-natural#/product-technical-detail-collapse-item-0-lvl-1>

PŘÍLOHA P III (str. 47) – měřidlo ATEQ F620, dostupné z: <http://ateq.cz/produkty/detektor-netesnosti-f620/>

PŘÍLOHA P IV (str. 76) – vizuální „tabulka“, dokument autora práce

PŘÍLOHA P I: BRANSON - INFORMACE O SVÁŘEČCE

BRANSON information

Network-compatible system



Process Controller 2000mc net



System Controller 2000mc net with Power Supply 2000b and Welding Press 2000aemc

The well-established 2000mc process controller now has a successor: the 2000mc net. Both the hardware and the software offer modern, state-of-the-art technology. This can be recognised in features such as communication via network card (TC/IP), serial port USB and teleservice interface (either analogue or ISDN), as well as implementation of PlugandPlay components.

Combined with a welding press and digital power supply, it forms an ideal system for demanding welding tasks.

The software package of the controller, with firmware based on Windows 2000 Professional, offers striking features:

Simultaneous operation - The PC-based process controller has a multi-channel design and can control up to four welding systems simultaneously.

Data capture - In addition to controlling the joining process, the system immediately saves the data of every welding process as a file and displays it in graphic form.

Application flexibility - The parameters for the welding process (8 parameter sets per unit) can be exported, edited externally, and transferred to the power supply.

The hardware of controller 2000mc net matches the high standard set by the software:

Computer - Intel Pentium III/1 GHz Slot CPU, 256 MB RAM, 40 GB hard disk, external 56k modem, Ethernet LAN connection, floppy drive and CD-ROM, USB 1.1.

Input components - Integrated and dust-proof keyboard, with touchpad for cursor control.

Versions - The process controller can be supplied with or without integrated 6.4" LCD monitor (VGA). An industrial 12.1" LCD monitor (VGA) - also suitable for installation into a control cabinet - can be ordered optionally. It is also possible to connect any customary monitor, up to 17".

The modern equipment integrated into controller 2000mc net offers a wide range of special features and advantages to the user:

Digital technology - It has been implemented throughout, from the controller to the power supply. Thus it is not only possible to adapt all relevant machine and process parameters, but also provides high application flexibility and precise fine-tuning.

Graphic user interface and process display - This ensures easy operation, supported by graphic information.



Process Controller 2000mc net with Power Supply
Digital Compact DC

Optional Data Management with statistics package - The powerful access-based program has been designed for saving, evaluating and archiving welding data (online/offline), as well as for integration into company networks, easy data exchange and online support.

Selective deactivation of individual channels - An advantageous tool for editing parameters offline and servicing components.

Diverse process control options can be accessed:

Amplitude and Force Profiling - Both methods control the joining process, using presets determined by empirical knowledge. They indirectly ensure optimal welding conditions, leading to controlled melting in the welding zone.

In the case of **Amplitude Profiling** (pat.), the process controller reduces the amplitude of the horn after certain set values have been reached (welding time, distance, energy, peak power level), consequently reducing the required plastification energy during the residual time. Amplitude profiling is suited to amorphous thermoplastics.

In the case of **Force Profiling** welding usually commences with a high energy. Subsequently, after a preset time interval in the millisecond range, it is significantly reduced. The energy

being applied to the welding seam is thus lowered, which leads to controlled melting of plastic in the joint area. The force profile is recommended in the case of partially crystalline thermoplastics.

Energy Mode - Welding with preset energy level and adjustable threshold monitoring.

Time Mode - Welding with preset time and adjustable threshold monitoring.

Peak Power Mode - Welding with preset power level and adjustable threshold monitoring.

Metal Contact Mode - Welding until metal contact is achieved and adjustable hold time.

Collapse Distance Mode - The welding distance is only registered after a reference value - the preset trigger force - has been reached.

Absolute Distance Mode - The complete down travel of the fixing tool actuator is measured.

Optional Ramps - They optimise the force increase within the welding process.



Process Controller 2000mc net with external monitor and
Power Supply 2000b

BRANSON ULTRASCHALL · Waldstraße 53-55 · D-63128 Dietzenbach · Telefon (0 60 74) 497-0 · Telefax (0 60 74) 497-199
Internet: www.branson.de · E-mail: info@branson.de

CH Tel. (022) 3 04 83 40, Fax (022) 3 04 83 59 · DK Tel. (032) 51 32 33, Fax (032) 51 51 39 · E Tel. (93) 5 86 05 00, Fax Tel. (93) 5 88 22 58 · F Tel. (01) 41 80 25 50, Fax (01) 46 87 87 29
GB Tel. (01753) 486980, Fax (01753) 486995 · I Tel.(02) 66 08 17.1, Fax (02) 66 08 17 97 · NL Tel. (035) 6 09 81 11, Fax (035) 6 09 81 20

05/04 / Subject to change without notice

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PBT GF30



TECADUR PBT GF30 natural - Sklad polotovarů

Chemické označení

PBT (Polybutylene terephthalat)

Barva

šedo-bílá neprůhledný

Hustota

1.46 g/cm³

Plníva

skelná vlákna

Hlavní funkce

- vysoká rozměrová stabilita
- velmi vysoká pevnost
- dobrá chemická odolnost
- velmi vysoká tuhost
- dobrá svařitelnost a pojivost
- neodolný proti horké vodě nad 60 ° C

Cílený průmysl

- elektronika
- strojní inženýrství
- automobilový průmysl

Mechanické vlastnosti	parametr	hodnota	jednotka	norma	komentář
Modul pružnosti (tahová zkouška)	1mm/min	3400	MPa	DIN EN ISO 527-2	1)
Pevnost v tahu	50mm/min	46	MPa	DIN EN ISO 527-2	
Pevnost v tahu	50mm/min	46	MPa	DIN EN ISO 527-2	
Prodloužení	50mm/min	5	%	DIN EN ISO 527-2	
Prodloužení v momentě prasknutí	50mm/min	6	%	DIN EN ISO 527-2	
Pevnost v ohybu	2mm/min, 10 N	78	MPa	DIN EN ISO 178	2)
Moduly elasticity (zkouška ohybem)	2mm/min, 10 N	3400	MPa	DIN EN ISO 178	
Síla komprese	1% / 2% / 5% 5mm/min, 10 N	20/38/76	MPa	EN ISO 604	3)
Moduly komprese	5mm/min, 10 N	2800	MPa	EN ISO 604	4)
Nárazová síla (Charpy)	max. 7.5J	37	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eU	5)
Tvrdost vrubu kuličky		115	MPa	ISO 2039-1	6)
Teplotní vlastnosti	parametr	hodnota	jednotka	norma	komentář
Teplota tání		224	°C	DIN EN ISO 11357	
Provozní teplota	short term	200	°C		1)
Provozní teplota	long term	110	°C		
Teplotní roztažnost (CLTE)	23-60°C, long.	8	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2	
Teplotní roztažnost (CLTE)	23-100°C, long.	10	10 ⁻⁵ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1;2	
Specifické teplo		1.2	J/(g*K)	ISO 22007-4:2008	
Teplotní vodivost		0.33	W/(K*m)	ISO 22007-4:2008	
Elektrické vlastnosti	parametr	hodnota	jednotka	norma	komentář
Specifický povrchový odpor		10 ¹⁴	Ω	DIN IEC 60093	
Ostatní vlastnosti	parametr	hodnota	jednotka	norma	komentář
Absorbce vody	24h / 96h (23°C)	0.02 / 0.04	%	DIN EN ISO 62	1)
Odolnost vůči horké vodě		-	-		2)
Odolnost vůči povětrnostním vlivům		-	-		
Hořlavost (UL94)	corresponding to	HB		DIN IEC 60695-11-10;	3)

PŘÍLOHA P III: ATEQ F620 – INFORMACE O MĚŘIDLE

My testujeme, Vy vyrábíte

F620

MĚŘICÍ PŘÍSTROJ PRO ZKOUŠKY TĚSNOSTI TESTOVÁNÍ KVALITY SOUČÁSTÍ VE VÝROBĚ

Po 40 úspěšných letech a 100000 instalovaných měřicích přístrojích u více než 5000 zákazníků po celém světě přichází společnost ATEQ s další novou revoluční řadou měřicích přístrojů: **F620**

Nový elektronický modul, zcela nový měřicí modul pneumatických ventilů se snímači, nový design, nové možnosti řízení, nové příslušenství to vše bylo vyvinuto s ohledem na zlepšení kvality zkoušení součástí našich zákazníků

PŘEDEVŠÍM

- MAXIMÁLNÍ EFEKTIVITA ZKOUŠEK
- VELKÝ BAREVNÝ DISPLEJ, INTUITIVNÍ OVLÁDÁNÍ
- MNOŽSTVÍ KOMUNIKAČNÍCH PROTOKOLŮ



Aplikace

Automobilový průmysl, domácí spotřebiče, lékařské potřeby, letectví, balicí technika v potravinářství a kosmetice



ATEQ

F620

MĚŘICÍ PŘÍSTROJ PRO ZKOUŠKY TĚSNOSTI TESTOVÁNÍ KVALITY SOUČÁSTÍ VE VÝROBĚ

Hlavní charakteristiky

- Diferenční měření poklesu tlaku
- Velký rozsah měření poklesu tlaku (ΔP): 50Pa, 500Pa nebo 5000Pa
- Mechanický nebo elektronický regulátor od vakua do 20 bar
- 128 programů
- Možnost on line nastavení parametrů (přes USB port)
- Lokalizace menu do národních jazyků (Angličtina + místní jazyk)
- Pneumatická rychlospojka na čelním panelu pro práci v kalibračním režimu
- Uložení dat (výsledků měření) v interní paměti nebo USB disku

ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

- ROHS standard

MÓDY TESTOVÁNÍ

- ΔP (Pa, 1/10 Pa)
- $\Delta P/t$ (Pa/s, 1/10 Pa/s)
- Jednotky průtoku (ccm, mm³/s, cm³/s, cm³/min, cm³/h...)
- Test průchodnosti
- Test uzavřených dílů
- Nepřímý test
- A další, v závislosti na dané aplikaci

FLEXIBILNÍ FORMÁT KOMUNIKACE

- RS232: tisk, ModBus RTU
- Slave USB: supervize PC (programy Winatq300, Sesame)
- Master USB: přenos na USB klíč (parametry, výsledky, ...)
- Opce FieldBus: ProfiBus, DeviceNet, ProfiNet, Ethernet/IP, ModBus TCP

Charakteristiky měření

MĚŘENÍ POKLESU TLAKU		
ROZSAH	PŘESNOST *	MAXIMÁLNÍ ROZLIŠENÍ
0 - 50 Pa	$\pm(1.5\% \text{ Reading} + 0.5 \text{ Pa})$	0.1 Pa
0 - 500 Pa	$\pm(1\% \text{ Reading} + 1 \text{ Pa})$	0.1 Pa
0 - 5000 Pa	$\pm(1\% \text{ Reading} + 10 \text{ Pa})$	1 Pa

*Přesnost: linearity + opakovatelnost + hystereze

→ DALŠÍ PŘÍKLADEK



F670 19''3U CASE



F610 WATERPROOF CASE

ATEQ

ATEQ CZ, Mezírka 775/1, 602 00 Brno, Czech Republic
tel.: 00420 549210419, e-mail: info@ateq.cz, ateq.cz



Technická specifikace

Fyzicky	Hmotnost: 7kg Rozměry (VxŠxH) 250x150x360 mm
Ovládání	Barevný grafický displej s jednoduchým intuitivním menu pro snadné zadání parametrů testu Chytré tlačítko SMART KEY pro přiřazení zvolené funkce
Elektrický zdroj	24 V DC/2A nebo 100- 240 V AC/50W
Stlačený vstupní vzduch	ovládací tlak doporučeno 4-6 bar Vstupní tlak 1-2 bary vyšší než tlak testu Čistý a suchý vzduch Doporučeno aplikovat standard kvality dle ISO 8573-1
Teplota	Provozní teplota: + 5°C at + 45°C Skladovací teplota: 0°C at + 60°C




Opce

- 9 vstupů/5 výstupů kompatibilních s předchozí generací přístrojů S5
- 6 vstupů/6 výstupů 24V programovatelných pro externí automatizaci
- Elektronický regulátor (standard)
- Měření přetlak/vakuum jedním přístrojem
- Automatická kontrola kalibrace
- 2 pneumatické výstupy pro ovládání upínacího přípravku a značení
- Paměťová karta pro archivaci až 1mil výsledků

Příslušenství

- Jednoduchý dálkový ovladač TLC600 připojený přes kartu I/O
- Kompaktní dálkový ovladač TLC600 připojený přes master USB
- Ochrana proti přepisu dat pomocí USB klíče
- Y ventily ATEQ pro střídání měřících obvodů nebo externí odfuk
- Software Winatq300
- Kalibrované kontrolní trysky pro simulaci úniku
- Upínací konektory

PŘÍLOHA P IV: NASTAVOVACÍ TABULKA

Tvar grafu na svářečce BRANSON 2000mc net	co je potřeba udělat?
	<p><u>Collapse</u> zmenši relativní dráhu krok 0,03 mm v rozmezí 0,67-0,81 mm</p> <p><u>Energy</u> zmenši Energy krok 40 J v rozmezí 380 – 520 J</p>
	<p><u>Collapse</u> zvětši relativní dráhu krok 0,03 mm v rozmezí 0,67-0,81 mm</p> <p><u>Energy</u> zvětši Energy krok 40 J v rozmezí 380 – 520 J</p>
	<p>jakmile graf vypadá takto, počkej 10 kusů pro ověření, pak je vše OK proved' záznam</p> 