

Zlepšování v procesu pokovení

Bc. Romana Vítková

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zlepšováním kvality v procesu vakuového pokovení plastových výrobků. Teoretická část práce se věnuje zařízením pro tvorbu vakua, technologickým procesům a měření vakua. Dále jsou v ní popsány vady vznikající při vakuovém pokovení. V teoretické části jsou taktéž popsány nástroje kvality, které jsou využívány pro zlepšování.

V praktické části práce je provedena nejprve analýza současného stavu zmetkovitosti pokovených dílů a následně, za použití nástrojů pro zlepšování kvality, jsou navrženy kroky pro snížení zmetkovitosti. Součástí práce je taktéž vyhodnocení účinnosti zavedených opatření.

Klíčová slova: vakuové pokovení, nástroje pro zlepšování kvality, zmetkovitost, příčiny a opatření

ABSTRACT

The thesis deals with improving quality of process of vacuum metal coating of plastic products.

Its theoretical part focuses on an appliance for creating vacuum, technological processes and measuring vacuum. Also defects which arise during the process of coating are described here. Quality appliances used for improvement are also described in the theoretical part.

Its practical part deals with carrying out analysis of present state of wastage rate of coated spare parts. Then steps for lowering the wastage rate with using appliances for improving quality have been proposed.

Evaluation of effectiveness of implemented arrangements is an indivisible part of the thesis.

Keywords: vacuum metal coating, tools for improving quality, wastage rate, causation and taking preventive measures.

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, které mi poskytl během tvorby diplomové práce. Dále pak Ing. Jiřímu Jelínkovi za čas věnovaný při konzultacích a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORIE VAKUA	12
2 ZAŘÍZENÍ PRO TVORBU VAKUA	17
2.1 ROTAČNÍ VÝVĚVY	17
2.2 ROOTSOVA VÝVĚVA	20
2.3 DIFÚZNÍ VÝVĚVY.....	23
2.4 TURBOMOLEKULÁRNÍ VÝVĚVY.....	24
2.5 POLYCOLD.....	26
2.6 VENTILY.....	26
3 MĚŘENÍ VAKUA	29
3.1 VAKUOMETR S BURDONOVÝM PEREM.....	29
3.2 TERMOMĚRKA PIRANI	29
3.3 PENNING (IONIZAČNÍ MĚRKA SE STUDENOU KATODOU)	31
3.4 IONIZAČNÍ MĚRKA (BAYARDŮV – ALPERTŮV VAKUOMETR).....	32
3.5 BARATRON	33
4 TECHNOLOGICKÉ PROCESY VE VAKUU	35
4.1 ČISTÍCÍ VÝBOJE	35
4.2 NAPAŘOVÁNÍ HLINÍKU.....	36
4.3 NAPRAŠOVÁNÍ HLINÍKU	36
4.4 SROVNÁVÁNÍ NAPAŘOVÁNÍ A NAPRAŠOVÁNÍ HLINÍKU.....	37
4.5 NANÁŠENÍ PLASILU.....	37
5 VADY VZNIKAJÍCÍ PŘI VAKUOVÉM POKOVENÍ	39
6 POPIS NÁSTROJŮ POUŽÍVANÝCH PRO ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY	40
6.1 PARETŮV DIAGRAM	40
6.2 BRAINSTORMING	42
6.3 DIAGRAM PŘÍČIN A NÁSLEDKŮ	43
6.4 METODA 5X PROČ.....	44
6.5 METODA PDCA	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
7 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	49
8 PŘEDSTAVENÍ PODNIKU	50

8.1	HISTORIE	50
8.2	SOUČASNOST.....	50
8.2.1	Vstřikování plastů	50
8.2.2	Vakuové pokovování.....	51
8.2.3	Vakuové tvarování	51
9	DEFINOVÁNÍ PROBLÉMU	52
9.1	PŘEDSTAVENÍ POKOVENÉHO VÝROBKU	52
9.2	ANALÝZA NÁKLADŮ NA VADNÉ DÍLY	54
9.3	MAPA PROCESU S VYZNAČENÍM KRITICKÝCH MÍST	56
9.3.1	Příprava procesu lisování	57
9.3.2	Proces lisování	58
9.3.3	Příprava procesu pokovení	58
9.3.4	Proces pokovení	59
9.4	ANALÝZA VAD	60
10	ANALÝZA PŘÍČIN PROBLÉMU	62
10.1	STANOVENÍ HLAVNÍCH A VEDLEJŠÍCH PŘÍČIN PROBLÉMU	62
10.2	STANOVENÍ KOŘENOVÝCH PŘÍČIN	64
10.3	SESTAVENÍ PLÁNU OPATŘENÍ.....	67
10.4	ZHODNOCENÍ STAVU PO REALIZACI NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ	80
	ZÁVĚR	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK.....	87
	SEZNAM PŘÍLOH.....	88

ÚVOD

Vakuová zařízení jsou v současné době využívána v celé řadě technologických aplikací, v potravinářském průmyslu i při výzkumu. Zdroje vakua jsou naprosto nezbytné například pro nanášení či napařování tenkých vrstev na nejrůznější substráty (polovodiče, reflexní vrstvy na sklo, výroba speciálních zrcadel, tvorba vysoce odolných vrstev na řezné nástroje, pokovování plastů, aj.). Pokovování plastů je úzce spojeno s automobilovým průmyslem, kde na pokovený díl jsou vysoké kvalitativní požadavky.

Slovo kvalita je známo již z dob starověku, kdy se lidé začali zajímat, jak výrobky směřované na trhu dokáží posloužit. Obecně se kvalita výrobku týká zejména fyzikálních a chemických vlastností, avšak pro uspokojení zákazníka by měl být produkt maximálně užitečný.

Nejlepší firmy v daném odvětví dosahují vysoké kvality a také kvalitu svých produktů neustále zvyšují. V praxi se kvalita výrobků často zaměřuje na nevyhovující produkty se snahou tyto produkty snížit na minimum. Zmetkovitost je sledována a vyhodnocována za pomoci analytických nástrojů. Vadné výrobky neboli zmetky sice necharakterizují kvalitu, ale pouze umožňují organizaci znázornit vynaložené množství zbytečné práce a nákladů.

Zmetkovitost je jednou z hlavních forem plýtvání ve firmách. Většinou jsou neshodné výrobky objeveny až ve výrobním procesu, v horším případě až u zákazníka. Proto se firmy zaměřují na příčiny vad a jejich odstranění.

Na zmíněné téma se zaměřuje diplomová práce. Bude se týkat současného zhodnocení zmetkovitosti u vytipovaného dílu ve výrobním procesu ve společnosti Iriša v.d. a následně bude zmetkovost vyhodnocena pomocí analýz.

Cílem diplomové práce bude najít příčiny vzniku zmetkovitosti a odstranění jejich příčin. Tím se zvýší kvalita dílů a firma zároveň ušetří peníze vynaložené na výrobu zmetků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE VAKUA

Pokovování je druh povrchové úpravy, kde se kombinují výhody plastů a kovů. Výrobek získá jednak efektivní kovový lesk, ale i řadu dalších vlastností. Dochází ke zlepšení mechanických vlastností a tvarové stálosti, zmenší se navlhavost a dojde i ke zmenšení stárnutí polymeru.

Vakuum je označení pro stav uvnitř uzavřeného prostoru, který obsahuje plyny a páry, jejichž tlak je nižší než atmosférický.



Obr. 1: Magdeburské polokoule [1]

První zmínka o účincích vakua je z počátku 17. století. Byly to tzv. Magdeburské polokoule. Otto von Guericke (1602-1686) předváděl „sílu vakua“ tím způsobem, že vyčerpával ze dvou k sobě přiložených polokoulí vzduch a potom se je snažil od sebe odtrhnout osmi páry koní (obr.1).

Ve skutečnosti tlak vzduchu na zemském povrchu vytváří sílu 1 kg na 1 cm² plochy. Protože uvnitř polokoulí „nebyl vzduch“, na vnější povrch polokoulí působil tlak vzduchu. Povrch polokoulí byl velký, tak také síla, která stlačovala polokoule, tudíž koně

polokoule od sebe neodtrhli. Toto vysvětlení je velice jednoduché a slouží jen jako příklad. Technik by nad těmito výrazy a jednotkami upadal „do mrákot“.

U vakua je důležitý tlak. Atmosféra se skládá přibližně z 78% dusíku, 21% kyslíku a 1% ostatních plynů. Všechny tyto plyny jsou tvořeny molekulami a atomy. Molekuly se pohybují volně všemi směry v prostoru. Každá molekula má nějakou hmotnost a rychlost. Jestliže je plyn v uzavřeném prostoru, molekuly při svém pohybu narážejí na stěny prostoru a tím vlastně vytvářejí na stěnu tlak.

Základní jednotkou tlaku je Pascal (Pa). Je definován jako síla 1 Newtonu na plochu 1 m². Pro představu je to hmotnost 0,1 kg, působící na plochu 1 m². Další jednotkou je milibar (mbar). Atmosférický tlak je 100 000 Pa nebo 1 000 mbar.

Pro přepočítání platí 1 mbar = 100 Pa

Protože se budeme pohybovat v tlacích menších než atmosférický, bude hodnota klesat pod 100 000 Pa (1 000 mbar) a teoreticky k nule.

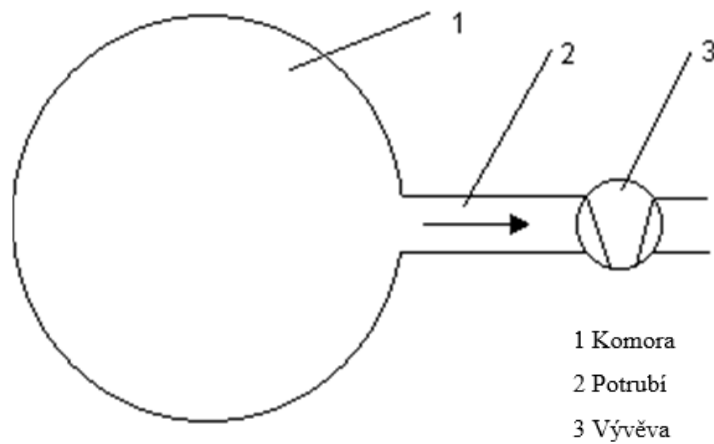
V běžné mluvě se vyskytují dva termíny - tlak a vakuum. Jestliže klesá tlak (od atmosférického k nule), současně lze říci, že stoupá vakuum (od atmosféry k nule). A naopak.

Nulový tlak takřka neexistuje, protože už jediná molekula v uzavřeném prostoru vytváří tlak tím, že působí svou hmotností a rychlostí na stěny uzavřeného prostoru. Nulový tlak by vznikl pouze při teplotě -273°C (0 K), kdy ustane pohyb atomů a molekul (všechno zmrzne).

V 1 m³ je při atmosférickém tlaku asi 2,7.10²⁵ molekul. V tomto prostoru je však ještě dostatek místa k volnému pohybu. Při něm se však molekuly mezi sebou srážejí a tím mění svoji dráhu. Kdyby se změřila vzdálenost od jedné srážky ke druhé, třetí atd. a vypočetla průměrná vzdálenost, došlo by se ke vzdálenosti, která se nazývá střední volná dráha molekuly. V atmosférickém tlaku je tato střední volná dráha 6.10⁻⁸ m (6 sto miliontin metru).

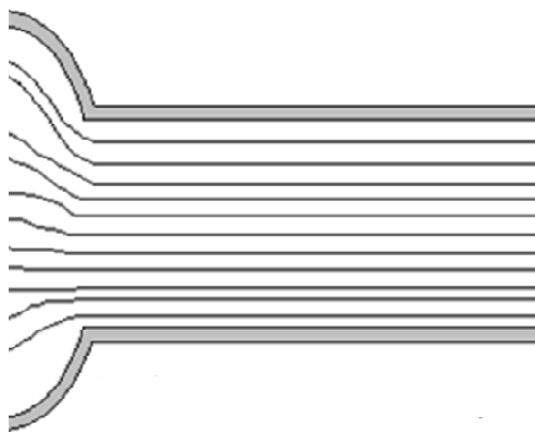
Vakuum rozdělujeme na tři pásma:

- Hrubé vakuum:



Obr. 2: Čerpání uzavřeného prostoru [2]

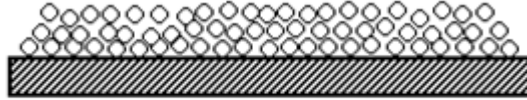
Na obr. 2 je znázorněno čerpání uzavřeného prostoru – zvon, recipient, přes potrubí nějakou vývěvou. Na počátku je ve zvonu atmosférický tlak 100 000 Pa (1 000 mbar). Po zapnutí vývěvy je vzduch přes potrubí odčerpáván do okolní atmosféry. Vzduch v potrubí protéká v tzv. proudnicích a tomuto proudění říkáme laminární proudění (obr.4).



Obr. 3: Laminární proudění [2]

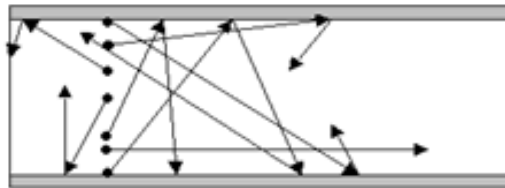
Ve zvonu se snižuje tlak a vzduch je čerpán z celého objemu zvonu. Po dosažení tlaku 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar) končí obor hrubého vakua. Střední volná dráha molekuly je asi 6cm, zaniká laminární proudění a na stěnách zvonu je

polymolekulární vrstva plynu (obr.4). Polymolekulární vrstvu plynu si lze představit jako několik vrstev míčků (molekul) na podlaze. Při tomto tlaku plyny přestávají vést teplo.



Obr. 4: Polymolekulární vrstva [2]

- Vysoké vakuum: Při dalším čerpání, bude ve zvonu ubývat molekul, až bude střední volná dráha delší než rozměr zvonu. Nebude docházet ke srážkám molekul mezi sebou, ale se stěnami zvonu. Také v potrubí se budou molekuly pohybovat od stěny ke stěně. Tomuto stavu říkáme molekulární proudění (obr.5).



Obr. 5: Molekulární proudění [2]

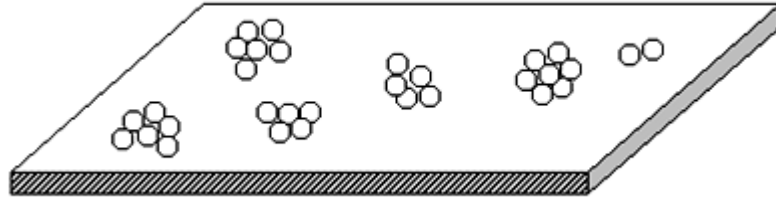
Vzduch je čerpán hlavně ze stěn zvonu, kde vzniká monomolekulární vrstva plynu (obr.6). Při tlaku 10^{-4} Pa (10^{-6} mbar) je střední volná dráha molekuly již asi 60m a vakuum se chová jako ideální tepelný izolant.



Obr. 6: Molekulární vrstva [2]

- Ultravakuum: U dalšího čerpání se snižuje tlak, prodlužuje střední volná dráha a vznikne neúplná monomolekulární vrstva plynu (obr.7). Na čistém povrchu jsou stále se zmenšující ostrůvky monomolekulární vrstvy plynu.

Takové vakuum se využívá v urychlovačích, rentgenových lampách a speciálních aparaturách pro výzkum.



Obr. 7: Neúplná monomolekulární vrstva [2]

U vysokého vakua se čerpá plyn z povrchu stěn zvonu. Pod mikroskopem vypadá povrch vyleštěného plechu velmi členitě. Ve skutečnosti 1m^2 vyleštěného plechu představuje až 30m^2 skutečné plochy. Při čerpání vysokého vakua vývěva odsaje ty molekuly, které spadnou do jejího sacího hrdla. Molekula se chová tak, že při svém pohybu prostorem zvonu při dopadu na stěnu zvonu předá část své tepelné energie stěně a na nějakou dobu na ní ulpí. Až opět nabere dostatečnou tepelnou energii, začne rychleji kmitat a uvolní se z povrchu do prostoru. To dělá tak dlouho, dokud nespadne do sacího hrdla vývěvy. Vývěva se chová jako past. Co do ní spadne, už nepustí zpět.

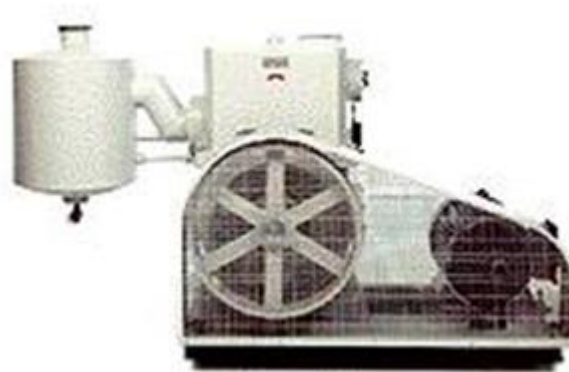
Negativně na vakuum působí především voda a vodní pára obsažená ve vzduchu. Již 1cm^3 vody přeměněný na vodní páru při tlaku $100\,000\text{Pa}$ ($1\,000\text{mbar}$), způsobí, že pára bude mít objem $1,25$ litrů. Zmenšíme-li tlak na 100Pa (1mbar), bude objem už $1,25\text{m}^3$ a při tlaku 10^{-1}Pa (10^{-3}mbar) neuvěřitelných 1250m^3 , což je objem rodinného domu. Při čerpání vlhkého vzduchu se podstatně prodlouží čerpací časy potřebné k dosažení požadovaného vakua.

2 ZAŘÍZENÍ PRO TVORBU VAKUA

Prostředkem k získávání vakua je vývěva, kterou lze v zásadě považovat za otvor o ploše S do prostoru s nižším tlakem. Připojíme-li nějaký systém s tlakem p_1 k jinému systému, kde je vakuum charakterizované tlakem p_2 , začnou otvorem mezi oběma systémy proudit molekuly oběma směry.

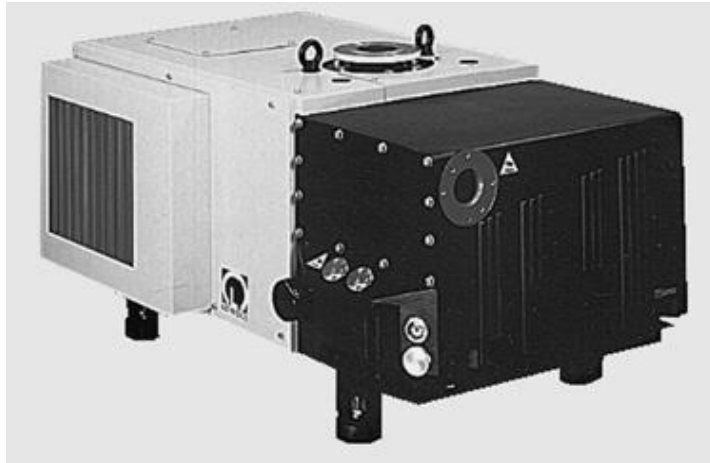
2.1 Rotační vývěvy

Rotační olejové vývěvy (obr.8 fa.Balzera, obr.9 fa.Leybold) jsou nejběžnější vývěvy pro oblast hrubého vakua, to je $100\,000\text{ Pa}$ ($1\,000\text{ mbar}$) až 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar).



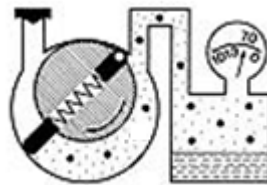
Obr. 8: Rotační olejová vývěva – Balzers [3]

Vyrábějí se od nejmenších výkonů $1\text{ m}^3/\text{hod}$ až po několik tisíc m^3/hod . Lopatková vývěva je nejpoužívanějším typem rotační olejové vývěvy. Ve válcové pracovní komoře je excentricky uložen rotor se dvěma nebo třemi lopatkami. Lopatky jsou v rotoru pohyblivě umístěny a vysunují se pomocí pružin nebo odstředivou silou. Rozdělují pracovní komoru na dvě nebo tři části, které při otáčení rotoru mění svůj objem a dochází tak k nasávání čerpaného plynu sacím hrdlem a k jeho stlačení na tlak o něco větší než atmosférický (výstupní). Výstupním ventilem pak takto stlačený plyn odejde z pracovní komory do atmosféry. Celý systém rotační vývěvy je mazán olejem, který plní tři základní funkce – maže, těsní a odvádí teplo.



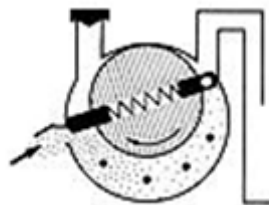
Obr. 9: Rotační olejová vývěva – Leybold [12]

Procesy probíhající během jedné otáčky rotoru:



Obr. 10: Výchozí poloha lopatek [3]

Výchozí poloha lopatek v komoře. Do pracovní komory proudí vzduch ze zvonu (obr.10).



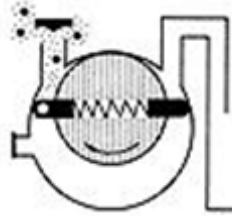
Obr. 11: Posun lopatky za otvor gasbalastu [3]

Lopatka posunula za otvor gasbalastu a do prostoru mezi lopatkami začal proudit vzduch z atmosféry - je mezi nimi nižší tlak (obr.11).



Obr. 12: Vytlačení vzduchu lopatkou [3]

Lopatka s tečkou vytlačuje větší množství vzduchu (ze zvonu + z gasbalastu), stlačovaný vzduch daleko dříve otvírá výfukový ventil (nedochází k prudkému stlačování) a tím nedochází ke kondenzaci vody.

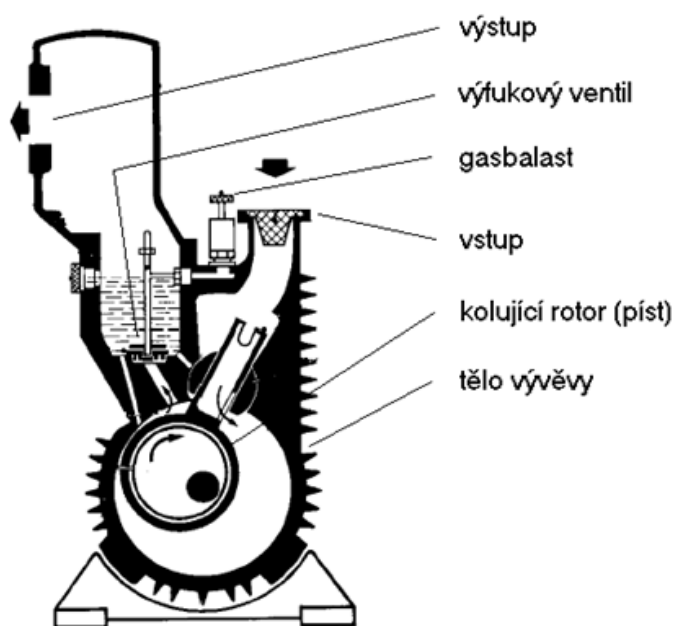


Obr. 13: Dokončení vytlačení vzduchu a vodní páry [3]

Lopatka dokončuje vytlačení vzduchu a vodní páry (obr.13).

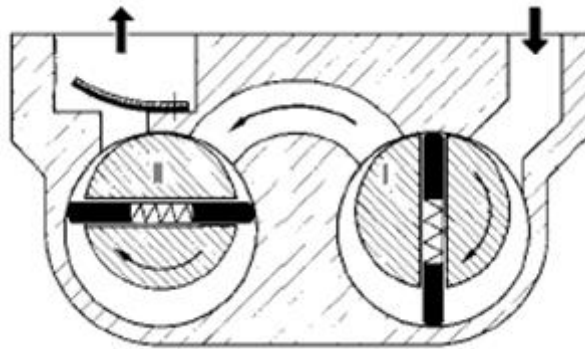
Dnes jsou všechny rotační olejové vývěvy vybaveny gasbalastem. Při otevřeném gasbalastu se snižuje mezní vakuum o jeden řád. V rotačních olejových vývěvách se používají pouze oleje doporučené výrobcem nebo jejich srovnatelné náhrady. Na vlastnostech oleje totiž závisí mezní tlak a životnost vývěvy.

Dalším používaným typem vývěv je vývěva s kolujícím rotorem (obr.14) nebo také Kiney. V této vývěvě obíhá v pracovní komoře excentricky uložený válcový rotor s čtyřhrannou trubicí, která je kyvně uložena v horní části komory. Je jí přiváděn nasávaný vzduch do pracovní komory. Odděluje také od sebe při pohybu rotoru část pracovní komory, v níž probíhá sání, od části, ve které dochází ke stlačování.



Obr. 14: Vývěva s kolujícím rotorem [3]

Oba typy vývěv se vyrábí jako jedno nebo dvoustupňové provedení (obr.15). První stupeň je vždy mechanicky větší než druhý, protože čerpá plyn s menším tlakem. Druhý stupeň čerpá stejné množství plynu, ale při větším tlaku.



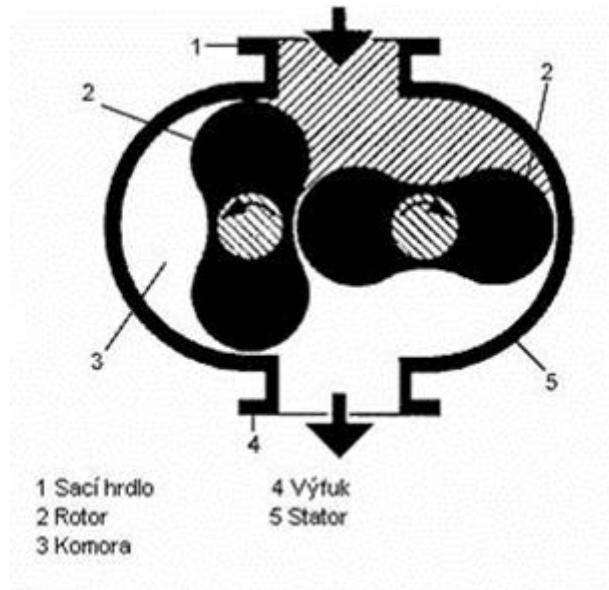
Obr. 15: Vývěva s kolujícím rotorem [3]

2.2 Rootsova vývěva

Rootsova vývěva (obr.16) je typ rotační vývěvy, která nemá v pracovním prostoru olej. Je to tzv. suchá vývěva. V pracovní komoře se proti sobě bezdotykově (navzájem i vůči stěnám pracovní komory) otáčejí dva rotory osmičkového průřezu. Vzhledem k tomu, že nedochází k mechanickému kontaktu, pracují tyto vývěvy při vysokých otáčkách (až 3 000 ot/min). Dosahují tím velkých čerpacích rychlostí při menších rozměrech. Aby bylo čerpání dostatečně účinné, musí být mezery mezi rotory navzájem a mezi rotory a stěnou co nejmenší (řádově 0,1 až 1,0 mm). Rotory jsou vně pracovní komory poháněny motorem přes převodovku, která zajišťuje vzájemnou polohu rotorů vůči sobě tak, aby se vzájemně mechanicky nedotkly.

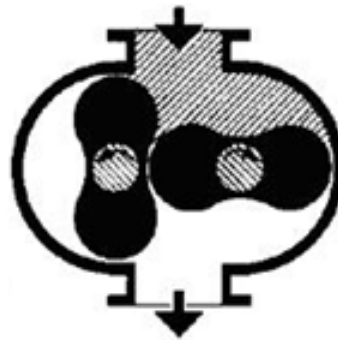


Obr. 16: Rootsova vývěva [12]



Obr. 17: Schématický řez Rootsovou vývěvou [3]

Popis jednotlivých kroků vlastního čerpání:



Obr. 18: Vzduch proudící nad rotory [3]

Ze zvonu do prostoru proudí vzduch nad rotory (obr.18).



Obr. 19: Uzavřený vzduch mezi stěnou a rotorem [3]

Otáčením rotoru se vzduch uzavře mezi stěnou pracovního prostoru a rotorem na pravé straně (obr.19).

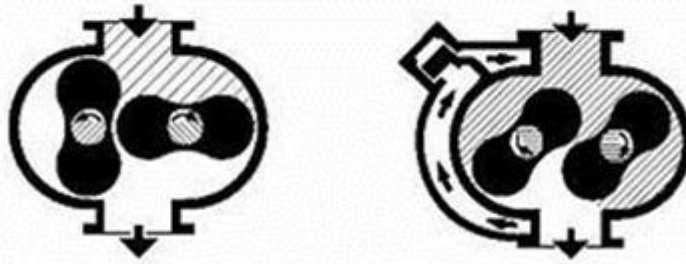


Obr. 20: Vytlačování vzduchu do výstupního otvoru [3]



Obr. 21: Vytlačování vzduchu do výstupního otvoru [3]

Dalším otáčením dochází k vytlačování vzduchu do výstupního otvoru (obr.20,21). V této době je již vzduch uzavřen a posunován na levé straně pracovního prostoru. Tyto cykly se pravidelně střídají. Při stlačování vzduchu v blízkosti výstupního otvoru dochází ke zvyšování teploty vzduchu. Tím se ohřívají i rotory a roztahují se, protože jsou mnohem méně ochlazovány než stěna pracovní komory, a tudíž hrozí jejich zadření. Aby k tomu nedošlo, rozdíl tlaků mezi vstupem a výstupem vývěvy je maximální. Proto nemůže Rootsova vývěva pracovat proti atmosféře. Aby se využilo výhodných vlastností Rootsovy vývěvy, připojuje se na její výstup vstup olejové rotační vývěvy. Tato kombinace dvou vývěv běžně dosahuje mezního tlaku 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar). Některé Rootsovy vývěvy mají obtokový kanál (obr.22) s pojistným ventilem (bypass), který se otevře při velkém rozdílu tlaků a ten se tím sníží.

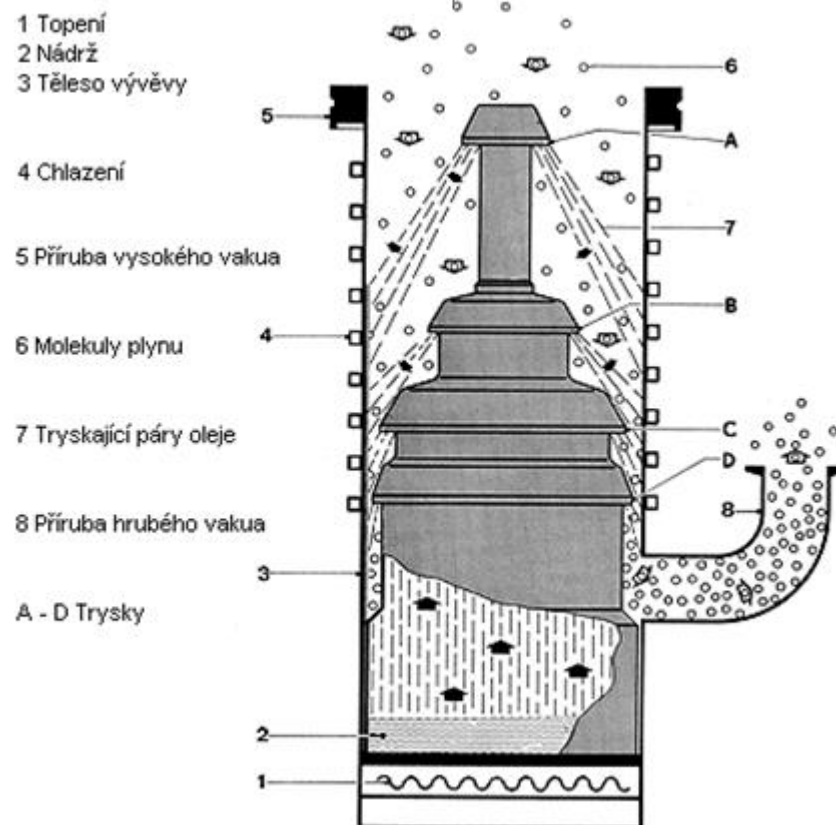


Obr. 22: Obtokový kanál s pojistným ventilem [3]

Rootsové vývěvy, které bypass nemají, se spustí až po dosažení tlaku cca 50 mbar na výstupu vývěvy.

2.3 Difúzní vývěvy

Difúzní vývěvy se používají pro získávání vysokého vakua t.j. od tlaku 101 Pa (10^{-1} mbar) a níže. Difúzní vývěva je válcová nádoba s vyhříváným dnem. Plášť je obtočen trubkou, kterou protéká chladicí voda. Uvnitř je umístěn tryskový systém z hliníku nebo z nerez. V difúzní vývěvě není jediná pohyblivá část.



Obr. 23: Schéma difúzní vývěvy [2]

Dno difúzní vývěvy a tím i olej uvnitř ohřívají topná tělesa na teplotu 200 až 250°C. Olejové páry stoupají vzhůru tryskovým systémem a v jednotlivých kruhových tryskách se obrátí směrem dolů a získají vysokou rychlost. Proud olejové páry vytvoří blánu podobné deštníku. Molekuly čerpaného plynu ze zvonu dopadají shora do proudu olejových par. Jednotlivé molekuly oleje strhávají molekuly plynu na chlazenou stěnu, zkondenzují a stékají dolů. Molekuly čerpaného plynu se jakoby „nalepí“ na molekuly oleje. Na dně se olej zahřeje a „pustí“ molekuly plynu, které se odsají výstupním potrubím do Rootsovy vývěvy a přes rotační vývěvu, do atmosféry. Protože se může stát, že některé molekuly plynu proniknou přes blánu zpět, dělají se tryskové systémy tří až čtyřstupňové.

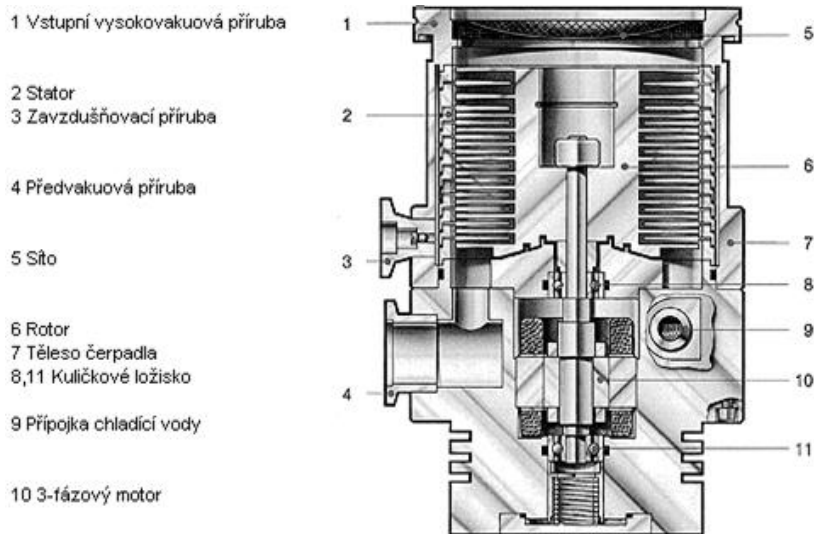
2.4 Turbomolekulární vývěvy

Turbomolekulární vývěvy (obr.24) se používají pro získávání vysokého vakua t.j. od tlaku 101 Pa (10^{-1} mbar) a výše.



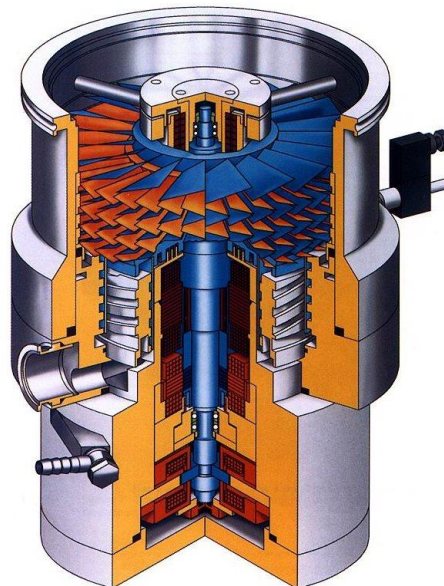
Obr. 24: Turbomolekulární vývěva [12]

Jsou konstruovány podobně jako parní turbíny. Ve vývěvě je soustava rotorových a statorových disků s lopatkami, kterých bývá až 20 v řadě. Rotor se otáčí vysokou rychlostí, u nejmenších vývěv až 90 000 otáček za minutu. Je poháněn elektromotorem, jehož otáčky jsou řízeny elektronickou jednotkou, protože rozběh turbomolekulární vývěvy trvá až 3 minuty. Tyto vývěvy se používají tam, kde je potřeba čistě vakuum bez olejových par. V pracovním prostoru totiž není žádný olej. Výstup vývěvy je připojen k rotačce, která na něm zajistí minimální vakuum 101 Pa (10^{-1} mbar).



Obr. 25: Schéma turbomolekulární vývěvy [3]

Princip činnosti je jednoduchý. Molekuly plynu, které dopadnou na lopatky rotoru, jsou usměrněny mezi lopatky statoru ve směru čerpání. Pokud molekula narazí na statorovou lopatku, odrazí se zpět na rotor a ten ji znovu urychlí a usměrní tak, aby proletěla statorem k další rotorové lopatce. Takto molekuly postupují až k výstupu z turbomolekulární vývěvy. Na obr. 25 a 26 je řez turbomolekulární vývěvou.



Obr. 26: Řez turbomolekulární vývěvou [12]

2.5 Polycold

Polycold je chladicí zařízení, které podstatně snižuje dobu čerpání vysokého vakua. Skládá se z chladicího agregátu, který je schopen vyrobit teplotu až -150°C , výparníku a spojovacího potrubí. Výparník je vyroben z měděné trubky stočené do spirály a celý je umístěn v sacím hrdle difúzních vývěv pod deskovými ventily. Při provozu je jeho teplota -120 až -140°C . Na výparníku zkondenzuje (zmrzne) hlavně vodní pára, kterou již nemusí čerpat difúzní vývěva. Ta čerpá jen vzduch a tím se urychlí získání vysokého vakua.

Čerpací efekt polycoldu se uplatňuje jen při čerpání vysokého vakua, protože je výparník umístěn v difúzní vývěvě. Po několika čerpacích cyklech se na výparníku vytvoří velká vrstva ledu a tím se sníží čerpací efekt polycoldu.

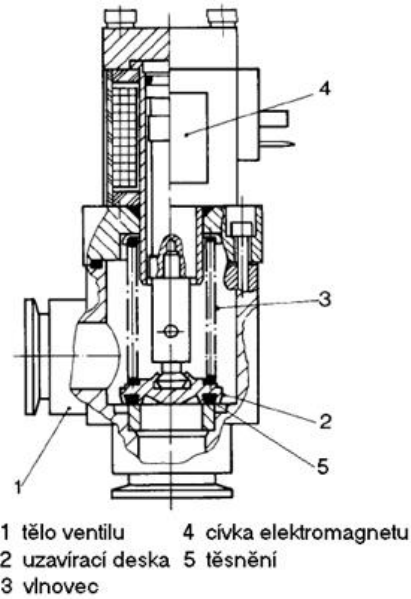
Na ovládacím panelu se zapne funkce defrost (odmražení), do výparníku začne proudit chladicí médium, tentokrát ale ohřáté na 80°C a tím dojde k rozpuštění ledu. Vzniklá vodní pára je odsáta Rootsovou a rotační vývěvou. Následuje přepnutí polycoldu do funkce cool (chlazení) a výparník se opět vychladí na teplotu -120 až -140°C . Tento proces probíhá u některých strojů při procesu nanášení plasilu, nebo v době mezi várkami. U většiny strojů je již ovládání polycoldu součástí počítačového řízení stroje.

2.6 Ventily

Vakuové ventily slouží k uzavírání potrubí spojujícího jednotlivé díly vakuovacího zařízení.

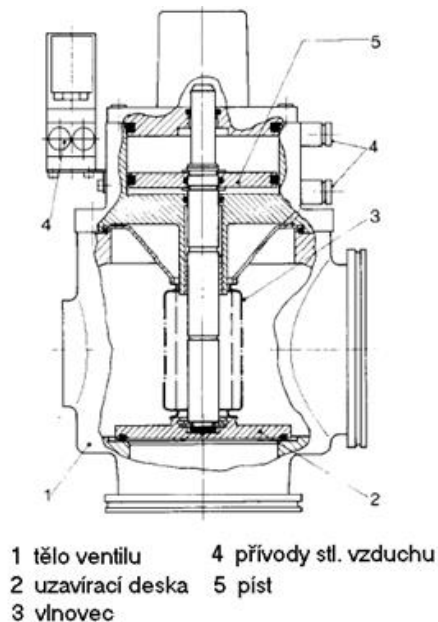
Hlavní požadavky na ventily:

- musí být těsný v zavřeném stavu
- v otevřeném stavu musí klást co nejmenší odpor procházejícímu plynu
- atmosférický vzduch nesmí pronikat do vakuového prostoru ventilu



Obr. 27: Elektromagnetický rohový ventil [3]

Ventil se skládá z těla ventilu včetně přírub k připojení potrubí, sedla ventilu, ventillové desky s těsněním a ovládacím mechanismem. Ovládání bývá většinou elektromagnetické (obr. 27) nebo pneumatické (obr. 28). Nejběžnější provedení je rohové, pro uzavírání difúzních vývěv se používají ventily deskové.



Obr. 28: Pneumatický rohový ventil [3]

Dalším typem ventilů jsou ventily přímé. Mají stejnou funkci jako rohové, ale jsou jinak mechanicky konstruované. Pohony jsou hlavně pneumatické nebo motorové.



Obr. 29: Přímé ventily [12]

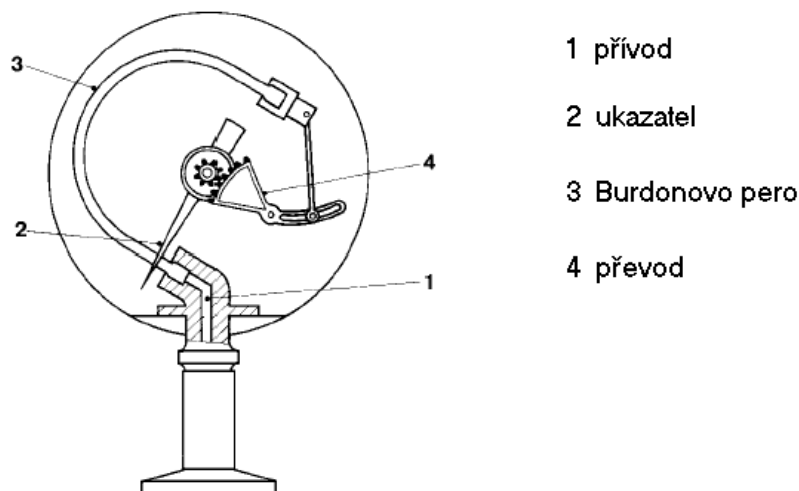
3 MĚŘENÍ VAKUA

Při práci s vakuovým zařízením je třeba vědět, jaký je v něm tlak. Vzhledem k tomu, že rozsah měřených tlaků je velmi široký, není možné změřit celý rozsah jedinou měřicí metodou.

3.1 Vakuometr s Burdonovým perem

Tento vakuometr (obr.30) se používá pro hrubé měření tlaku v nádobách s plasilem. Jeho hodnoty jsou brány jako informativní.

Uvnitř přístroje je plochá trubice ohnutá do oblouku. Snižováním tlaku se trubice stáčí dovnitř a tento pohyb přes převod otáčí ukazatelem, pod kterým je stupnice.

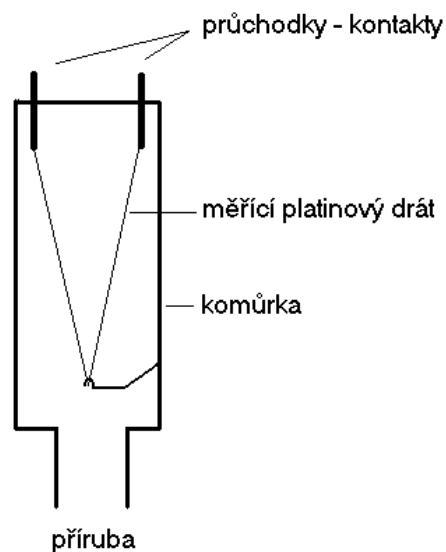


Obr. 30: Vakuometr s Burdovým perem [3]

3.2 Termoměrka Pirani

Termoměrka Pirani (obr.31) se používá pro měření hrubého vakua v rozsahu od 100 000 Pa (1000 mbar) do 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar). K měření se využívá tenký platinový drát (průměr asi 0,03 mm), vyhříváný průtokem elektrického proudu na teplotu asi 120°C. Využívá se změny elektrického odporu v závislosti na teplotě vlákna. Je-li vlákno v atmosférickém tlaku, dopadá na jeho povrch velké množství molekul vzduchu. Každá molekula odebere z vlákna malé množství tepla, ale protože je jich značný počet, je vlákno hodně ochlazováno. Začneme-li snižovat tlak, na vlákno bude dopadat stále méně a méně mole-

kul, a tím se bude zvyšovat teplota vlákna, následně tedy poroste jeho el. odpor, který se měří. Termoměrka vlastně nepřímou metodou měří tlak. Dojde-li při snižování tlaku k hodnotě 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar), je v okolí vlákna již tak málo molekul vzduchu, že nedochází k dalšímu zvyšování teploty vlákna, a další snižování tlaku již nevytváří změnu teploty vlákna. Tím je ukončen rozsah měření termoměrky. V moderních vakuometrech elektronika udržuje stálou teplotu na vláknech asi 120°C a měří se elektrický proud nebo napětí na vláknech. Tyto hodnoty se dále upravují v dalších elektrických obvodech a poté se zobrazují na měřicím přístroji nebo na displeji.



Obr. 31: Termoměrka Pirani [3]

Každý vakuometr s termoměrkou se nastavuje (např. při výměně měřky) ve dvou bodech. Nastavení $100\,000$ Pa ($1\,000$ mbar) t.j. měření atmosférického tlaku se provádí nastavovacím prvkem označeným -- 100 -- ; -- 100% -- ; MAX ; ATM ; $1 \cdot 10^3$.

To znamená, že při otevřeném zvonu se nastavovacím prvkem nastaví na měřicím přístroji hodnota $100\,000$ Pa ; $1\,000$ mbar ; $1 \cdot 10^3$; $1 \cdot 10^5$; ATM. a podobně, dle typu a provedení přístroje a stupnice, u displejů to bývá hodnota $1 \cdot 10^3$; $1 \cdot 10^5$; $1\,000$.

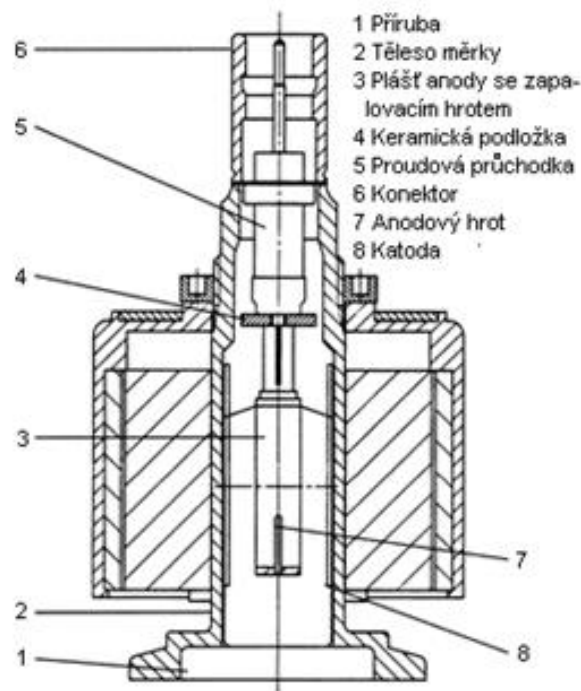
Nastavení 10^{-1} Pa (10^{-3} mbar) se provádí, je-li termoměrka ve vakuu lepším jak 10^{-2} Pa (10^{-4} mbar). To znamená, že vyčerpáme zvon na toto vakuum a potom termoměrku můžeme nastavit.

Provádí se nastavovacím prvkem označeným -- 0 -- ; -- 0% -- ; MIN ; $5 \cdot 10^{-4}$. Tento bod se nastavuje na měřicím přístroji na hodnotu 10^{-1} ; 10^{-3} ; dle typu a provedení přístroje a stupnice. U displejů to bývá hodnota 10^{-1} ; 10^{-3} ; $5 \cdot 10^{-4}$; $5 \cdot 10^{-2}$.

Tyto nastavovací prvky jsou umístěny buď na přístroji, nebo na termoměrci.

3.3 Penning (ionizační měrka se studenou katodou)

Penningova měrka (obr.32) se používá pro měření tlaku od 100 Pa (10^{-2} mbar) do 10^{-6} Pa (10^{-8} mbar). Tělo měrky tvoří válcová dutina, zapojená jako katoda. Uvnitř je vložena anoda, která má různé tvary, nejčastěji jako kroužek nebo tyčinka. Celou sestavu obepíná permanentní magnet. Na katodu a anodu je připojeno stejnosměrné napětí 2 až 4 000 V. Mezi elektrodami vznikne ionizovaný výboj a měří se protékající proud. Velikost proudu závisí na tlaku. Čím je tlak menší, tím je menší protékající proud. Permanentní magnet způsobuje, že elektrony vylétající z katody letí k anodě po spirálové dráze a tím udržují delší hoření výboje. V praxi to představuje rozšíření měřicího rozsahu penningu. Velikost proudu se přes další elektronické obvody převádí na měřicí přístroj nebo na displej.



Obr. 32: Penning [3]

V praktickém provozu má penning jednu nevýhodu. Velikost protékajícího proudu závisí na čistotě elektrod. Jsou-li elektrody znečištěny, zmenší se velikost protékajícího proudu. To se projeví tak, že penning ukazuje lepší vakuum, než tam ve skutečnosti je. Tato odchylka je až polovina řádu. Proto je nutné při běžném provozu penning jednou za měsíc vyčistit.

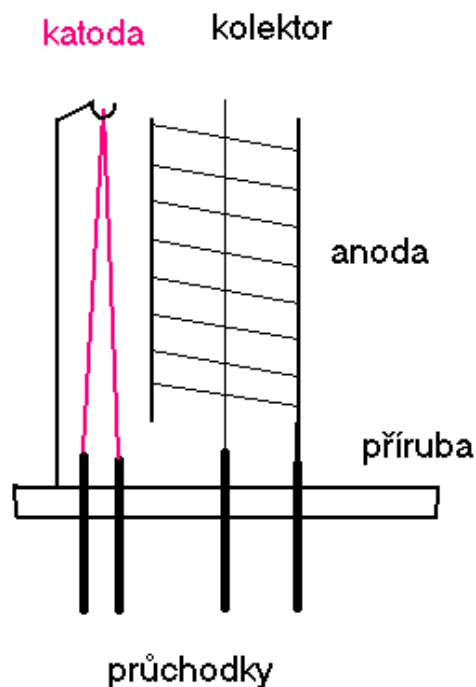
3.4 Ionizační měrka (Bayardův – Alpertův vakuometr)

Bayardův–Alpertův vakuometr (obr.33) se používá pro měření tlaku od 100 Pa (10^{-2} mbar) do 10^{-6} Pa (10^{-8} mbar).

Tento typ vakuometru se používá pro přesnější měření vysokého vakua, pro kalibraci penningu.

Skládá se ze tří základních částí:

- žhavé katody
- anody
- kolektoru



Obr. 33: Bayardův–Alpertův vakuometr [12]

Žhavená katoda je tvořena z vlákna z různých materiálů (wolfram, kysličníky thoria apod.) a vyžhavena na teplotu 700 až 2 000°C. Katoda je zdrojem proudu elektronů, ionizující plyn.

Anoda je tvořena z tenkého drátu ve tvaru spirály. Spolu s katodou vytváří prostor, kde dochází k ionizaci.

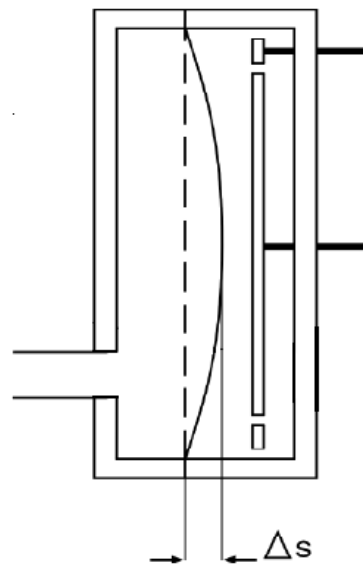
Kolektor je z tenkého drátu a slouží jako sběrač iontového proudu, který se měří a přes další elektronické obvody převádí na stupnici měřicího přístroje nebo na displej.

Ionizační vakuometr se žhavou katodou využívá k měření tlaku ionizací měřeného plynu. Elektrony, emitované z přímo žhavené katody, jsou urychlovány kladným napětím k anodě a na své dráze se srážejí s molekulami plynu. Při srážce elektronu s molekulou plynu elektron vyrazí z obalu molekuly další elektrony a tím se stane z molekuly kladný iont. Vzniklé ionty se zachycují na další elektrodě – kolektoru iontů, který je vůči katodě na záporném potenciálu. Celkový počet zachycených iontů je přímo úměrný počtu molekul plynu v měřeném prostoru, tím vzniká iontový proud, který se měří. Zobrazené uspořádání elektrod způsobuje kmitavý pohyb elektronů kolem anody a tím k prodloužení jejich dráhy. Zvyšuje se tak pravděpodobnost srážky s molekulami plynu a vzniku kladných iontů.

Základním předpokladem pro činnost tohoto vakuometru je minimální vakuum 100 Pa (10^{-2} mbar), jinak žhavená katoda shoří. Moderní přístroje bývají kombinovány s termoměrkou, která blokuje žhavení katody, dokud není dosaženo potřebného vakua.

3.5 Baratron

Je typ vakuové měřky, který se používá pro měření tlaku od 103 Pa (10mbar) do 10^{-2} Pa (10^{-4} mbar). Používá se v naprašovacích strojích pro měření vakua při procesu naprašování. Tato měřka měří absolutní hodnotu vakua, to znamená, že hodnota není závislá na druhu měřeného plynu.



Obr. 34: Baratron [3]

Měrka je konstruována jako kruhová miska přikrytá pružnou membránou ze speciální slitiny. Ve vnitřním prostoru je vakuum. Změnami tlaku se membrána prohýbá a měří se kapacita, která se převádí elektronickými obvody na číselnou hodnotu tlaku. Výhodou této měrky je, že se nemusí čistit. Je nutné ji jednou ročně kalibrovat dle postupu předepsaného výrobcem.

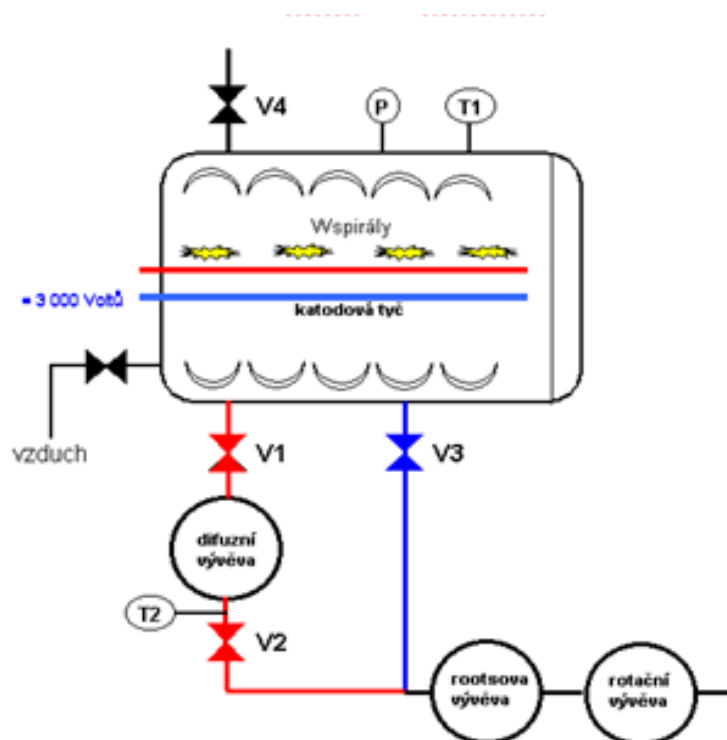
4 TECHNOLOGICKÉ PROCESY VE VAKUU

Mezi technologické procesy ve vakuu patří čistící výboje, které slouží k přípravě výlisku pro napaření hliníku, dále samotné napařování nebo naprašování hliníku, až po vytvoření ochranné vrstvy plasilu.

4.1 Čistící výboje

Čistící výboje slouží k přípravě povrchu pro napaření Al. Spočívají v rozrušení polymolekulární vrstvy molekul vzduchu na povrchu. Provádí se bombardováním volnými elektrony, které svou velkou rychlostí vyrážejí molekuly vzduchu "přilepené" na povrchu do prostoru, kde je již mohou odčerpat Rootsova a rotační vývěva. Současně dochází k ohřívání povrchu, což ještě přispívá k uvolňování molekul vzduchu a vody z povrchu. V žádném případě nedochází k očištění povrchu od prachu, nečistot a mastnoty.

Proces probíhá v hrubém vakuu při tlaku od 101 Pa (10^{-1} mbar) do 10^{-0} Pa (10^{-2} mbar) při stejnosměrném proudu 0,5 – 1 A a napětí 2 – 3 000 V, podle velikosti zvonu. Ve zvonu je instalovaná výbojová tyč, na kterou je připojeno vysoké napětí a která vytváří ionizované prostředí pro čistící výboje.



Obr. 35: Bombardování polymerové vrstvy [12]

4.2 Napařování hliníku

Pro napařování hliníku se používá hliníkový drát o průměru 1,5 mm, čistoty 99,95% až 99,999%.

K napaření slouží wolframová spirála, do které se vloží Al drát stanovené délky. Wolframová spirála je vyrobena ze svazku několika stočených drátů, aby se dosáhlo co největšího povrchu, do kterého se roztavený Al rozlije a neskape. Na kvalitu napařené vrstvy má vliv rychlost nárůstu, velikost napařovacího napětí, čas napařování a samozřejmě hodnota vakua. Správně odpařená spirála má světlešedou barvu s drobnými zbytky Al.

Na spirálu se připojí zdroj střídavého napětí, které se za 15 až 30 sekund zvýší na hodnotu kolem 8 V. Spirálou protéká proud asi 60 A (hodnoty napětí a proudu závisí na tvaru W spirály). Procházejícím proudem se zvyšuje teplota spirály. Při 650°C se Al roztaví a rozteče se do závitů spirály. Dalším zvyšováním napětí se zvyšuje teplota až na cca. 1 400 – 1 600°C a Al se bude odpařovat. Páry hliníku se šíří přímočaře na všechny strany jako světlo. Při dopadu na kterýkoliv povrch (pokovované kusu, závěsy, krycí plechy) páry z kondenzují a vytvoří hliníkovou vrstvu.

Kdyby tento proces probíhal v atmosférickém tlaku, páry hliníku i W spirála velice rychle shoří, protože je kolem hodně kyslíku. Proto jsou spirály a pokovované kusy umístěny ve zvonu, kde je vyčerpán vzduch. Průměrná vzdálenost W spirály od pokovovaného kusu je 20 až 40 cm. Aby molekula hliníku z W spirály doletěla bez srážky s kyslíkem nebo dusíkem na povrch kusu, musí být střední volná dráha molekul větší než 40 cm. Tomu odpovídá tlak $1 \cdot 10^{-2}$ Pa (10^{-4} mbar), kdy je střední volná dráha 60 cm a máme i rezervu ve vzdálenosti.

Na kvalitu napařené vrstvy má vliv kvalita a množství hliníku, doba náběhu, velikost napětí a proudu a hlavně hodnota tlaku ve zvonu. Tloušťka vrstvy je mezi 50 až 100 nm (0,05 – 0,1 mikrometru), je tedy velice tenká a přesně kopíruje povrch kusu. Proto je velmi důležitá kvalita napařovaného povrchu (lesk, poškrábání, mastnota a prach).

4.3 Naprašování hliníku

Naprašování je jiný fyzikální proces než napařování. Hliník se naprašuje z targetu, který je složen z vodou chlazené základní desky, na které jsou přišroubovány bloky hliníku. Celý target je uložen v silném magnetickém poli tvořeném permanentními magnety.

Magnetické pole usměrňuje tok molekul hliníku. Na target je připojen mínus pól zdroje stejnosměrného napětí 500 V. Kladný pól je připojen na zvon. Naprašované kusy jsou umístěny proti targetu.

Celý proces probíhá v komoře při vakuu $6 \cdot 10^{-1}$ Pa ($6 \cdot 10^{-3}$ mbar) až $2 \cdot 10^{-1}$ Pa ($2 \cdot 10^{-3}$ mbar) za současného připouštění argonu. Mezi targetem a zvonek vznikne ionizovaný výboj. Volné elektrony vylétají z targetu a svou rychlostí a hmotností vyražejí z molekul argonu elektrony. Tím se stane z molekuly argonu kladný iont, který je velkou silou přitahován na záporný target. Při dopadu na target kladný iont vyrazí z povrchu několik molekul hliníku, a protože tyto mají záporný náboj, jsou přitahovány kladným nábojem zvonu, a tak dopadají na pokovované kusy, které jsou na stejném potenciálu jako zvon. Molekuly hliníku se do povrchu "vpálí", protože mají velkou rychlost a teplotu. Při procesu protéká targetem proud desítek až stovek ampér a naprašování vrstvy 50 – 100 nm trvá do 10 sekund.

4.4 Srovnávání napařování a naprašování hliníku

Výsledná vrstva hliníku je naprosto srovnatelná. Naprašovací stroje pokovují malé množství kusů ve velmi krátké době (desítky sekund až jednotky minut), ale jsou složitější, náročné na čištění a obsluhu, energeticky náročné a dražší.

Pokovovací stroje pokovují velké množství kusů v delším čase (25 - 50 minut), nejsou tak složité a jsou levnější.

4.5 Nanášení plasilu

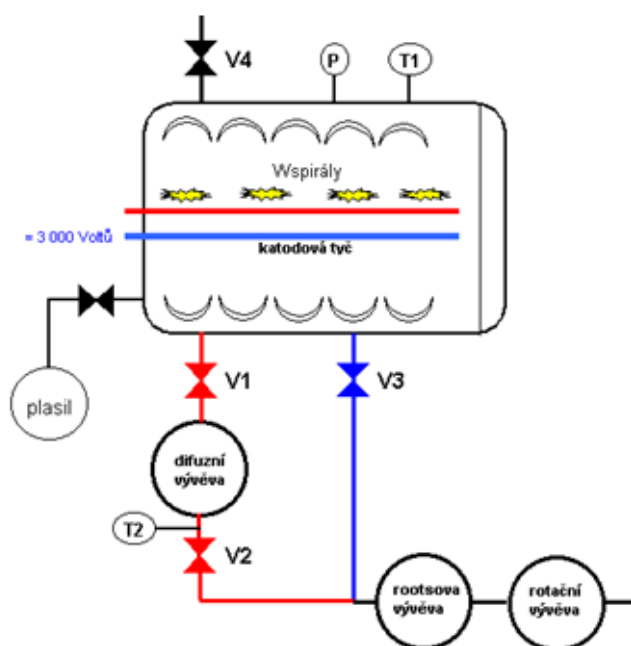
Plasil je ochranná vrstva, která se nanáší na hliník. Na povrch hliníku působí různé atmosférické vlivy jako vlhkost, změny teploty a různé průmyslové exhalace. Před těmito vlivy je třeba povrch hliníku chránit.

Plasil (hexametyldisiloxan) je čirá, rychle se odpařující hořlavá kapalina. Je umístěn v kotlíku, který je připojen přes uzavírací a dále regulační ventil ke zvonu.

Vlastní vytvoření plasilové vrstvy se provádí dvěma způsoby:

- nanášení plasilu pomocí stejnosměrného napětí - po napaření hliníku se stroj přepne na čerpání hrubého vakua jako při čistících výbojích, otevře se uzavírací ventil a regulační ventil připouští takové množství plasilových par,

aby bylo ve zvonu vakuum kolem $\gg 8.100 \text{ Pa}$ (8.10^{-2} mbar) \ll . Současně je na katodovou tyč připojeno napětí kolem $3\,000 \text{ V}$. Ve zvonu se vytvoří ionizovaný výboj, který způsobí polymeraci (pospojování, svázání) jednotlivých makromolekul plasilu v souvislou vrstvu "umělé hmoty" na povrchu hliníku. Samozřejmě se vrstva tvoří i na celém vnitřním povrchu zvonu a závěsech. Tloušťka vrstvy je $50 - 100 \text{ nm}$, je pružná, průhledná a chemicky odolná. Několikanásobně prodlužuje životnost hliníkové vrstvy. Odolnost této vrstvy se testuje 0,2% roztokem louhu sodného nebo draselného (KOH, NaOH), kdy kvalitně nanesená vrstva plasilu ochrání hliník před napadením až 3 hodiny. Doba nanášení plasilu je dána tvarem a počtem kusů a pohybuje se mezi 5 až 15 minutami. Slabá vrstva nevydrží 3 hodinový test, naopak silná způsobí fialové zbarvení hliníku.



Obr. 36: Nanášení plasilu [12]

- nanášení plasilu pomocí vysokofrekvenčního napětí (RF generátor) – tento způsob se používá na strojích DynaMet. V komoře č.4 je na dveřích umístěna hliníková elektroda (anténa), na kterou je přivedeno vysokofrekvenční napětí (13,3 MHz). Toto napětí vytvoří v komoře ionizovaný výboj, který způsobí polymerizaci plasilu. Doba nanášení plasilu je dána tvarem a počtem kusů a pohybuje se mezi 10 až 20 sekundami. Dále platí totéž jako u nanášení plasilu pomocí stejnosměrného napětí.

5 VADY VZNIKAJÍCÍ PŘI VAKUOVÉM POKOVENÍ

- Vady při napařování hliníkem - napařená vrstva hliníku má namodralou barvu, napařená vrstva hliníku má modrošedou barvu, napařená vrstva hliníku má žlutou barvu anebo je tmavá, napařená vrstva hliníku je lehce šedá a dá se snadno setřít (malá přilnavost, adheze), napařená vrstva má barvu pokovovaného materiálu (vrstva hliníku je transparentní)
- Vady při napařování hliníkem - napařená vrstva hliníku má namodralou barvu, napařená vrstva má barvu pokovovaného materiálu (vrstva hliníku je transparentní), napařená vrstva má žlutou barvu
- Ostatní vady - černé tečky, bílé tečky, mlhy, škrábance, stříbření, mastnota, krupice

6 POPIS NÁSTROJŮ POUŽÍVANÝCH PRO ZLEPŠOVÁNÍ KVALITY

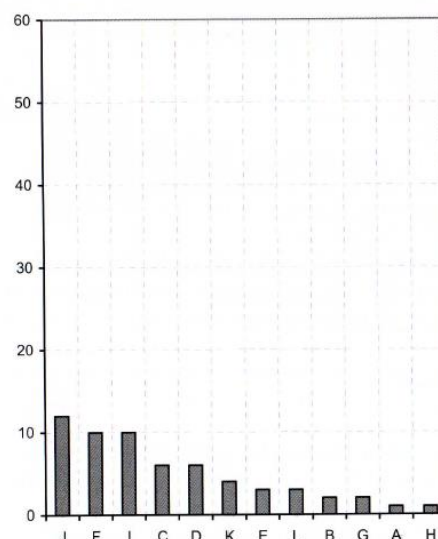
Jde o nástroje, které nám pomáhají problém s kvalitou popsat - například pomocí kontrolních tabulek, identifikovat kořenovou příčinu pomocí diagramu příčin a následku, a proces monitorovat formou paretova diagramu nebo regulačních diagramů.

6.1 Paretův diagram

Paretův diagram (v literatuře je tento nástroj uváděn i jako Paretova analýza) je založen na tzv. Paretovu principu: 80% následku je způsobeno 20% příčin. Pomáhá určit priority, na které je třeba se zaměřit (na které produkty, procesy činností) tím, že uspořádá položky podle četností výskytu a stanoví relativní kumulované četnosti. V praxi se používá pro analýzu reklamací, analýzu neshod (například zmetků) a podobně.

První část Paretovy analýzy spočívá v uspořádání prostých absolutních četností položek podle četností výskytu od největšího do nejmenší.

vada	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
počet	1	2	6	6	3	10	2	1	10	12	4	3

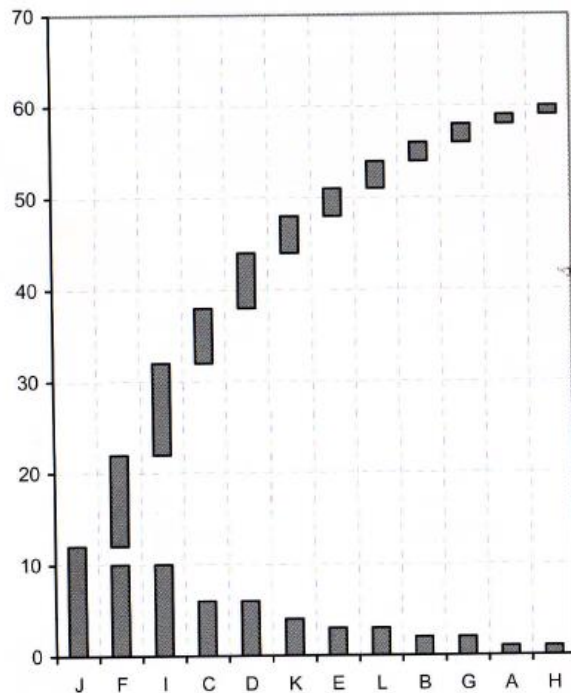


Obr. 37: Paretův graf – 1.krok [9]

Tvorbu Paretova grafu se zahájí tím, že data z tabulky zpracujeme v sestupném pořadí do sloupcového grafu. Nejvyšší počet vykazala vada J, takže první sloupeček je vyso-

ký 12. Druhý nejvyšší četnost vykázaly vady F a I, proto následující dva sloupečky budou vysoké 10 atd. Nejnižší výskyt měly vady A a H, proto jako poslední budou tyto dva sloupečky vysoké 1. První sloupeček necháme stát a druhý vytáhneme nad něj. Třetí sloupeček vytáhneme nad druhý vytažený. Čtvrtý sloupeček vytáhneme nad třetí vytažený atd,

Takto vytvoříme grafický součet výskytu všech vad. Celkový počet vad byl 60.



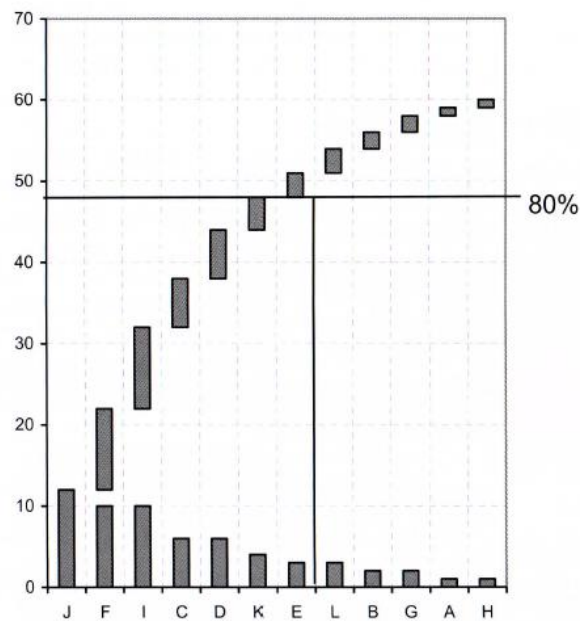
Obr. 38: Paretův graf – 2.krok [9]

Za vady, které představují většinu výskytu, se považují vady s hodnotou okolo 80%. Jestliže 60 je 100% → pak 6 je 10% → 12 je 20% → $60-12=48$ je 80%. Vedeme rovnoběžku ve výšce 48. Tato rovnoběžka nám rozdělí vytažené sloupečky na dvě části. V místě, kde dochází k rozdělení vytažených sloupečků, vedeme svislou osu, která nám rozdělí původní sloupečky na dvě části.

První část sloupečků je menšina vad, která představuje většinu výskytu.

Zde vady J, F, E, C, D, K, E představují 80% všech. Jestliže dojde k zaměření na odstranění těchto vad, potom je většina zmetkovitosti odstraněná a vyřešená.

Paretův graf identifikuje menšinu příčin, která způsobuje většinu důsledku (problému). Jestliže se vyřeší tato menšina příčin, odstraníme tím většinu problému.



Obr. 39: Paretův graf [9]

Posledním krokem Paretovy analýzy je vlastní analýza faktorů, vymezených, jako životně důležitá menšina s cílem přijmout nápravná opatření vedoucí k omezení vlivu těchto faktorů a ke zlepšení procesu. Diagram pak lze opakovaně použít k vyhodnocení účinnosti přijímaných opatření. Zobrazí-li se pomocí Paretova diagramu stav před přijetím opatření a stav po jeho implementaci, měl by být ze srovnání těchto dvou diagramů patrný účinek opatření.

6.2 Brainstorming

Anglický termín brainstorming se překládá jako „bouření mozků“ nebo volněji jako „burza nápadů“. Tato metoda vznikla již před 2. světovou válkou a je spjata s reklamním průmyslem. Tvůrci reklam, tzv. kreativci neboli reklamní textaři, ji úspěšně využívali ve své práci. Postupně se prosadila i v jiných odvětvích podnikání a těch oblastech lidských činností, které jsou spjaty s tvořivostí, řešením problémů a náročnějšími úkoly.

Brainstorming je postaven na myšlence, že je třeba oddělit vymýšlení nápadů od jejich kritického posuzování. Dělí se tedy na dvě fáze. První je kreativní a spontánní, druhá fáze je racionální a logická.

Cílem první fáze je vyprodukovat co největší množství nápadů na dané téma. Jednotliví účastníci brainstormingu chrlí náměty, myšlenky, volné asociace, témata, věty...,

zkrátka všechno, co je napadne. Nikdo při tom nesmí nápady ani jejich autory kritizovat, cenzurovat, posuzovat nebo se jim vysmívat. Prostě se zapisují. První nápady bývají racionální a konvenční. Postupně se ale uvolňuje napětí i fantazie. Přicházejí náměty nové, netradiční, tvůrčí, iracionální až absurdní. Zapojují se pozitivní emoce, přichází pocit uvolnění, slyšíme smích. Ke slovu se dostává nevědomí.

Podmínky pro realizaci brainstormingu:

- počet účastníků 7-10
- různorodost přítomných pracovníků (obor, úroveň znalostí a zkušeností)
- ve funkčním zařazení účastníků v organizaci nejsou velké rozdíly
- přesné znění problému je sděleno účastníkům před setkáním
- řízení moderátorem, asistence zapisovatele

Pro první fázi brainstormingu platí následující pravidla a zásady:

- Účastníci mohou říct cokoli, co je právě napadne.
- Nápady nehodnotíme a nekritizujeme.
- Okamžitě zapíšeme každý nápad bez výjimky.
- Čím více nápadů, tím lépe.
- Účast na brainstormingu je dobrovolná (každý nemusí mít nějaký nápad...).
- Pokračujeme v brainstormingu tak dlouho, dokud se objevují nové nápady.

6.3 Diagram příčin a následků

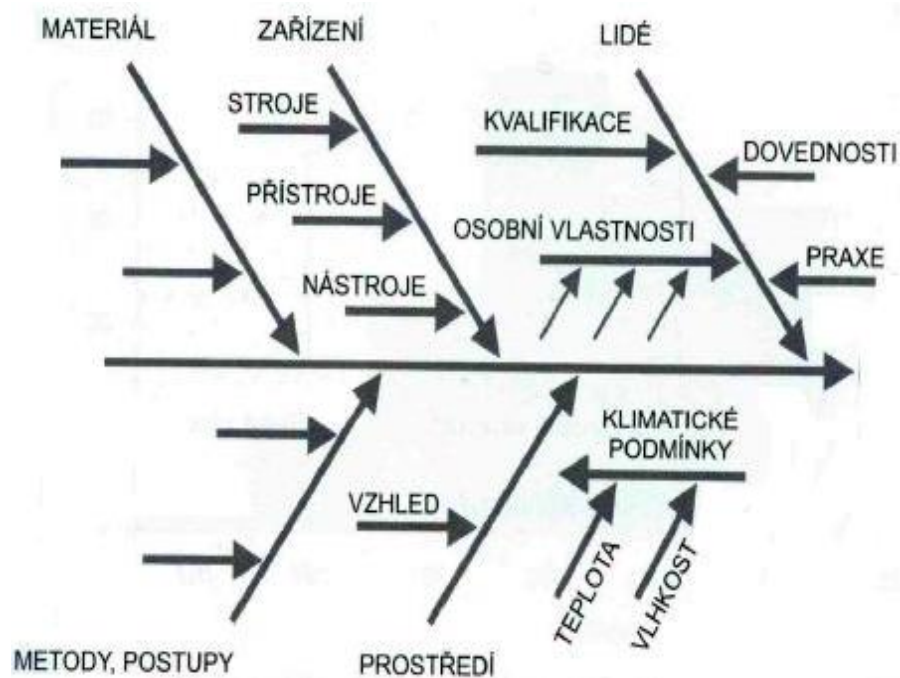
Diagram je někdy označován též jako Ishikawův diagram. Jeho základním přínosem je názorné a strukturované zachycení všech možných příčin, které vedly nebo by mohly vést k danému následku. Příčiny jsou hledány proto, aby se řešily. Následkem může být konkrétní situace (neshoda, vada, úspěch) anebo nežádoucí stav.

Cestu k následku zachycuje vodorovná čára zakončená šipkou. Na ní nanesené šipky zachycují základní příčiny, které jsou pak dále rozkládány na dílčí příčiny (Obr.:40). Ishikawův diagram neříká, jak problém řešit. Přehledné soustředění všech příčin však

umožní celý problém rozebrat a následně nalézat řešení. Účinnost tohoto nástroje byla mnohokrát prokázána.

Postup tvorby:

- Výběr vhodných členů týmů
- Na pravou stranu velkého papíru popsat problém
- Nakreslit vodorovnou páteř, na kterou se připojí základní větve. Na jejich konce se napíší názvy základních oblastí, ve kterých se budou hledat příčiny. Tyto větve nesmí účastníky omezovat, ale inspirovat a slouží k udržení přehledu v záznamech.
- Zahájení burzy nápadů. Všechny určené příčiny se zapisují k příslušným základním větvím. Cílem je kvantita.



Obr. 40: Ishikawův diagram příčin a následků [6]

6.4 Metoda 5x proč

Metoda 5x proč je základní metodou zlepšování kvality procesu hledání kořenových příčin problémů a zabránění jejich opakování. Podstata metody spočívá v položení otázky proč? na předcházející odpověď. Tuto otázku postupně položíme cca 5x, ale může to být i

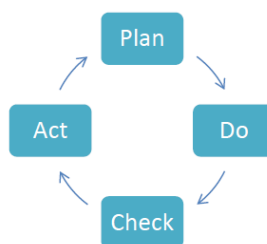
méně nebo vícekrát. Otázka nemusí vždy znít proč?, mohou to být otázky jak?, kdy? apod.. K příčinám vzniklého problému se dá dojít pomocí kladení otázek typu:

- proč nebyla dostatečná kontrola
- proč se chyba vyskytla
- proč nebyl pracovník dostatečně vyškolen
- proč stroj správně nefungoval atd.

Metodou 5x proč se většinou dojde ke kořenům problému a ke skutečným příčinám jejich vzniku.

6.5 Metoda PDCA

Základním modelem neustálého zlepšování je Demingův cyklus PDCA (Plan-Do-Check-Act). Cyklus byl původně vytvořen Walterem Shewhartem v roce 1930. Následně jej pro zlepšování kvality využil a rozpracoval Edwards Deming. Tento cyklus se skládá ze čtyř fází, ve kterých by měl probíhat proces zlepšování nebo provádění změn. Jedná se o cyklus, který nemá konec a měl by se pro zajištění neustálého zlepšování stále opakovat. Proto se někdy kreslí v rozšiřující se spirále. Tím se vyjadřuje nejen nekonečnost cyklu, ale i zvyšující se úroveň kvality. Postup je použitelný pro řešení ve všech oblastech při řešení malých i velkých problémů. Při pečlivém plánování se minimalizují náklady a případné komplikace při realizaci činností.



P	Plan	Plánuj	vypracování plánu aktivit
D	Do	Vykonej	realizace plánovaných opatření
C	Check	Zkontroluj	analýza dosažených výsledků

Obr. 41: Cyklus PDCA [4]

Popis činností PDCA:

P – Plan (plánuj) – Cyklus začíná získáváním informací a popisem řešeného problému, které slouží pro přípravu plánu. Plán by měl obsahovat jednotlivé činnosti, které je třeba vykonat k odstranění problému.

D – Do (vykonej, dělej) – Po vypracování plánu je dalším krokem zavedení popsaných činností.

C – Check (zkontroluj) – Následuje sledování dosažených výsledků a jejich porovnání s plánem. Jedná se tedy o kontrolu, zda je původní problém skutečně řešen a změny probíhají podle předpokladu.

A – Act (reaguj, jednej) – dojde-li k situaci, že se výsledek liší od očekávání a problém není vyřešen, hledejte příčinu problému. Nový plán zaměřte na odstranění příčiny. Jestliže je problém úspěšně odstraněn je třeba udělat poslední a závěrečný krok, všechny potřebné změny zavést trvale do procesů nebo do systému. Také je nutné se přesvědčit o tom, že změny jsou řádně zavedeny.

Na postupu PDCA je cenná bezpochyby jednoduchost a zvýraznění nepřetržitosti, dané opětovným opakováním cyklu. Nicméně jde o postup velmi obecný, a proto řada firem vypracovala podrobnější návody na řešení problémů, respektive na postupy zlepšování. I když se v jednotlivostech liší, obecné kroky mají společné:

- Určení předmětu zlepšování (řešení problémů)
- Stanovení řešitelského týmu
- V případě řešení existujícího problému zvážení nutnosti přijetí okamžitého, často provizorního opatření
- Získání a vyhodnocení příslušných údajů týkajících se daného řešení
- Návrh možných variant řešení
- Vyhodnocení variant a výběr nejlepší varianty
- Propracování zvolené varianty rozhodnutí o zavedení zvoleného řešení
- Vlastní realizace, kontrola průběhu, vyhodnocení řešení
- Případné korekce, úpravy, doplnění

- Stabilizace nového řešení – například změnou úpravou existující dokumentace

Jen část zlepšovacích aktivit se dá nařídit. Zejména jde o oblast nápravných a preventivních opatření, kdy v případě, že nastane nebo potenciálně hrozí určitý nedostatek, problém, neshoda, je třeba přijmout adekvátní odezvu. Prostředkem změny jsou manažerské zásahy z palety tzv. tvrdých prvků řízení – příkazy, dokumentované postupy pro nápravná preventivní opatření.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je analyzovat příčiny zmetkovitosti pokovených dílů ve výrobním procesu se zaměřením na konkrétní výrobek. Pro stanovení všech možných příčin problému se využije diagramu příčin a následku, u kterého se nejdříve definuje následek. Požadovaným cílem je zvýšení kvality dílu, snížení zmetkovitosti, která vede ke zvýšení produkce výroby a snížení počtu vadných dílů u projektu Bezel pod z cca. 22% na 10%, čímž se nám výrazně sníží náklady na neshodnou výrobu.

Poté se stanoví hlavní příčiny ovlivňující zmetkovitost a čtyři nejčtenější vady, které budou definovány v paretově analýze. Mimo tyto čtyři kategorie se zařadí ještě obecná skupina, takzvané jiné (obecné) příčiny, které ovlivňují výskyt všech vad společně. Stanovení vedlejších příčin již bude probíhat týmově. Pro každou hlavní příčinu (vadu) se pokusíme nalézt jednak místo, kde mohla vada vzniknout, ale především důvod, proč vznikla.

V závěru práce bude zobrazena Paretova analýza za měsíc listopad 2015, ze které bude patrné, zda došlo k poklesu vadných dílů u řešeného projektu.

8 PŘEDSTAVENÍ PODNIKU

Výrobní družstvo IRISA bylo založeno v roce 1954 s tehdeším názvem Sklářské lidové družstvo, jehož prvním výrobním programem byla výroba skleněných ručně vyráběných vánočních ozdob a kartonážní výroba.

8.1 Historie

Roku 1969 vzniká IRISA jako družstvo invalidů a zároveň je zahájen další výrobní program a to činnost orientovaná na zpracování termoplastů vstřikováním a vakuovým tvarováním. Tento výrobní program se začal dynamicky rozvíjet.

Změny po roce 1989 a následné otevření domácích i zahraničních trhů vedly vedení družstva k radikálním změnám ve výrobním programu zpracovávání termoplastů. Z hlavního výrobního programu - hračky, byla výroba přeorientována na kvalitativně nový program - technicky náročné vylisky pro automobilový průmysl.

8.2 Současnost

Lisovna plastů je nejvíce se rozvíjejícím a zároveň stěžejním závodem družstva. Výrobní program se orientuje na zpracování termoplastických hmot vstřikováním a vakuovým tvarováním, úpravu povrchu vylisků potiskem, nebo vakuovým pokovováním. Vakuové pokovování patří ke speciální technologii, kterou závod disponuje a využívá s pozitivními výsledky. Výroba závodu je zaměřena z větší části na oblast Automotive, ale je zde zastoupena i produkce pro ostatní odvětví.

8.2.1 Vstřikování plastů

Vstřikování plastů je termodynamický cyklický tvářecí proces. Plastické hmoty jsou pro vstřikování dodávány ve formě granulátu. Mohou být přírodní barvy (zpravidla čiré nebo průhledné) nebo probarvené, záleží na požadavku zákazníka.

Výrobní zaměření

- výroba technických vylisků pro automobilový průmysl
- výroba vzhledových vylisků pro automobilový průmysl

Disponujeme moderními stroji o uzavírací síle 30 - 4200 kN a dvoukomorovým

vstřikovacím strojem.

Všechny stroje jsou vybaveny na to, aby mohly zpracovávat technické materiály s vysokým podílem skla.

Vstřikovací stroje jsou doplněny moderními manipulátory a přípravou materiálu.

8.2.2 Vakuové pokovování

Pokovování plastů je další z technologií povrchových úprav, kterou ve výrobním procesu aplikujeme. K pokovování výrobků využíváme metodu vakuového napařování kovů. Ve vysokém vakuu se nanáší velmi tenká vrstva kovu. Nanesená vrstva kovu přesně kopíruje povrch výrobku. Používaným kovem je hliník. Pokovováním dosahujeme nejen efektního kovového vzhledu, ale také lepších mechanických vlastností.

- povrchová úprava kovových i nekovových předmětů nanášením různých druhů kovů
- vstřikovací zařízení Laybold 1900, BH 900, Arzuffi pro optimální řešení všech technických požadavků

8.2.3 Vakuové tvarování

Vakuové tváření je jednou z technologií pro zpracování plastů. Využívá fyzikálních a mechanických vlastností termoplastických hmot, které se při zahřátí mění do plastického stavu. Při ochlazení se struktura plastu mění zpět do tuhého stavu. Tímto způsobem výroby je možné z plastů vytvářet od malých dílků až po velké konstrukční celky.

Zpracovávají se termoplastické folie a desky z hPS a PVC o síle 0,15 - 3,00 mm.

9 DEFINOVÁNÍ PROBLÉMU

Pokovováním plastů se kombinují výhody plastů s výhodami kovů (elektrická vodivost, lesk, tvrdost), dochází tak ke změně jak dekorativních tak funkčních vlastností. Rozhodující pro pokovení je schopnost plastu vytvořit základ pro kovovou vrstvu. Vhodnými plasty pro adhezivní uchycení kovu jsou např. ABS, PP nebo PVC.

9.1 Představení pokoveného výrobku

Pro diplomovou práci se vybral výrobek s názvem Bezel, který se lisuje z materiálu PC Apec 1795 901510 black. Operátor u lisu odebírá díly z pásu (obr.42), tak aby nedošlo k poškození pohledové části dílu, provede vizuální kontrolu dílu dle referenčního vzorku a balí díly do mezioperačního balení.



Obr. 42: Lisování

Na mezioperační balení se používá šedá přepravka 600x400x320 vyložená PE pytlelem. Dno a vrstvy se prokládají proložkou s nopaschaumem. Díly se překrývají pervinem systémem vlna, aby se díly nedotýkaly PE pytle (obr.43)



Obr. 43: Mezioperační balení

V mezioperačním balení se díly převezou na dílnu pokovení, kde se dílce usazují v nosiči pokovení na přesně vymezený tvar. Díl se usadí na držák, který se opře o vnitřní stěnu dílce. Planeta pro tento díl má 8 pater po 5 kusech.

Po pokovacím cyklu, který trvá cca 13 minut, provádí operátoři vizuální kontrolu dílů dle referenčních a zónových vzorků. Pokud jsou díly bez vad, ukládají je do expedičního balení.



Obr. 44: Pokovený díl

Na expediční balení se používá stejná přepravka, jako na mezioperační vyložená PE pytlíkem. Do ní se ukládají pěnové mřížky s díly pohledovou stranou nahoru (obr.45). Poslední vrstva se překrývá nopaschaunem. V KLT jsou 3 vrstvy.



Obr. 45: Expediční balení

U zákazníka díl projde ještě dvěma montážními linkami. První z nich je předmontážní linka, kde se díl smontuje s modulem.



Obr. 46: Díl s modulem

Pak následuje finální montáž do světlometu.



Obr. 47: Díl s modulem

9.2 Analýza nákladů na vadné díly

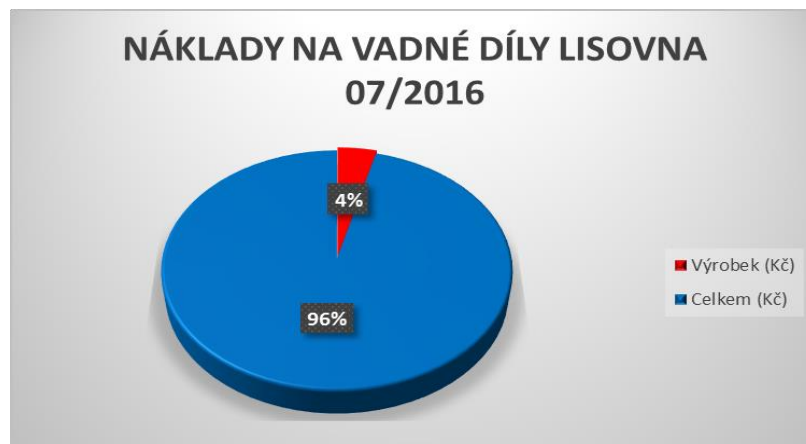
Vadné díly jsou vyřazovány během 100% kontroly, která je nasazena po procesu lisování a po procesu pokovení, tj. před zabalením a odesláním zákazníkovi.

Analýza se provedla pro měsíc červenec 2015 (07/2015) tj. před začátkem projektu zlepšování, který byl započat v měsíci srpnu 2015.

PROCES VSTŘIKOVÁNÍ

Celkové náklady na všechny vadné díly vyřazené na lisovně za měsíc 07/2015 činily 560.000Kč. Z toho byly v tomto měsíci náklady na vadné výrobky dílů Bezel, který byl 100% kontrolován cca. 23.000Kč.

Vadné díly výrobku Bezel se v měsíci 07/2015 podílely na celkových nákladech na vadné díly střediska Lisovna ze 4%.

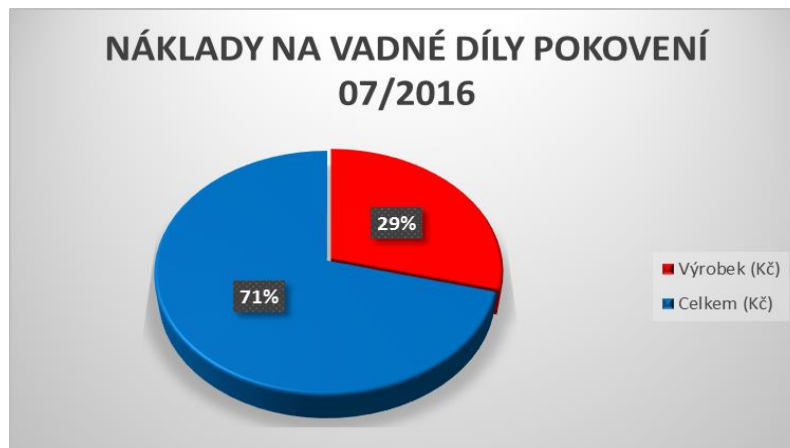


Obr. 48: Náklady lisovna

PROCES POKOVENÍ

Celkové náklady na všechny vadné díly vyřazené po pokovení za měsíc 07/2015 činily 390.500Kč. Z toho byly v tomto měsíci náklady na vadné výrobky dílů Bezel, který byl 100% kontrolován cca. 160.300Kč.

Vadné díly výrobku Bezel se v měsíci 07/2015 podílely na celkových nákladech na vadné díly střediska Pokovení z 29%.



Obr. 49: Náklady lisovna

Z uvedené jednoduché analýzy vyplývá, že výrobek je vyřazován především při 100% kontrole po pokovení a tudíž ovlivňuje významně náklady na vadné díly právě tohoto střediska.

Problém však nelze lokalizovat pouze na proces pokovení, neboť příčiny vad vznikají již při lisování, ale jsou bohužel odhalitelné, resp. viditelné až po nanesení pokovení.

Z tohoto důvodu se zaměřilo i na proces lisování a do týmu byli jmenováni kromě odborníků z pokovení taky technolog, kontrolor a seřizovač lisovny.

9.3 Mapa procesu s vyznačením kritických míst

V této části práce je zpracována mapa procesu výroby, která je dále rozčleněna na jednotlivé podprocesy. V popisech jsou analyzovány jednotlivé podprocesy z pohledu vlivu na náklady na vadné díly, které u vybraného výrobku vznikají.

Pro popis podprocesu je v této chvíli použito pouze subjektivní hodnocení. Tato mapa včetně popisu byla následně využita jako podklad pro brainstorming s cílem iniciovat myšlenky jednotlivých členů týmu.

U jednotlivých podprocesů je proveden odhad vlivu na vznik vad:

ZELENÁ současný stav má zanedbatelný anebo žádný vliv na výskyt vadných dílů

ŽLUTÁ současný stav má nepřímo prokazatelný vliv na výskyt vad

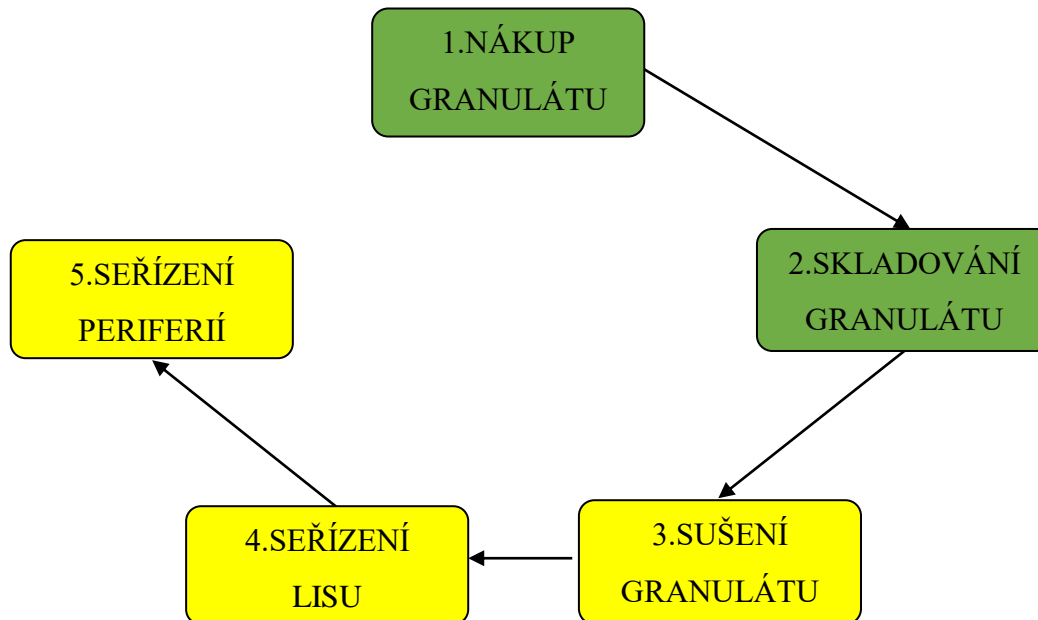
ČERVENÁ je přímo prokazatelný vysoký vliv na výskyt vadných dílů

Poznámka:

Toto hodnocení nesloužilo pro konečnou analýzu a nebylo využito ani pro brainstorming. Sloužilo pouze pro lepší orientaci v první fázi projektu zlepšování. Po provedení týmového brainstormingu a následného zhodnocení příčin, již bylo považováno za irelevantní.

9.3.1 Příprava procesu lisování

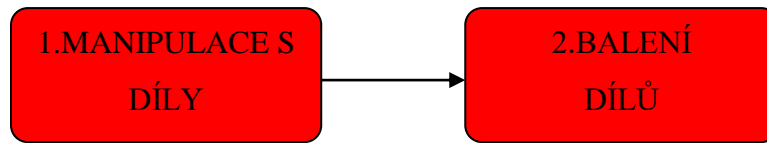
(subjektivní zhodnocení současného vlivu podprocesu na náklady na vadné díly)



Obr. 50: Příprava procesu lisování

1. Nákup granulátu – pro výrobu dílů je předepsaný materiál Apec 1795 901510 black. Za poslední období nebylo zjištěno poškození balících jednotek, které by mohlo mít vliv na kontaminaci materiálu ani jakékoliv znečištění materiálu přímo od dodavatele.
2. Skladování granulátu – granulát je skladován v uzavřených prostorách kde je teplota nad 10°C. Jednou denně se provádí úklid skladovacích prostor a to na noční směně. Při vyskladňování se dodržuje systém FIFO.
3. Sušení granulátu - špatně vysušený materiál může mít za následek stříbření, tokové čáry, lesk, matné skvrny nebo bubliny.
4. Seřízení lisu - na kvalitu výlisku má vliv nastavení parametrů, teploty, tlaky, atd. Seřizovač při rozjezdech výroby nastavuje lis dle údajů uvedených v technologickém postupu.
5. Seřízení periférií - jedná se o seřízení manipulátoru, dopravníku, chapače – vyčištění atd.

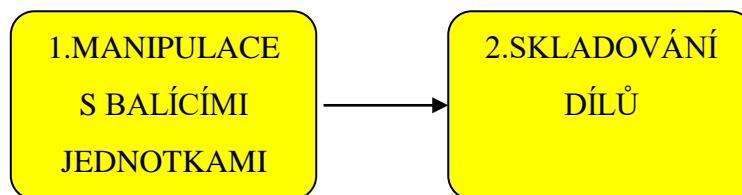
9.3.2 Proces lisování



Obr. 51: Proces lisování

1. Manipulace s díly – při odebrání dílů z pásu musí mít operátor rukavice a dotýkat se pouze nepohledových částí. S díly se musí manipulovat opatrně, aby při vizuální kontrole nedošlo k jejich poškození. Důležitá je častá výměna rukavic kvůli mastnotě o otiskům na díle.
2. Balení dílů – díly se opatrně ukládají do KLT, aby se o sebe nepoškrábaly a překrývají se pervinem systémem vlna, aby se díly nedotýkaly PE pytle.

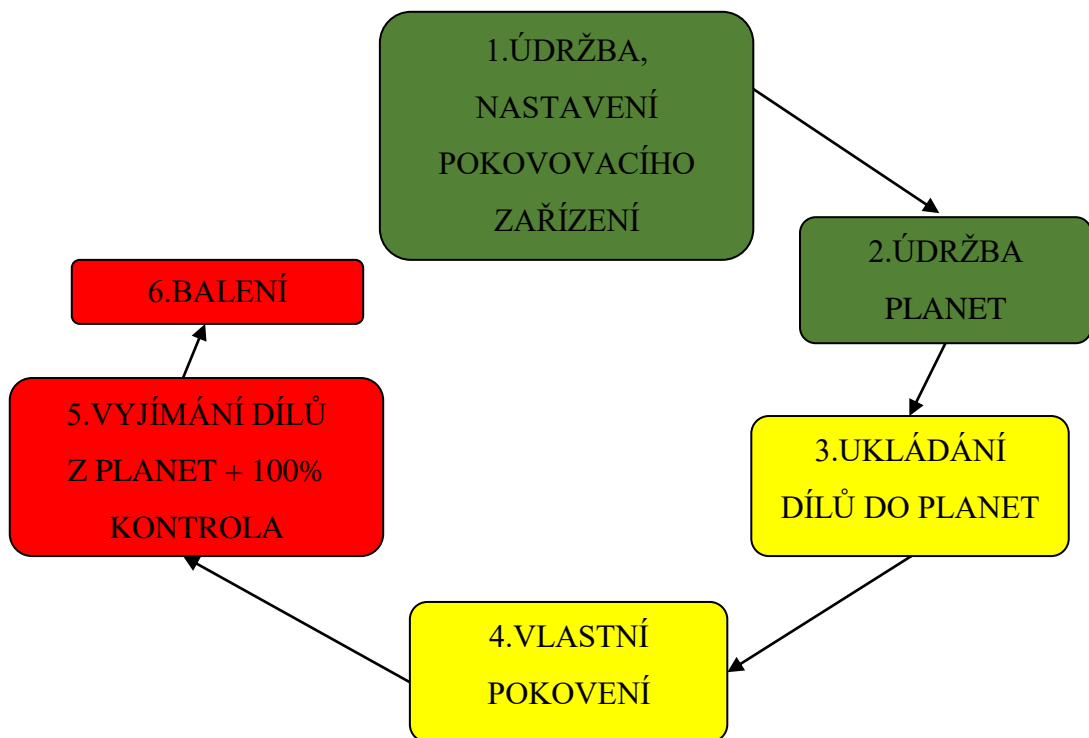
9.3.3 Příprava procesu pokovení



Obr. 52: Příprava procesu pokovení

1. Manipulace s balíčky jednotkami – při neopatrné manipulaci při přepravě polotovarů na pokovení může dojít k sesypání dílů.
2. Skladování dílů – polotovary na pokovení by se neměly skladovat víc jak 24h.

9.3.4 Proces pokovení



Obr. 53: Příprava procesu pokovení

1. Údržba, nastavení pokovovacího zařízení – probíhá pravidelná údržba a čištění pokovovacího zařízení. Co se týká nastavení, jednotlivé díly mají nastavenou recepturu, která je uvedena v technologickém postupu a pod čísly nahrána v zařízení.
2. Údržba planet – po pravidelném očištění planet se musí pokovit planety 4x naprázdno s dvojitým hliníkem, při nájedzu výroby minimálně 1x naprázdno. Především tím zlatnutí, které vzniká plyněním planet.
3. Ukládání dílů do planet – dílce se usazují v nosiči pokovení na přesně vymezený tvar, kdy díl se usadí na držák a opře se o vnitřní stěnu dílce.
4. Vlastní pokovení – zkouškou NaOH 1% roztokem + mřížkovým testem kontrolujeme kvalitu pokovení. Jeden krát ročně se provádí test v klimakomůře.
5. Vyjímání dílů z planet + 100% kontrola – operátoři odebírají díly z planet, provádí 100% kontrolu dílu dle referenčních a zónových vzorků.
6. Balení – pokud jsou díly v pořádku, operátoři jej ukládají do expedičního balení.

9.4 Analýza vad

Během měsíce července 2015 bylo vyřazeno na pokovení cca. 10.700 dílů z celkového počtu vyrobených 48.500 ks což činilo 22%.

Jako podklad pro analýzu vadných dílů se použily úkolové listy pro příslušný výrobek, do kterých během kontroly operátoři zaznamenávali počty vadných dílů.

Pro přehlednost a snadnější zpracování jsem vypracovala katalog možných vad u daného výrobku s číselnými kódy a pracovníci kontroly již mohli k jednotlivým kódům zaznamenat pouze jejich vyřazené počty.

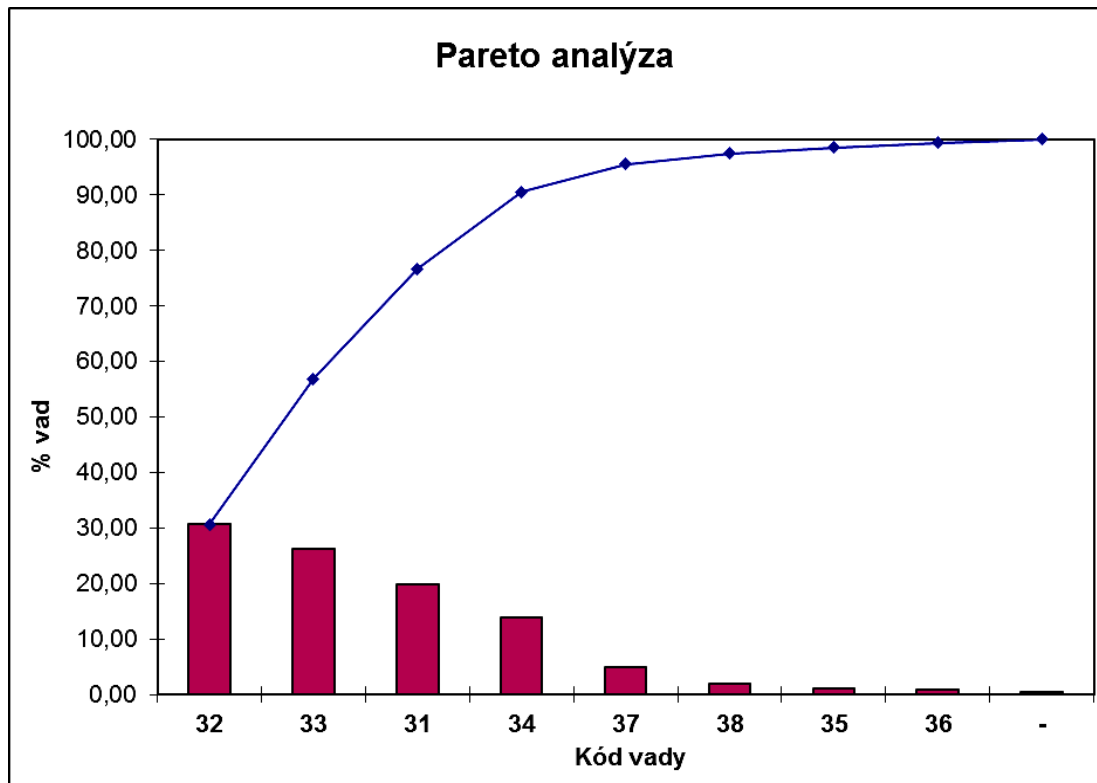
Z těchto formulářů se použilo rozdělení vadných dílů vyřazených v měsíci 07/2015 a následně se data zpracovala v Pareto-analýze.

Z počtů vadných dílů se sestavila tabulka, v níž jsou vypočteny data pro sestrojení Paretova grafu.

Tabulka 1: Data pro Paretův graf červenec 2015

Kód vady	Název vady	Počet vadných kusů ks	Kumulativní četnost ks	Procento vadných kusů %	Kumulativní % vadných kusů %	Zmetkovitost %
32	Bílé tečky (fleky)	3280	3280	30,65	30,65	6,76
33	Škrábance	2810	6090	26,26	56,92	5,79
31	Černé tečky (fleky)	2120	8210	19,81	76,73	4,37
34	Vadný odstín	1480	9690	13,83	90,56	3,05
37	Stříbření	530	10220	4,95	95,51	1,09
38	Spálené	210	10430	1,96	97,48	0,43
35	Nedokovené	120	10550	1,12	98,60	0,25
36	Překovené	90	10640	0,84	99,44	0,19
-	Ostatní vady	60	10700	0,56	100,00	0,12
Celkem:		10700		100,00		22,06

Na základě zjištěných a vypočtených dat se sestavil Paretův diagram pro jednotlivé vady zjištěné v měsíci červenci 2015.



Obr. 54: Paretova analýza červenec 2015

Dle Paretova pravidla z uvedené analýzy vyplývá, že pro snížení zmetkovitosti o přibližně 90% je potřeba odstranit první čtyři vady.

10 ANALÝZA PŘÍČIN PROBLÉMU

Pro analýzu problému a stanovení nápravných opatření byl sestaven tým ze zástupců technického úseku, výrobního úseku a oddělení řízení kvality v tomto složení:

- 1) vedoucí oddělení řízení jakosti
- 2) kvality inženýr odpovědný za projekt
- 3) technolog pokovení
- 4) technolog lisovny
- 5) mistr pokovení
- 6) mistr lisovny
- 7) kontrolor lisovny
- 8) seřizovač lisovny

Cílem projektu bylo snížit zmetkovitost u projektu Bezel pod 10%.

10.1 Stanovení hlavních a vedlejších příčin problému

Pro stanovení všech možných příčin problému jsem využila diagramu příčin a následku, u kterého jsem postupovala v následujících krocích:

1) DEFINOVÁNÍ NÁSLEDKU

Požadovaným následkem „cílem“ bylo snížení počtu vadných dílů u projektu Bezel pod 10%.

2) STANOVENÍ HLAVNÍCH PŘÍČIN

Jako hlavní příčiny, které ovlivňují zmetkovitost, jsem stanovila čtyři nejčtenější vady, které byly definovány v paretově analýze.

Jsou to:

- **Bílé tečky** (podílí se 30,65% na int. zmetkovitosti)
- **Škrábance** (podílí se 26,26% na int. zmetkovitosti)
- **Černé tečky** (podílí se 19,81% na int. zmetkovitosti)
- **Vadný odstín** (podílí se 13,83% na int. zmetkovitosti)

Tyto čtyři vady způsobují souhrnně 90,56% vad u řešeného projektu.

Mimo tyto čtyři kategorie jsem zařadila ještě obecnou skupinu, takzvané jiné (obecné) příčiny, které ovlivňují výskyt všech vad společně.

3) STANOVENÍ VEDLEJŠÍCH PŘÍČIN

Stanovení vedlejších příčin již probíhalo týmově.

Pro každou hlavní příčinu (vadu) jsme se pokoušeli nalézt jednak místo, kde mohla vada vzniknout, ale především důvod proč vznikla.

Prozatím jsme se snažili držet obecné roviny a nejít do detailních popisů.

BÍLÉ TEČKY (FLEKY)

- Příčiny vzniklé na lisovně
- Příčiny vzniklé na pokovení

ŠKRÁBANCE

- Příčiny vzniklé na lisovně
- Příčiny vzniklé na pokovení

ČERNÉ TEČKY (FLEKY)

- Mastnota na dílech z lisovny
- Mastnota na dílech z pokovení
- Prach na dílech z lisovny
- Prach na dílech z pokovení

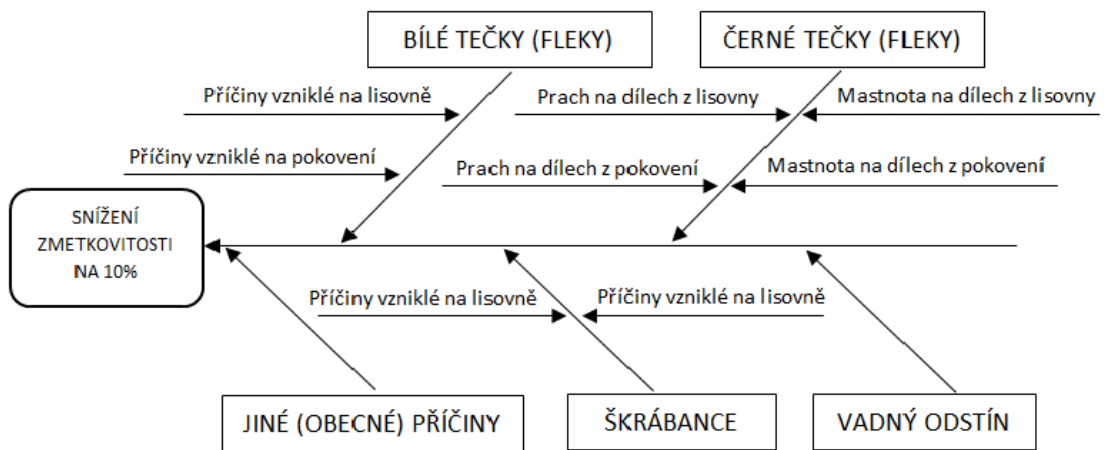
VADNÝ ODSTÍN

- Bez dalšího rozdělení, neboť příčiny jsou jen v procesu pokovení

JINÉ (OBECNÉ) PŘÍČINY

- Bez dalšího rozdělení

Výsledkem bylo sestavení hlavní struktury diagramu:



Obr. 55: Diagram příčin a následků

10.2 Stanovení kořenových příčin

U stanovení kořenových příčin se postupovalo metodou brainstormingu. U každé vedlejší příčiny se vytypovaly všechny možné kořenové příčiny. Při této činnosti se využilo principu metody 5x proč. Ke každé kořenové příčině bylo pro lepší orientaci přiřazeno identifikační číslo.

BÍLÉ TEČKY (fleky) - PŘÍČINY VZNIKLÉ NA LISOVNĚ

-19-	Znečistění výlisku slinami (mluvení)
-21-	Špatně vysušený materiál
-24-	Dlouhá doba mezi nalisováním a pokovením

BÍLÉ TEČKY (fleky) - PŘÍČINY VZNIKLÉ NA POKOVENÍ

-20-	Znečistění výlisků slinami před pokovením
-22-	Manipulace s pokovovanými díly ve špinavých rukavicích
-23-	Manipulace s pokovovanými díly bez rukavic

ŠKRÁBANCE - PŘÍČINY VZNIKLÉ NA LISOVNĚ

-17-	Nepořádek na pracovišti lisovny
------	---------------------------------

-25-	Škrábance od vtoků
-26-	Škrábance vzniklé neopatrnou manipulací s teplými výlisky
-27-	Poškození vzniklé při transportu
-28-	Mechanické poškození robotem při vyjímání dílu z formy

ŠKRÁBANCE - PŘÍČINY VZNIKLÉ NA POKOVENÍ

-18-	Nepořádek na pracovišti pokovení
-27-	Poškození při transportu
-29-	Škrábance vzniklé do zakládání do pokovovacích přípravků
-30-	Škrábance vzniklé při vyjímání z pokovovacích přípravků
-31-	Škrábance vzniklé při manipulaci s díly a balení

ČERNÉ TEČKY (FLEKY) - MASTNOTA NA DÍLECH Z LISOVNY

-06-	Mastnota na formě
-07-	Únik oleje z lisu
-08-	Mastnota z chapače manipulátoru
-10-	Mastnota (nečistota) na výlisku od dotyku rukou
-12-	Mastnota (nečistota) na výlisku od znečistěných rukavic

ČERNÉ TEČKY (FLEKY) - MASTNOTA NA DÍLECH Z POKOVENÍ

-11-	Mastnota (nečistota) na výlisku od dotyku rukou
-13-	Mastnota (nečistota) na výlisku od znečistěných rukavic
-15-	Únik oleje z pokovovacího zařízení
-16-	Únik oleje z ionizační pistole

ČERNÉ TEČKY (FLEKY) - PRACH NA DÍLECH Z LISOVNY

-01-	Prach na výliscích z prostředí lisovny
-04-	Prach na výliscích z balících jednotek
-09-	Znečištěno od dopravníku na lisovně
-14-	Znečištěno od dopravníku na lisovně
-17-	Nepořádek na pracovišti lisovny

ČERNÉ TEČKY (FLEKY) - PRACH NA DÍLECH Z POKOVENÍ

-02-	Prach na dílech z přípravy pokovení
-03-	Prach na výliscích z pokovovacích přípravků
-05-	Prach ze zaslepených otvorů v pokovovacím přípravku
-18-	Nepořádek na pracovišti pokovení

JINÉ (OBECNÉ) PŘÍČINY

-32-	Přísné posuzování vzhledových vad
-33-	Příliš silné osvětlení na pracovišti 100% kontroly

VADNÝ ODSTÍN

-34-	Nízké vakuum
-35-	Krátký čas pokovení
-36-	Velké množství hliníku v pokovovacím zařízení
-37-	Malé množství hliníku v pokovovacím zařízení

Během brainstormingu bylo vytipováno 37 reálných příčin, které mají přímý vliv na zvýšené procento vadných dílů.

Ke každé kořenové příčině bylo pro lepší orientaci přiřazeno identifikační číslo. V týmu bylo rozhodnuto, že určování priority by v tomto případě nebylo dostatečně objektivní a vzniklo by vysoké riziko, vypuštění příčiny s vysokým vlivem.

Z tohoto důvodu tým rozhodl, že se již nebudou určovat priority (závažnosti) pro jednotlivé kořenové příčiny, ale začneme se zabývat všemi. Proto jsme sestavili diagram příčin a následku viz. příloha č.1.

10.3 Sestavení plánu opatření

Pro každou příčinu byly vytipovány opatření, včetně odpovědnosti a termínu splnění. Tabulka je doplněna o stav jednotlivých opatření k 31.10.2015.

1. Prach na výliscích (lisovna)

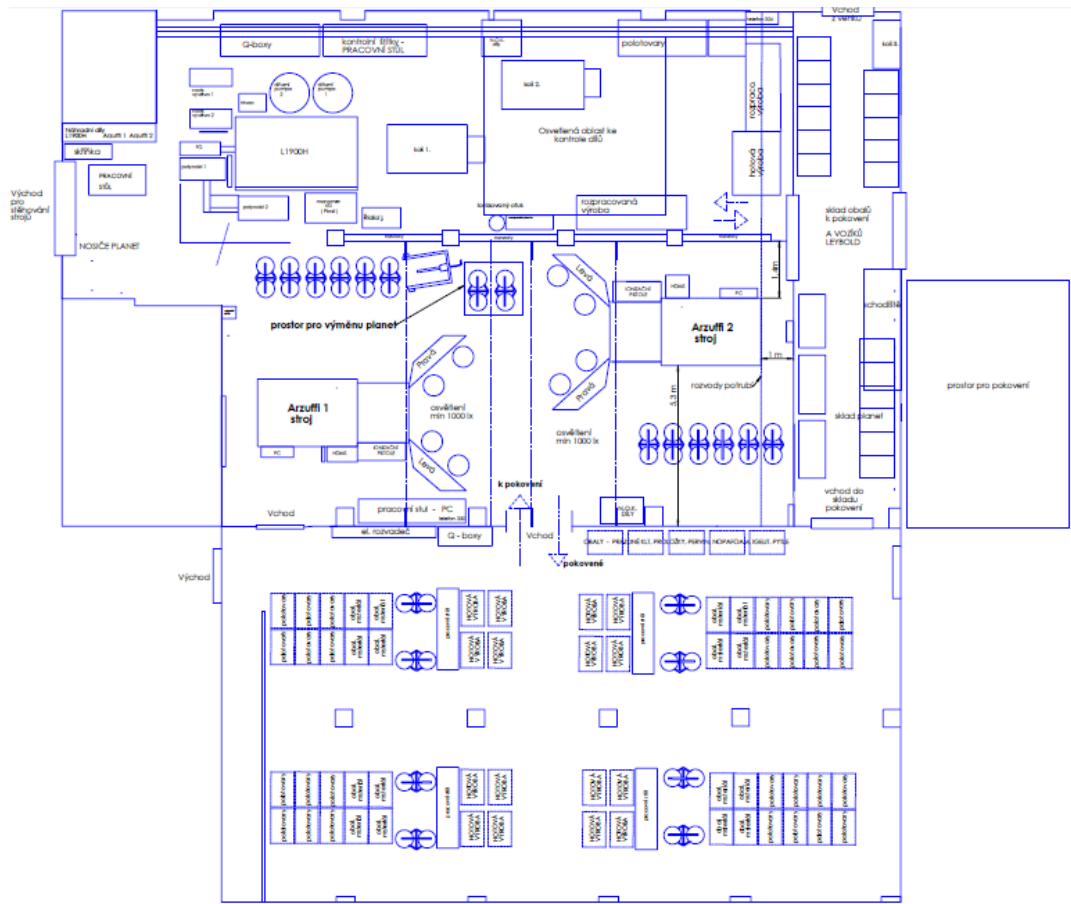
- | | |
|---|------------|
| • Návrh: přemístění lisů do izolované místnosti | Ved.TÚ |
| • Pravidelné čištění strojů | Mistr lis. |
| • Zákaz otevírání oken | Mistr lis. |
| • Pravidelný úklid 2x za směnu | Mistr lis. |

Termín od: 1.9.2015

2. Prach na výliscích (přípravna)

- | | |
|--|------------|
| • Návrh: zavedení přetlaku do místnosti pokovení | Ved.TÚ |
| • Pravidelné čištění strojů | Mistr pok. |
| • Zákaz otevírání oken | Mistr pok. |
| • Pravidelný úklid 2x za směnu | Mistr pok. |
| • Změna layoutu pokovení | Tech.pok. |

Termín od: 1.9.2015



Obr. 56: Layout pokovení

3. Prach na výliscích (šablony)

- Pravidelné čištění šablon
- Tech. postup pro ofuk dílů ionizačním zařízením
- Ofuk dílů ionizačním zařízením

Mistr pok.

Tech.pok.

Mistr pok.

Termín od: 1.10.2015



Obr. 57: Ofuk ionizačním vzduchem

K pokovovacímu zařízení se vypracoval postup pro správný ofuk dílů ionizačním zařízením, které má v konečném důsledku vliv na vzhledové vady výlisků, kdy eliminuje černé tečky a mlhy.

POSTUP SPRÁVNÉHO OFUKOVÁNÍ DÍLŮ IONIZAČNÍM ZAŘÍZENÍM

Před pokovením je nutné správně ofouknout díly / polotovary ionizačním zařízením.

Kontrolujeme zda je ionizační zařízení sepnuto a nastaven tlak max. 2,5 bar.

Dodržujeme vzdálenost mezi ofukovací pistolí a díly, která je 10 cm.

Doba pro ofukování jedné planety je minimálně 2 minuty.

Doba na ofuknutí dílů je přímo úměrná jejich velikost viz příklad:



regulace stlačeného vzduchu
provozní tlak MAX 2,5 bar

svítí li tlačítko ionizačního zařízení
je sepnuto

Předepsaná vzdálenost 10 cm

Obr. 58: Tech. postup ofuku ionizačním vzduchem

4. Prach na výliscích (balení)

- Manipulant balení vyfouká před navezení na dílnu

Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015

5. Nečistoty a prach se zalepených otvorů v přípravcích

- Při poškození otvorů v šablonách provést neprodleně opravu (nepřelepovat páskou)

Mistr

Termín od: 1.8.2015

6. Mastnota na formě (vzlínání oleje v oblasti vyhazovačů, popř. v dělicí rovině)

- 2 x za směnu čistit formu
- 2 x za směnu kontrola pokovením
- odmašťování dílů dle TP

Mist lis.

Kontrola

Tech.pok

Termín od: 1.10.2015

ODMAŠŤOVÁNÍ DÍLU PŘED POKOVENÍM

Díly odmašťovat pouze lihovým čističem k tomu určeným viz obrázek:

Použít bavlněný (100%) kulatý tampon, nebo čistou rukavici bavlněnou (100%).



Obr. 59: Odmašťování dílů před pokovením

7. Únik oleje z lisu (může nastat v případě netěsností hadic, spojek atd.)

- 1 x za směnu vizuálně kontrolovat těsnost spojek

Seřizovač

chladícího rozvodu

Termín od: 1.8.2015

8. Mastnota z chapače manipulátoru (znečištěna část chapače, která přijde do styku s výliskem

- 2 x za směnu čistit chapač manipulátoru Mist lis.
- 2 x za směnu kontrola pokovením Kontrola

Termín od: 1.10.2015

9. Nečistoty v granulátu

- 2 x za směnu kontrola pokovením Kontrola
- uzavření nádob na granulát na lisovně Mist lis.

Termín od: 1.10.2015

10. Mastnota (nečistota) na výlisku od dotyku rukou. (znečištěno na lisovně)

- Příkaz pracovat v rukavicích Mist lis.
- Zákaz dotýkat se pokovovaných částí Mist lis.

Termín od: 1.8.2015

11. Mastnota (nečistota) na výlisku od dotyku rukou (znečištěno na pokovení)

- Při manipulaci s kartony a přípravky nepoužívat rukavice Mistr pok.
- Okamžitá výměna rukavic při znečištění. Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015

12. Mastnota (nečistota) na výlisku od zneč. rukavic. (znečištěno na lisovně)

- Příkaz pracovat v rukavicích Mistr lis.
- Zákaz dotýkat se pokovovaných částí Mistr lis.

Termín od: 1.8.2015

13. Mastnota (nečistota) na výlisku od zneč. rukavic.(znečištěno na pokovení)

- Při manipulaci s kartony nepoužívat rukavice. Mistr pok.

- Okamžitá výměna rukavic při znečištění.

Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015

14. Znečištěno od dopravníku na lisovně (pás, na kterém díly chladnou)

- Čistění pásu dle postupu

Mistr lis.

Termín od: 1.10.2015

15. Únik oleje z pokovovacího zařízení.

- Pravidelná údržba po stanoveném počtu cyklů

Tech. pok





Termín od: 1.10.2015

16. Únik oleje, nečistoty z ionizační pistole.

- Kontrola ionizace – pistole, očistit jehlu 1x denně

Mistr pok.

Termín od: 1.10.2015

PLÁN ÚDRŽBY VAKUOVÉHO ZAŘÍZENÍ ARZUFFI	
kontrolu provádíme denně dle předpisu	
* PŘÍLOHA DENNÍ ZÁZNAM O PROVEDENÍ KONTROLY, ZAŠKOLENÍ	
	stav a kvalita oleje vývěv, olejníky (hladina max/min)
	stav monomeru HMDSI (hladina max/min) teplota boxu monomeru 35°C ± 5°C
	teplota a tlak Polycololů die rysek
	teplota a tlak chladicího systému (VODA) max 18°C / min 2 bar
	kontrola tlaku stlačeného vzduchu min: 6 bar max: 8 bar
	vizuální prohlídka stroje, úniky medí, nečistoty
	kontrola stavu těsnění příruby dvířek komory očistit 2 x za směnu (vysát vysavačem komoru, dvířka, them očtit příruby)
	pravidelná výměna katod die předepsaného intervalu
	kontrola parametrů stroje - receptury die Technologického postupu vyráběného dílu
	kontrola ionizace - pistole, očistit jehlu 1 x denně

Obr. 60: Plán údržby

17. Nepořádek na pracovišti – lisovna

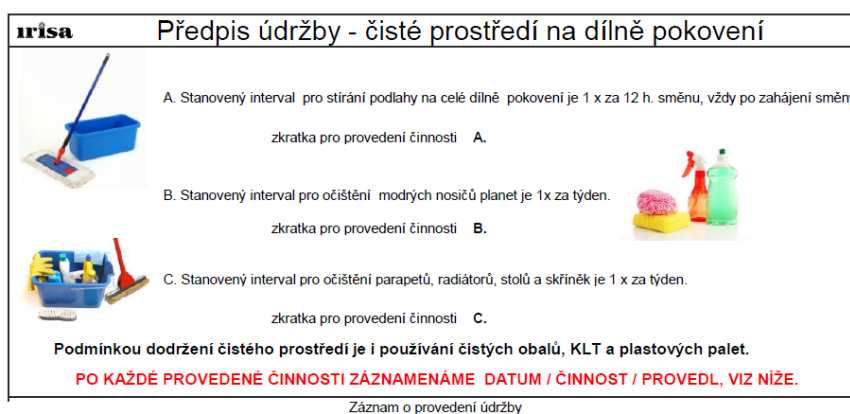
- Udržovat pořádek na pracovišti operátor
- Kontrola pořádku na pracovišti Mistr lis.

Termín od: 1.8.2015

18. Nepořádek na pracovišti – pokovení

- Udržovat pořádek na pracovišti operátor
- Kontrola pořádku na pracovišti Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015



Obr. 61: Předpis čistého prostředí

19. Znečištění výlisku slinami – lisovna (mluvení nad výlisky na lisovně)

- při lisování dílů na pokovení používat roušky Mistr lis.

Termín od: 1.10.2015

20. Znečištění výlisku slinami – přípravna (mluvení nad výlisky na přípravně)

- nemluvit nad výlisky operátor

Termín od: 1.8.2015

21. Stříbření na výlisku (špatně vysušený materiál)

- sušení materiálu dle TP Mistr lis.
- Instalace sušičky přímo na lis TÚ
- Optimální nastavení stroje – rozjezd výroby seřizovač

- snaha o co nejdelší lisovací série plánovač

Termín od: 1.10.2015

22. Manipulace s díly ve znečištěných rukavicích (pokovené díly na pokovení)

- příkaz pracovat v rukavicích Mistr pok.
- zákaz dotýkat se pokovovaných částí Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015

23. Manipulace s díly bez rukavic (pokovené díly na pokovení)

- při manipulaci s kartony a přípravky nepoužívat rukavice Mistr pok.
- okamžitá výměna rukavic při znečištění Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015

24. Dlouhá doba mezi nalisováním a pokovením (stáří výlisku před pokovením)

- lisovat předzásobu max. na 3 dny Ved. výr.
- polotovary na pokovení odebírat dle FIFO Mistr pok.

Termín od: 1.9.2015

25. Škrábance – lisovna (škrábance od vtoků)

- opatrně odlamovat vtoky Mistr lis.
- vtoky odkládat stranou na předem určené místo Mistr lis.

Termín od: 1.10.2015

26. Škrábance – lisovna (vzniklé neopatrnou manipulací s teplými výlisky)

- díly odebírat po zchládnutí na konci pásu Mistr lis.
- zakrýt pás, aby se díly daly odebírat pouze na konci pásu TÚ

Termín od: 1.10.2015

27. Poškození vzniklé při transportu (škrábance, odřený povrch)

- nové mezioperační balení TÚ

Termín od: 1.10.2015



Obr. 62: Nové mezioperační balení

28. Mechanické poškození robotem při vyjímání dílů z formy

- nový chapač určený pro pokovené díly
- změna trasy robotu

TÚ

Seřizovač

Termín od: 1.10.2015

29. Škrábance pokovení (vkládání do pokovovacích planet)

- opatrně manipulovat s díly při nasazování do planet
- operátoři musí zakládat díly do přípravku v čistých rukavicích
- namátková kontrola operátorů
- nepoužívat obyčejné rukavice, ale rukavice určené pro pokov

Operátor

Operátor

Mistr pok.

Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015



Obr. 63: Nasazování dílů na planety

30. Škrábance pokovení (vyjímání z pokovovacích planet)

- opatrně manipulovat s díly při vyjímání z přípravků Operátor
- operátoři musí vyjímát díly z přípravku v čistých rukavicích Operátor
- namátková kontrola operátorů Mistr pok.
- nepoužívat obyčejné rukavice, ale rukavice určené pro pokov Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015



Obr. 64: Vyjímání dílů z pokovovacího zařízení

31. Škrábance vzniklé při manipulaci s díly a balení (dílna pokovení)

- opatrně manipulovat s díly při manipulaci a balení Operátor
- operátoři musí pracovat v čistých rukavicích Operátor
- namátková kontrola operátorů Mistr pok.

Termín od: 1.8.2015



Obr. 65: Manipulace s díly při balení

32. Přísné posuzování vzhledových vad

- zaslání nových hraničních vzorků na posouzení zákazníkovi QE
- balení vadných dílů do balících jednotek (abychom zabránili jejich poškození) Operátor
- namátková kontrola vyřazených vadných dílů + vracení pracovníkovi na přetřídění v případě nalezení dobrých dílů Kontrola

Termín od: 1.10.2015

33. Příliš silné osvětlení na pracovišti

- instalace osvětlení intenzity denního světla min. 1000 luxů TÚ

Termín od: 1.10.2015

34. Nízké vakuum

- při výskytu nesundávat díly z přípravku a neprodleně přivolat Technologa Tech.pok.
- zavedení opatření ke zvýšení vakua v pokovovací komoře Tech.pok.

Termín od: 1.10.2015

35. Krátký čas pokovení

- Dodržování předepsané receptury pokovení Mistr pok.
- Záznam nastavené doby pokovování Tech.pok.
- Namátková kontrola Mistr pok.
- Zkouška NaOH 1% + Mřížkový test Operátor

Termín od: 1.10.2015

36. Velké množství hliníku v pokovovacím zařízení

- Používání předepsaného počtu spirál Tech.pok.
- Kontrola a případná výměna spirál před každou navázkou Tech.pok.

Termín od: 1.10.2015

37. Malé množství hliníku v pokovovacím zařízení

- Používání předepsaného počtu spirál Tech.pok.
- Kontrola a případná výměna spirál před každou navázkou Tech.pok.

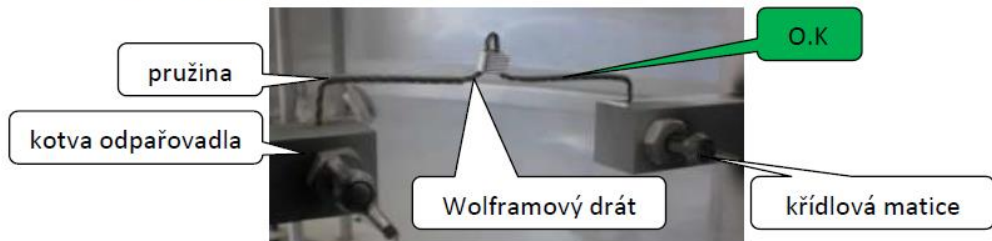
Termín od: 1.10.2015

Nakládka wolframového drátu na odpařovadlo

Drát vkládáme do kotvy odpařovadla, utáhneme křídlovou matku přiměřenou silou, nepoužívat náradí !

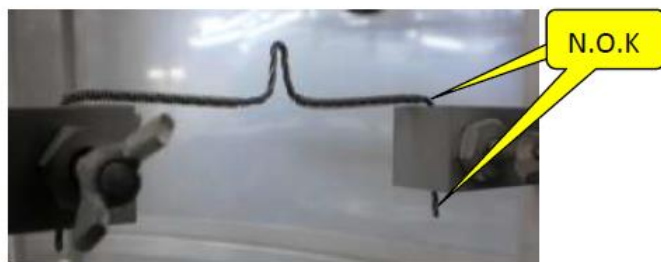
Výměnu provádíme po 15 cyklech, nebo jeli drát prasklý.

1. Dobře založený Wolframový drát O.K



Obr. 66: Dobře založený wolframový drát

2. Nesprávné založení wolframového drátu, drát leží na kotvě odpařovadla.



Obr. 67: Špatně založený wolframový drát

3. Nesprávné založení drátu, stáhla pružina od středu drátu !



Obr. 68: Nesprávně založený wolframový drát

4. Silně překovený Wolframový drát, nutná okamžitá výměna !



Obr. 69: Překovený wolframový drát

10.4 Zhodnocení stavu po realizaci nápravných opatření

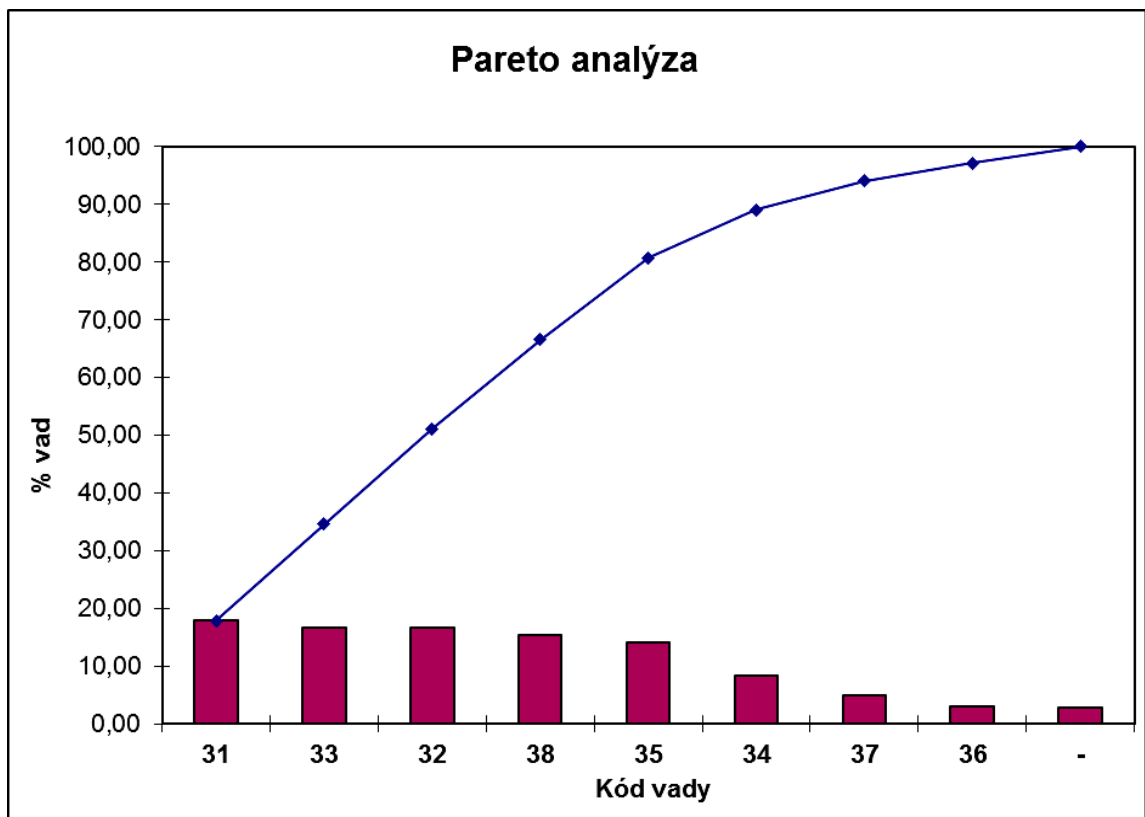
Níže je zobrazena Paretova analýza za měsíc listopad 2015, ze které je patrný pokles procenta vadných dílů u řešeného projektu a to z cca. 22% na cca. 12%.

Cíl snížit % vadných dílů na 10% sice nebyl splněn, ale aktuální snížení počtu vadných dílů znamenalo v praxi úsporu cca. 143.000Kč.

Tabulka 2: Data pro Paretův graf listopad 2015

Kód vady	Název vady	Počet zmetků ks	Kumulativní četnost ks	Procento zmetků %	Kumulativní % zmetků %	Zmetkovitost %
31	Černé tečky (fleky)	1210	1210	17,90	17,90	2,15
33	Škrábance	1130	2340	16,72	34,62	2,01
32	Bílé tečky (fleky)	1120	3460	16,57	51,18	1,99
38	Spálené	1040	4500	15,38	66,57	1,85
35	Nedokovené	960	5460	14,20	80,77	1,71
34	Vadný odstín	560	6020	8,28	89,05	0,99
37	Stříbření	340	6360	5,03	94,08	0,60
36	Překovené	210	6570	3,11	97,19	0,37
-	Ostatní vady	190	6760	2,81	100,00	0,34
Celkem:		6760		100,00		12,01

Na základě zjištěných a vypočtených dat se sestavil Paretův diagram pro jednotlivé vady zjištěné v měsíci listopad 2015.



Obr. 70: Paretova analýza listopad 2015

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo analyzovat příčiny zmetkovitosti pokovených dílů ve výrobním procesu se zaměřením na konkrétní výrobek.

V teoretické části byla zpracována literární rešerše na téma vakuového pokovení, vad vznikajících při pokovení, kvality, kontroly kvality ve výrobě a procesu řízení neshod. Zmíněny byly i nástroje řízení kvality využití v praktické části. Diplomová práce byla dále zaměřena na konkrétní produkt, který byl určen pomocí Paretovy analýzy.

Pro stanovení všech možných příčin problému se využil diagram příčin a následku, u kterého se nejdříve definoval následek, kdy požadovaným cílem bylo snížení počtu vadných dílů u projektu Bezel pod 10%. Poté se stanovily hlavní příčiny ovlivňující zmetkovitost a čtyři nejčtetnější vady, které byly definovány v paretově analýze. Tyto čtyři vady způsobují souhrnně cca 90% vad u řešeného projektu. Mimo tyto čtyři kategorie se zařadila ještě obecná skupina, takzvané jiné (obecné) příčiny, které ovlivňují výskyt všech vad společně. Stanovení vedlejších příčin již probíhalo týmově. Pro každou hlavní příčinu (vadu) jsme se pokoušeli nalézt jednak místo, kde mohla vada vzniknout, ale především důvod, proč vznikla.

U stanovení kořenových příčin se postupovalo metodou brainstormingu a u každé vedlejší příčiny se vytipovaly všechny možné kořenové příčiny. Při této činnosti se využilo principu metody 5x proč. Během brainstormingu bylo vytipováno 37 reálných příčin, které mají přímý vliv na zvýšené procento vadných dílů. Pro každou příčinu byly vytipovány opatření, včetně odpovědnosti a termínu splnění.

V závěru práce je zobrazena Paretova analýza za měsíc listopad 2015, ze které je patrný pokles procenta vadných dílů u řešeného projektu a to z cca. 22% na cca. 12%.

Cíl snížit % vadných dílů na 10% sice nebyl splněn, ale aktuální snížení počtu vadných dílů znamenalo v praxi úsporu cca. 143.000Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] DUBRAVCOVÁ, Viera. *Vákuová a ultravákuová technika: vysokošk. učebnice pre Elektrotech. fak. STU*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1992, 231 s. Edícia elektrotechnickej literatúry (Alfa).
- [2] GROSZKOWSKI, Janusz. *Technika vysokého vakua*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 438 s. Řada teoretické literatury.
- [3] JURČÍČEK, Vladimír. *Kniha o vakuu 2005*.
- [4] VEBER, Jaromír. *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2007, 201 s. Manažer. ISBN 978-80-247-1782-1.
- [5] [online]. [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://www.ctenarska-gramotnost.cz/projektove-vyucovani/pv-metody/metody-1>
- [6] ISHIKAWA, Kaoru. *Co je celopodnikové řízení jakosti ? Japonská cesta*. Praha: Česká společnost pro jakost, 1994, 175 s. ISBN 80-02-00974-6.
- [7] [online]. [cit. 2016-01-04]. Dostupné z: http://www.spssol.cz/wordpress/wp-content/blogs.dir/1/files/DUM/Jak/2.sada/4_-_PDCA_5x_proc.pdf
- [8] OSTRÁ, V. Pokovování plastů. [online]. [cit. 20. února 2010]. Dostupné na: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200909_povrchari.pd
- [9] Jiří Chaloupka. *Jednoduše kvalita*. Pre-press: Red Cat. ISBN 978-80-254-1346-3.
- [10] [Http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=76](http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=76) [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=76>
- [11] [Www.upce.cz/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf](http://www.upce.cz/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf) [online]. [cit. 2016-03-13].
- [12] *Firemní prezentace Leybold*.
- [13] TOŠENOVSKÝ, Josef. *Statistické metody pro zlepšování*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN ISBN 80-85943-63-8.
- [14] [online]. In: . [cit. 2016-02-14]. DOI: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/snizeni-rizika-vzniku-vad-pri-vstrikovani-plastovych-dilu.html>.
- [15] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů : úvod do vstřikování termoplastů*. 1 vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3
- [16] [Http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-2-dil-vady-tvaru-a-rozmerove-vady.html) [online]. In: . [cit. 2016-02-18].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Magdeburské polokoule [1].....	12
Obr. 2: Čerpání uzavřeného prostoru [2]	14
Obr. 3: Laminární proudění [2].....	14
Obr. 4: Polymolekulární vrstva [2]	15
Obr. 5: Molekulární proudění [2]	15
Obr. 6: Molekulární vrstva [2].....	15
Obr. 7: Neúplná monomolekulární vrstva [2].....	16
Obr. 8: Rotační olejová vývěva – Balzers [3].....	17
Obr. 9: Rotační olejová vývěva – Leybold [12].....	18
Obr. 10: Výchozí poloha lopatek [3]	18
Obr. 11: Posun lopatky za otvor gasbalastu [3]	18
Obr. 12: Vytlačení vzduchu lopatkou [3]	18
Obr. 13: Dokončení vytlačení vzduchu a vodní páry [3].....	19
Obr. 14: Vývěva s kolujícím rotorem [3].....	19
Obr. 15: Vývěva s kolujícím rotorem [3].....	20
Obr. 16: Rootsova vývěva [12].....	20
Obr. 17: Schématický řez Rootsovou vývěvou [3].....	21
Obr. 18: Vzduch proudící nad rotory [3]	21
Obr. 19: Uzavřený vzduch mezi stěnou a rotorem [3].....	21
Obr. 20: Vytlačování vzduchu do výstupního otvoru [3]	22
Obr. 21: Vytlačování vzduchu do výstupního otvoru [3]	22
Obr. 22: Obtokový kanál s pojistným ventilem [3]	23
Obr. 23: Schéma difúzní vývěvy [2].....	23
Obr. 24: Turbomolekulární vývěva [12].....	24
Obr. 25: Schéma turbomolekulární vývěvy [3]	25
Obr. 26: Řez turbomolekulární vývěvou [12].....	25
Obr. 27: Elektromagnetický rohový ventil [3].....	27
Obr. 28: Pneumatický rohový ventil [3]	27
Obr. 29: Přímé ventily [12].....	28
Obr. 30: Vakuometr s Burdovým perem [3].....	29
Obr. 31: Termoměrka Pirani [3]	30

Obr. 32: Penning [3]	31
Obr. 33: Bayardův–Alpertův vakuometr [12].....	32
Obr. 34: Baratron [3]	34
Obr. 35: Bombardování polymerové vrstvy [12].....	35
Obr. 36: Nanášení plasilu [12].....	38
Obr. 37: Paretův graf – 1.krok [9].....	40
Obr. 38: Paretův graf – 2.krok [9].....	41
Obr. 39: Paretův graf [9].....	42
Obr. 40: Ishikawův diagram příčin a následků [6].....	44
Obr. 41: Cyklus PDCA [4]	45
Obr. 42: Lisování	52
Obr. 43: Mezioperační balení	52
Obr. 44: Pokovený díl	53
Obr. 45: Expediční balení	53
Obr. 46: Díl s modulem	54
Obr. 47: Díl s modulem	54
Obr. 48: Náklady lisovna	55
Obr. 49: Náklady lisovna	55
Obr. 50: Příprava procesu lisování.....	57
Obr. 51: Proces lisování.....	58
Obr. 52: Příprava procesu pokovení	58
Obr. 53: Příprava procesu pokovení	59
Obr. 54: Paretova analýza červenec 2015	61
Obr. 55: Diagram příčin a následků.....	64
Obr. 56: Layout pokovení	68
Obr. 57: Ofuk ionizačním vzduchem.....	69
Obr. 58: Tech. postup ofuku ionizačním vzduchem.....	69
Obr. 59: Odmašťování dílů před pokovením.....	70
Obr. 60: Plán údržby	72
Obr. 61: Předpis čistého prostředí.....	73
Obr. 62: Nové mezioperační balení	75
Obr. 63: Nasazování dílů na planety.....	76
Obr. 64: Vyjímání dílů z pokovovacího zařízení.....	76

Obr. 65: Manipulace s díly při balení	77
Obr. 66: Dobře založený wolframový drát	79
Obr. 67: Špatně založený wolframový drát.....	79
Obr. 68: Nesprávně založený wolframový drát	79
Obr. 69: Překovený wolframový drát.....	80
Obr. 70: Paretova analýza listopad 2015	81

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Data pro Paretův graf červenec 2015.....	60
Tabulka 2: Data pro Paretův graf listopad 2015	80

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Diagram příčin a následků

Příloha P II: CD

PŘÍLOHA P I: DIAGRAM PŘÍČIN A NÁSLEDKŮ

