VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

VLIV VÝROBNÍHO PROCESU NA DEFORMACI HRDEL U VZDUCHOJEMŮ

THE INFLUENCE OF THE DEFORMATION PROCESS THROATS ON AIR TANKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE ONDŘEJ OSIČKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. KATEŘINA MOURALOVÁ
SUPERVISOR

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ondřej Osička

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

Vliv výrobního procesu na deformaci hrdel u vzduchojemů

v anglickém jazyce:

The influence of the deformation process throats on air tanks

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika spočívá v deformaci tvářených závitů v průběhu výroby vzduchojemů pro automobilový průmysl, ve firmě Frauenthal automotive, během celého procesu výroby (od navaření hrdel až po konečnou kalibraci). Je měřen střední průměr závitu hrdla vždy na 3 místech (kolmice a do úhlopříčky) a průchodnost kalibru po každém kroku ve výrobě.

Cíle bakalářské práce:

Sestavit práci, která bude obsahovat statistické zpracování dat naměřených na závitech u hrdel vzduchojemů v průběhu jejich výroby, v závislosti na technologickém postupu, který byl proveden, a posoudit jejich chování v jednotlivých krocích výroby.

Seznam odborné literatury:

PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. Jakost a metrologie: Část: metrologie. 1. vyd. Brno: CERM, 2001, 151, 4 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1997-0
FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
KŘÍŽ, Rudolf, Pavel VÁVRA a Josef VAČKÁŘ. Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. Vyd.1. Praha: Scientia, 1996, 216 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-718-3024-0
KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0
MOHYLA, Miroslav. Technologie povrchových úprav kovů. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kateřina Mouralová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 30. 10. 2014

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá deformací hrdel v procesu výroby vzduchojemů do automobilového průmyslu. Skládá se ze dvou hlavních částí, kde v první je popsán proces výroby vzduchojemů a ve druhé proces deformace hrdel, které byly experimentálně přezkoumány. Dále je zde uvedena analýza, výsledky a návrh optimálního postupu přímo v praxi.

Klíčová slova

Výrobní proces, tváření, svařování, povrchové úpravy, měření závitů

ABSTRACT

The bachelor deals with deformation throats during the production for automotive industry.Work consists of two parts, the first part describes the air tanks manufacturing process and in the second part is describes the throats deformation process, which was experimentally examined. There is also an analysis of the results and an optimal process directly in practice.

Key words

Manufacturing proces, forming, welding, surface finishes, thread measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OSIČKA, O. *Vliv výrobního procesu na deformaci hrdel u vzduchojemů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřina Mouralová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vliv výrobního procesu ne deformaci hrdel u vzduchojemů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum	Ondřej Osička

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Kateřině Mouralové z Vysokého učení technického v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem lidem ze společnosti pro Frauenthal Automotive, kteří mi nějakým způsobem poskytli cenné informace, obzvláště pak Ing. Lukáši Úředníčkovi za poskytnutí hodnotných informací pro vypracování bakalářské práce. Poděkování také patří mé rodině za podporu během mého celého studia na Vysokém učení technickém v Brně.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 FRAUENTHAL AUTOMOTIVE 10
1.1 Základní informace 10
1.2 Historie společnosti 10
1.3 Hlavní výrobky 10
1.4 Závod v Hustopečích 11
2 VÝROBA VZDUCHOJEMŮ 12
2.1 Funkce vzduchojemů 12
2.2 Výrobní proces vzduchojemů 13
2.3 Rovnání 13
2.4 Stříhání 14
2.4.1 Stříhání plášťů 15
2.4.2 Stříhání den 15
2.5 Tváření 16
2.5.1 Tváření plášťů 16
2.5.2 Tváření den 16
2.6 Svařování vzduchojemů 18
2.6.1 Podélné svařování 20
2.6.2 Navařování hrdel do plášťů a den 20
2.6.3 Obvodové svařování 20
2.7 Tryskání vzduchojemů 20
2.7.1 Mechanické tryskání 20
2.7.2 Tryskání vzduchojemů v praxi 21
2.8 Hydraulická zkouška 21
2.9 Fosfátování 21
2.8.1 Zn-fosfátování 22
2.8.2 Fosfátování vzduchojemů 22
2.10 Lakování 24
2.10.1 Vnitřní lakování vzduchojemů 25
2.10.2 Vnější lakování vzduchojemů 25

2.10.3 Vypalování barvy 25
2.11 Výstupní kontrola, balení a export 25
3 MĚŘENÍ HRDEL 26
3.1 Účel hrdel 26
3.2 Postup měření 26
3.2.1 Ukázkový výpočet měření hrdel 26
3.2.2 Měření surových hrdel 28
3.2.3 Měření po navaření hrdel 29
3.2.4 Měření po tryskání 30
3.2.5 Měření po hydraulické zkoušce 31
3.2.6 Měření po fosfátování 32
3.2.7 Měření po lakování 33
3.2.8 Měření po výstupní kontrole 34
3.2.9 Porovnání všech měření 35
3.2.10 Měření kalibrem 36
4 EKONOMICKÉ HLEDISKO HRDEL 37
5 DISKUZE 38
ZÁVĚR 40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 43
SEZNAM PŘÍLOH 45

ÚVOD

Dosažení úspěchu v dnešní průmyslové praxi, obzvláště pak v automobilovém průmyslu, vyžaduje neustálé věnování pozornosti zlepšování s cílem optimalizace jednotlivých výrobních procesů. Účelem je snížení výrobních nákladů, ale i snížení zmetkovitosti jednotlivých kusů, proto je snahou zachovat vysoké výrobní standardy požadované zákazníky, ale zároveň hledat možná co nejefektivnější způsoby výroby.

Výrobní proces vzduchojemů je poměrně složitý cyklus po sobě jdoucích základních operací (stříhání, tváření, svařování, tryskání, fosfátování, lakování), do kterého ale vstupuje spousta faktorů, jež můžou mít negativní vliv na výsledný produkt. Jelikož je snahou neustále zlepšovat výrobu vzduchojemů, dochází tedy k výrobním problémům, nebo dokonce výrobě zmetků jak těch, které se dají ještě opravit, tak těch neopravitelných. Jedním ze způsobů vyhodnocení výrobní kvality je kontrola vyráběných kusů přímo v provozu. Celý proces kontroly vzduchojemů byl proveden ve společnosti Frauenthal Automotive, a to v jejich závodě, který se nachází v Hustopečích.

Bakalářská práce je rozdělena do pěti částí. První část nazvaná Frauenthal Automobile je zaměřená na seznámení se společností, její historií a jejími hlavními výrobky. Druhá část nazvaná Výroba vzduchojemů se věnuje popisu výrobního procesu vzduchojemů jak z hlediska vysvětlení teorie jednotlivých kroků, tak i popisu obecných a konkrétních procesů přímo v průmyslové praxi. Ve třetí části nazvané Měření hrdel se věnujeme statistickému vyhodnocení měření jednotlivých rozměrů hrdel na základě pracovních kroků, které byly provedeny. Ve čtvrté části nazvané Ekonomické hledisko hrdel je pak uveden ceník jednotlivých hrdel za odebrané čtvrtletí, vysvětlen rozdíl mezi dodavateli a jsou zde uvedeny i počty odebraných kusů. V poslední páté části nazvané Diskuze se zaobíráme vyhodnocením měření, možnými příčinami, které lze vyvodit z chování hrdel, ale i návrhy případných změn.

1 FRAUENTHAL AUTOMOTIVE

1.1 Základní informace

Frauenthal Automotive je společnost založená roku 2002, zaměřuje se na výrobu produktů pro nákladní automobily. Má celkem devět závodů v sedm zemích Evropy a jeden závod v Číně. V současné době vykazuje společnost roční zisk 267,4 mil euro s počtem zaměstnanců přesahující 2100 osob. Zároveň je jedním z největších výrobců ve svém segmentu na světě.

Obr. 1 Logo společnosti Frauenthal Automotive [1].

1.2 Historie společnosti

Vznik společnosti Frauenthal Automotive započal v roce 2002, kdy byly založeny první podniky v Rakousku a Německu. Následně během několika let následovaly další nové závody po celé Evropě. V současné době má více než 100 let zkušeností v oboru [1].

Tab. 1. Historie společnosti Frauenthal Automotive [1].

2002	Začátek výroby listových pružin ve Vídni.
2003	Frauenthal získal finskou továrnu v Billnäs .
2004	Frauenthal získává Linnemann-Schnetzer Group, lídra na trhu ve výrobě vzduchových nádob pro brzdové systémy.
2007	Získání továrny v Polsku.
2009	V důsledku krize je snižována kapacita zaměstnanců v jednotlivých závodech.
2010	Firma úspěšně přežila krizi a začíná pro ni nová éra.
2012	Frauenthal získává výrobce vzduchojemů Worthington Cylinders a.s. se sídlem v Hustopečích.
2013	Worthington Cylinders je přejmenován na Frauenthal Automotive Hustopeče s.r.o.

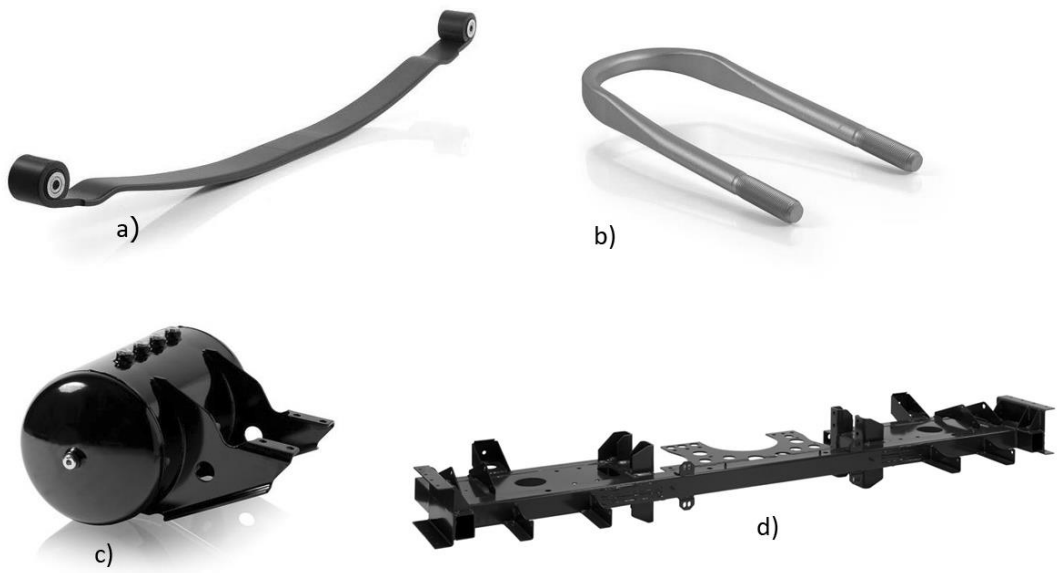
1.3 Hlavní výrobky

Produkty (viz obr. 2):

- drobné listové pružiny,
- svorky,
- nádrže na stlačený vzduch,
- výlisky a svařované komponenty.

Frauenthal Automotive má na trhu podíl více než 60 % a je zdaleka největším výrobcem nádrží na stlačený vzduch v Evropě. Výrobní zařízení jsou umístěna v Elterlein (Německo) a Hustopečích (Česká republika) [1].

Své výrobky dodává do celého světa jak pro automobilový průmysl, tak i pro velkoobchodníky a distributory. Mezi zákazníky patří hned několik renomovaných mezinárodních značek jako jsou Man, Volvo, Renault, Scania [1].



Obr. 2 Sortiment výrobků společnosti Frauenthal Automotive:
a) listové pružiny, b) svorky, c) vzduchojemy, d) svařované komponenty [1].

1.4 Závod v Hustopečích

V dnešní době se závod v Hustopečích zaměřuje pouze na výrobu vzduchojemů a tlakových nádob, které se zde vyrábějí již od roku 1954. Dříve se zde také vyráběly nádoby na zkapalněný plyn, s jejich výrobou ale společnost definitivně skončila v roce 2007. Vzduchojemy se vyrábí v souladu s předpisy ČSN ISO/TS 16949:2002, ČSN EN ISO 14001:2005 a ČSN EN 286-2:1994, které platí pro užitková vozidla. V roce 2006 získala společnost ocenění pro nejlepšího dodavatele společností Man, Volvo a Renault.

Obr. 3 Sídlo společnosti v Hustopečích.

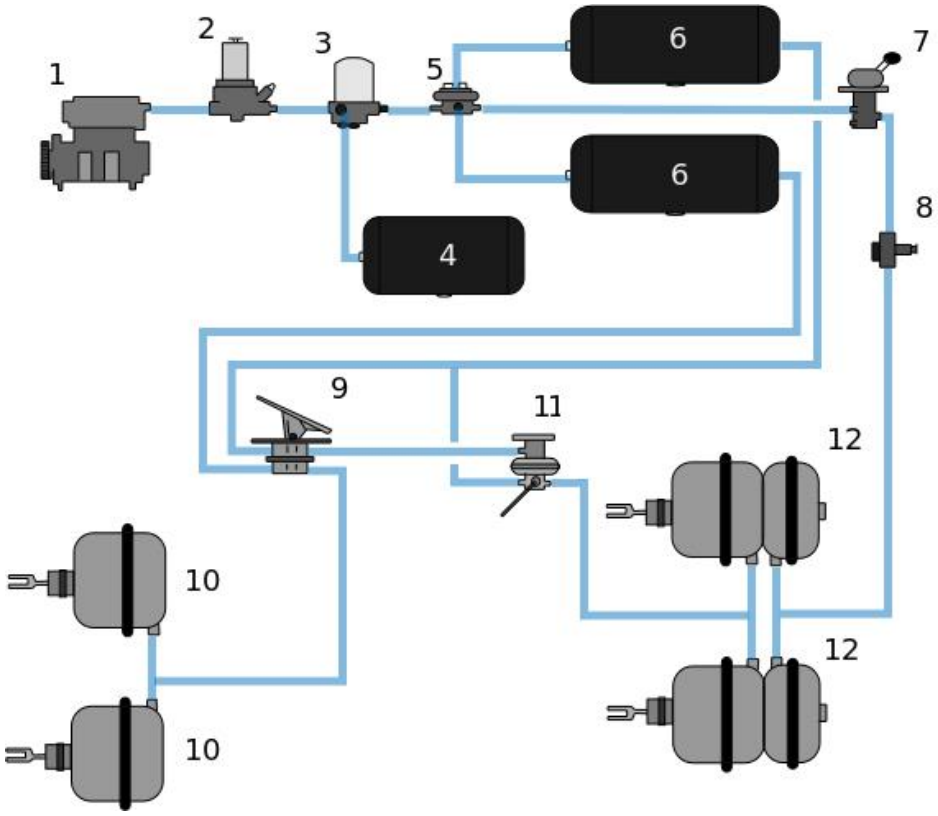
2 VÝROBA VZDUCHOJEMŮ

2.1 Funkce vzduchojemů

Vzduchojem je jednou z hlavních částí pneumatických brzdových systémů, kde se používají vzduchové brzdy, převážně tedy u nákladních a užitkových automobilů, ale i vlakových souprav.

Základní princip vzduchové brzdy spočívá v nahrazení síly řidiče důraznější silou stlačeného vzduchu. Současně systém vzduchových brzd (s pružinovými vzduchovými válci) umožňuje i samočinné zabrzdění vozidla v případě závady na dodávce stlačeného vzduchu [2].

Vzduchové brzdy se využívají u nákladních automobilů, přívěsů a návěsů. Jsou preferovaným druhem brzdového systému pro tato vozidla z několika důvodů. U více vozidlové jednotky jsou všechny jednotky spojeny tak aby mohly být ovládány z kabiny. Kromě toho použití vzduchové brzdové soustavy umožňuje zabudování nouzového brzdového systému. Systémy nouzového brzdění jsou povinné na všech typech návěsů [3].



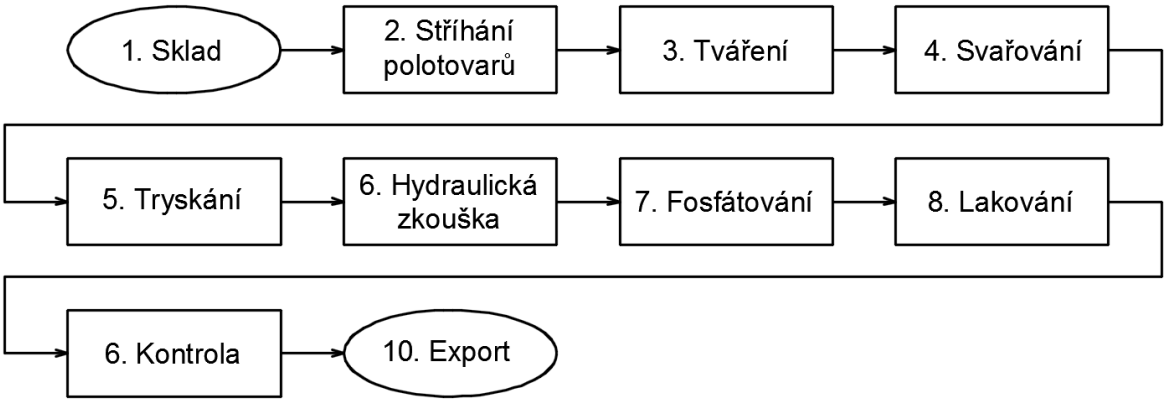
Obr. 4 Zjednodušené schéma vzduchové brzdy pro silniční vozidla (1 – Kompresor, 2 – Regulátor tlaku, 3 – Vysoušeč vzduchu, 4 – Regenerační ventil, 5 – Ventil, 6 – Vzduchojem 7 – Ruční ovládání brzdy, 8 – Bezpečnostní ventil, 9 – Nožní ovládání brzdy, 10 – Přední vzduchové brzdy, 11 – Regulátor brzdné síly, 12 – Zadní vzduchové brzdy) [4].

Vzhledem k množství zařízení, které se vzduchem pracuje, je u nákladního automobilu nutné zajistit jeho dostatečnou zásobu i pro případ poruchy kompresoru. Tato zásoba se nachází ve vzduchojemech, malých kovových nádobách rozmístěných po vozidle a zapojených do jednotlivých vzduchových okruhů, patří sem např. brzdy předních kol, brzdy zadních

kol, parkovací brzda a brzdič přívěsu. Ve stěnách vzduchojemů se obvykle nacházejí otvory pro spojení se vzduchovou soustavou vozidla, u jejich dna je obvyklé umístění odkalovacích ventilů, které umožňují manuální odpuštění případného kondenzátu, který se v nich nahromadí [5].

2.2 Výrobní proces vzduchojemů

Proces výroby vzduchojemů se skládá z mnoha na sebe postupně navazujících dílčích operací, kde na začátku vstupuje do procesu ocelový plech a na konci vychází z výrobní linky hotový vzduchojem. Základní kroky výroby jsou popsány na obr. 5, kompletní proces výroby vzduchojemů je pak uveden v příloze 1. V příloze 2 jsou pak uvedeny fotografie hlavních kroků výroby.



obr. 5 Diagram procesu výroby vzduchojemu.

Vzduchojemy se skládají z několika hlavních a vedlejších částí. Mezi hlavní části patří plášť, něm na každém boku přivařené dno, do vedlejších částí zase hrdla se závity pro připojení vzduchové soustavy a u některých modelů vzduchojemů také různé konzoly. Drtivá většina vzduchojemů se vyrábí z oceli P265S (ČSN EN 10207).

Jedná se o plechy s nízkou mezí kluzu určené pro jednoduché tlakové nádoby a zařízení k uskladňování např. stlačeného vzduchu nebo jiných médií pracujících za běžných venkovních teplot [6].

Tab. 2 Základní mechanické vlastnosti oceli P256S [6].

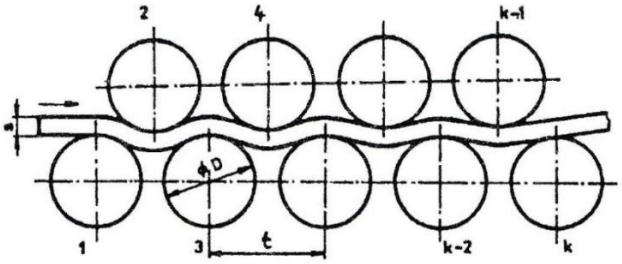
Značka oceli	Minimální mez kluzu R_{eH} [MPa]	Minimální mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Minimální tažnost L_0 [%]	Minimální nárazová práce KV [°C·J^{-1}]	Maximální tloušťka t [mm]
P265S	265	140	410 - 530	22	-20/28	60

2.3 Rovnání

Základ výroby vzduchojemů vychází z plechových svitků oceli P265S, které jsou nasazeny nejdříve na speciální zařízení pomocí jeřábového mechanismu. Zařízení si postupně odmotává plech, který je nejdříve zapotřebí narovnat. Rovnání se provádí pomocí mechanických rovnacích válců.

Rovnání je založeno na principu ohýbání a provádí se mezi rovnacími válci při rovnání plechů rovnacími tvarovými kotouči. Velikost deformace ohybem je nutné provést tak, aby i s přihlédnutím na odpružení zůstala po ní součást rovná [7].

Rovnání (viz obr. 6) je obvyklé např. při vyrovnávání drátů nebo pasů před vstupem materiálu do zpracovatelského stroje. Střídavým ohybem při průchodu mezi válci je materiál vyrovnán [8].

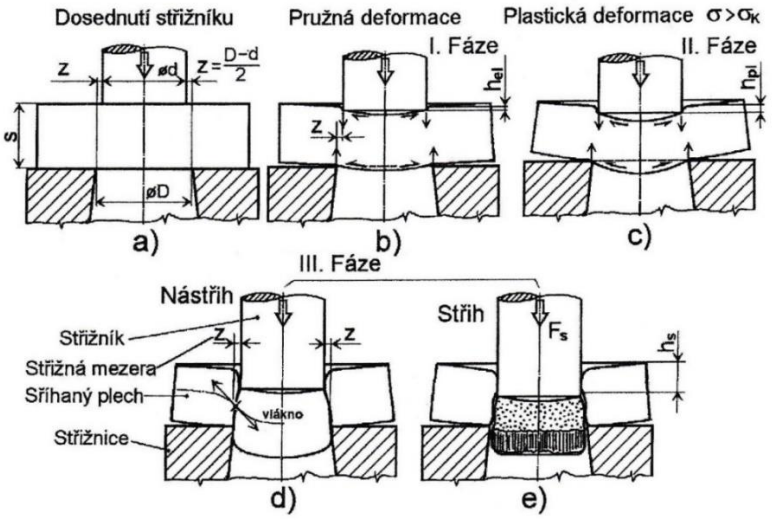


Obr. 6 Strojní rovnání pásu plechu pomocí rovnacích válců [7].

2.4 Stříhání

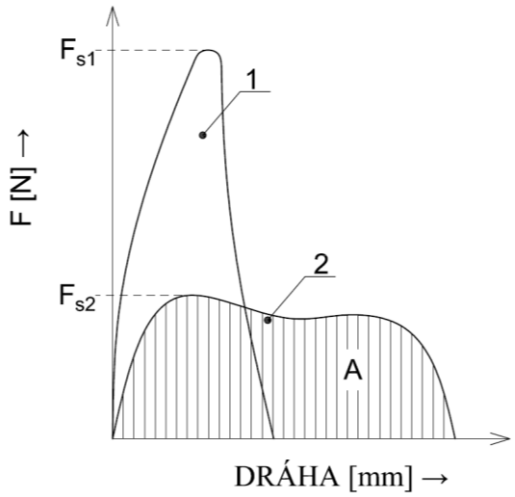
Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením-lomem v ohnisku deformace. Vlastní plastická deformace je sice průvodním, ale zároveň nežádoucím jevem. Materiál se odděluje postupně nebo současně podél křivky střihu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vytváří střižné-smykové napětí [9].

Proces stříhání má tři základní fáze (viz obr. 7). V první fázi po dosednutí střižníku dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Hloubka závisí na mechanických vlastnostech materiálu a bývá $h_{el} = 0{,}05 \div 0{,}7$ s. Dvojice sil mezi hranami střižníku a střižnice způsobuje nežádoucí ohyb. Ve druhé fázi je napětí ve směru vznikání větší, než je mez kluzu kovu, a dochází k trvalé plastické deformaci. Podle druhu kovu a jeho mechanických vlastností je hloubka plastického vniknutí $h_{pl} = 0{,}1 \div 0{,}25$ s. Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve střihu τ_S. Nejdříve vznikne tzv. nástřih, tj. vytvoření trhlinek, které je podporováno tahovým normálovým napětím ve směru vláken. Trhliny se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřižku [9].



Obr. 7 Průběh stříhání s normální střižnou silou, fáze střihu [9].

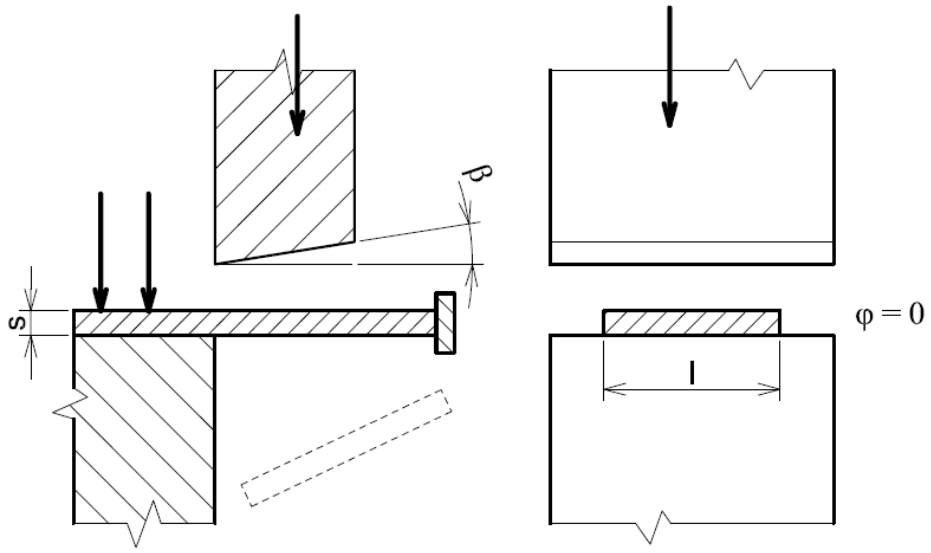
Poté, co jsou plechy narovnány, dochází k okamžitému stříhání dvou základních částí vzduchojemu – plášťů a dne.



Obr. 8 Průběh síly na dráze při stříhání (1 – Rovnoběžné nože, 2 – Skloněné nože) [7].

2.4.1 Stříhání plášťů

Stříhání plášťů se provádí pomocí tabulových nůžek s rovnoběžnými noži (viz obr. 9). Zde dojde k nařezání plechu na požadovaný rozměr. Dále na plášti dojde ještě k vystřižení otvorů, do kterých se později navaří příslušné hrdlo. Po vystřižení se dále plášť ohýbá na zakružovačkách do požadovaného průměru. Na stejném pracovišti dochází také ke stříhání zbylého materiálu po vystřihnutí den, který je dále vyřazen.



Obr. 9 Princip stříhání rovnoběžnými noži.

2.4.2 Stříhání den

Proces stříhání den je stejný jako stříhání plášťů s tím rozdílem, že se stříhají pomocí mechanických nůžek, kde v důsledku působení střižné síly na střižník dojde k vystřižení požadovaného průměru dna. Po vystřižení dna se zbylý plech dále nepoužívá a je vyřazen do kovového odpadu. U den se dále provádí tváření, signování a vystřižení otvoru na hrdlo.

2.5 Tváření

Dalším krokem ve výrobě vzduchojemů je tváření hlavních částí – plášťů a den. Každé se tváří samostatně a nezávisle na sobě a skládá se z několika po sobě následujících operací.

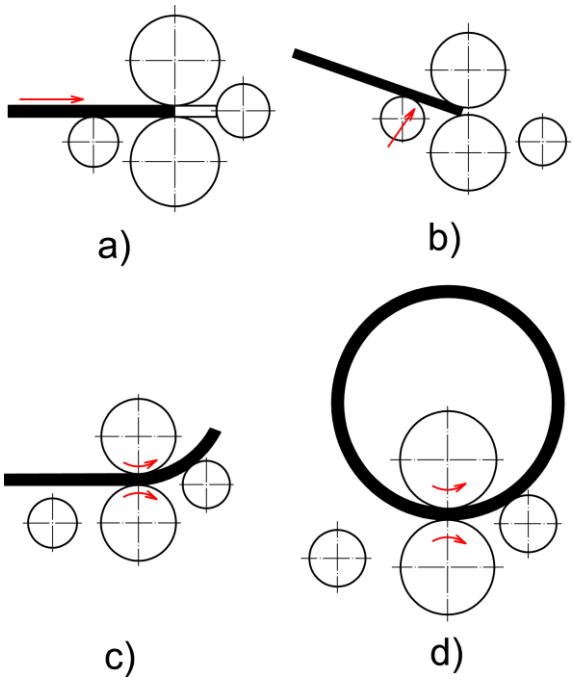
2.5.1 Tváření plášťů

Tváření plášťů má dvě základní operace:

- stříhání otvorů pro hrdla,
- zakružování.

Prvním krokem při tváření plášťů na vzduchojemy je vystřižení otvoru pro hrdlo se závitem. Stříhání se provádí svislými mechanickými nůžkami. Po vystřihnutí otvoru jsou pláště naskládány na sebe a přepraveny na automatickou zakružovačku.

Zakružování je technologie, při které se z rovinného plechového přístřihu (polotovaru) získávají válcové nebo kuželové součásti, a to postupným a plynulým ohýbáním přístřihu mezi hladkými válci. Jeden z mnoha faktorů, podle kterých dělíme zakružovačky, je rozdělení zakružovaček podle počtu válců, a to na dvou-, tří- a víceválcové. Použití čtyřválcové zakružovačky odstraní případné nedostatky v podobě nedeformovaní jedné nebo obou stran zakružovacího dílce (viz obr. 10) [7].



Obr. 10 Čtyřválcové symetrické zakružování: a) nastavení obrobku, b) začátek ohybu pohybem válce, c) nastavení poloměru, d) vytvoření válce [10].

Po zakružování dosáhnou pláště požadovaného průměru a jsou připravené na podélné svařování a následné navaření hrdel.

2.5.2 Tváření den

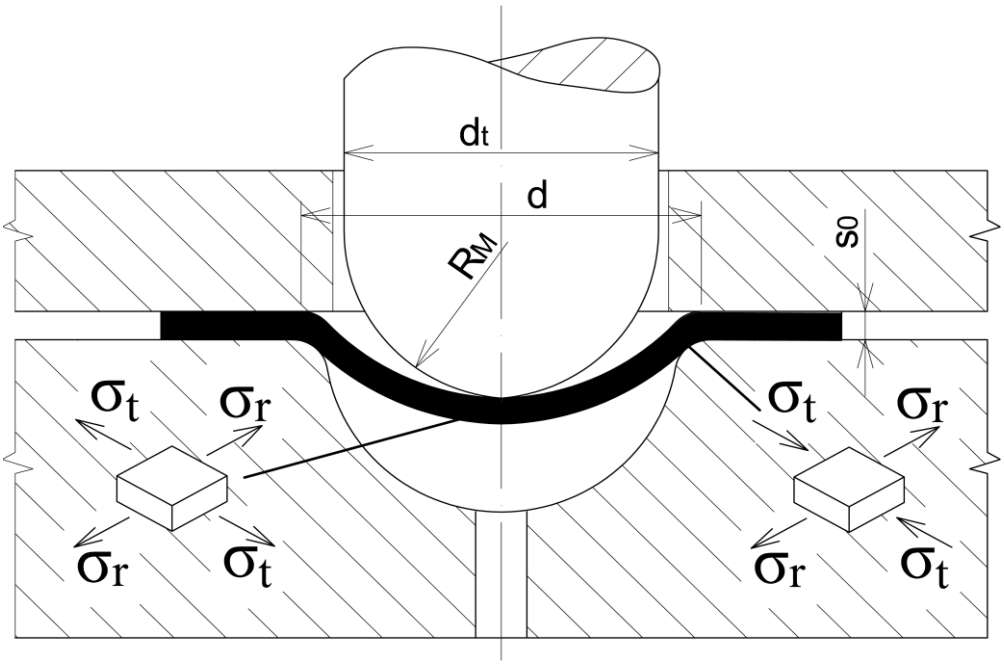
Dna se taktéž jako pláště tváří v několika postupně navazujících operacích:

- tažení,
- signování,
- stříhání otvorů pro hrdla.

V prvním kroku je vytažen plechový výstřižek kruhového průměru do požadovaného rozměru.

Tažení plechu je přetvoření rovinného přístřihu v duté těleso. Jde o prostorový ohyb do nerozvinutelného tvaru bez podstatného zeslabení tloušťky stěny nebo se zeslabením stěny v jedné i více tažných operacích [9].

Výroba výtažků, které nemají dno rovinné ale vypouklé, např. polokoule, paraboloidy, je obtížnější než zhotovování válcových kuželových výtažků (viz obr. 11). Dochází totiž k poměrně velké nepřidržované ploše v počáteční poloze tažení. Tažník se dotýká přístřihu v jednom bodě. V průběhu tažení může dojít ke ztrátě stability a zvlnění u nepřidržované plochy výtažku. Ve stykové ploše přístřihu a tažníku jsou radiální a tangenciální tahová napětí, zatímco v místě zaoblení tažnice vznikají vedle radiálních tahových napětí σ_r též tlaková tangenciální napětí σ_t. Nebezpečí vzniku trhlin u sférického výtažku je přibližně v $^1/_3$ až $^1/_4$ poloměru válcové části tažníku [7].

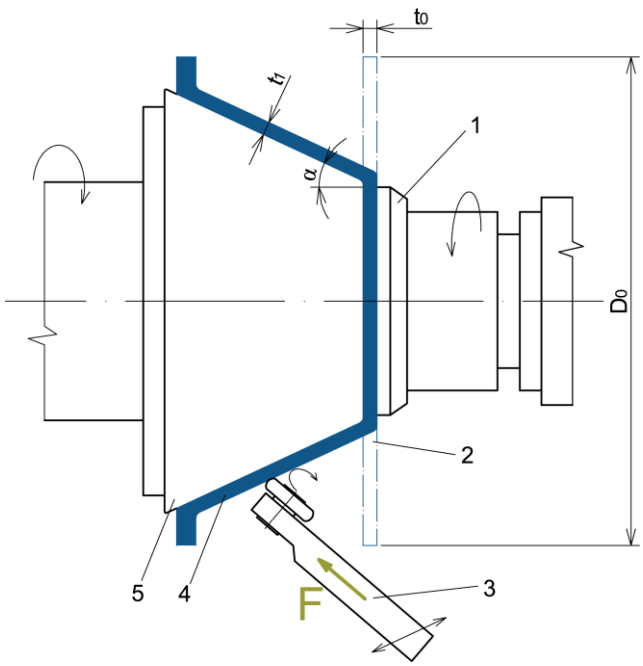


Obr. 11 Schéma tažení a napjatosti u sférických součástí [7].

Okamžitě po tváření přichází dna vzduchojemů na další pracoviště, kde je prováděno ztenčení hran tlačením, tzv. signování (viz obr. 12), z důvodu lepšího dosednutí dna do pláště při svařování.

Technologie tlačení se ztenčením stěny je činnost, při níž tloušťka stěny konečného výrobku závisí na úhlu tvořící křivky v místě kontaktu tvářecí kladky.

Výchozí polotovar má několikanásobně větší tloušťku, než je tloušťka stěny hotové rotační součásti. Technologie tlačení se ztenčením stěny přináší i vysokou úsporu materiálu, v některých případech až 95 %. Kvalita povrchu vnitřních tvarů prakticky kopíruje parametry struktury povrchu použitého trnu. Struktura povrchu vnějších tvarů součásti je dána geometrií tvaru a povrchu použité kladky a technologickými parametry. Výchozí polotovar pro tuto technologii nemusí mít vždy kruhový tvar [11].



Obr. 12 Rotační tlačení plechu se ztenčením stěny (1 – Přítlačná příruba, 2 – Polotovar, 3 – Tlačná kladka, 4 – Výrobek, 5 – Kovová forma) [12].

Posledním krokem tváření den je vystřižení otvoru na nůžkách pro hrdla. U různých typů vzduchojemů se stříhá vždy jiný počet děr v závislosti na požadavcích zákazníka.

Po tváření dne je zapotřebí ještě jeden krok před tím, než může dojít ke svaření, a to odmaštění v odmašťovacím tunelu. Při odmaštění prochází dna umístěná na pásovém dopravníku speciálním tunelem, ve kterém působením odmašťovadla za zvýšených teplot (50 až 60 °C) dojde k odstranění nežádoucích maziv, která se na dna dostala v průběhu tažení. To má za důsledek lepší svařitelnost a snížení pravděpodobnosti vzniku případných nečistot.

2.6 Svařování vzduchojemů

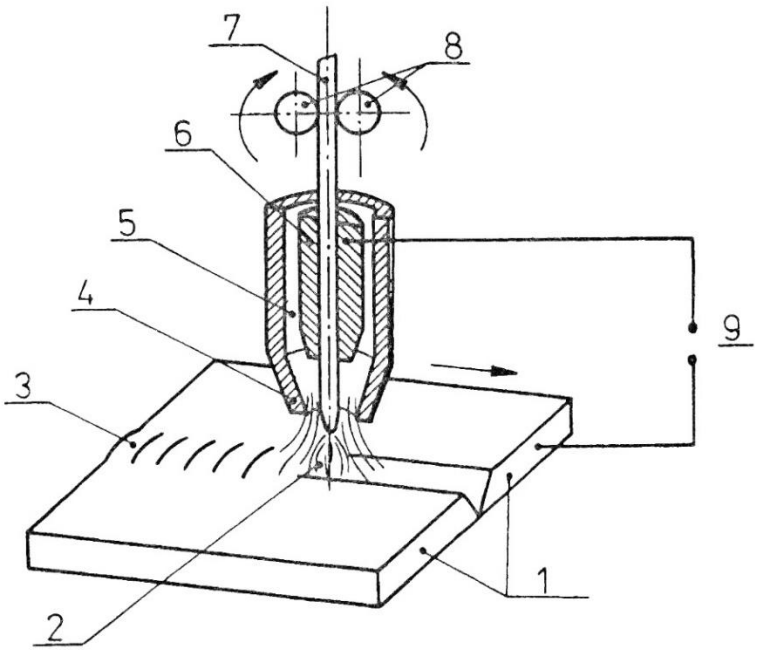
Svařováním vznikají nerozebíratelná spojení strojních částí i celých konstrukcí ze součástí jednoduchých tvarů. Tyto součásti jsou většinou z hutních polotovarů (tyče, pásy, plechy, různé profily aj.), někdy i z výkovků, odlitků apod. Výhodou tohoto spojení je trvanlivost, velká pevnost a těsnost. Svařování zvyšuje produktivitu práce, zmenšuje spotřebu materiálu, zjednodušuje konstrukci, podstatně zkracuje výrobní časy a pohotově umožňuje rychlou realizaci konstrukčních návrhů. Nevýhodou je nerozebíratelnost spojů, potřeba kvalifikovaných dělníků, změna struktury i mechanických vlastností svarového spoje, vznik vnitřních pnutí a deformací, popř. i vnitřních vad. Svařování se používá téměř ve všech výrobních oborech jak při výrobě nových strojů a konstrukcí, tak při opravách [13].

Svařováním dostává vzduchojem své finální rozměry. Všechny svarové spoje vzduchojemu vzniknou pomocí metody MAG v atmosféře aktivního plynu. Jako přídavný materiál se používá drát s označením G3Si1.

MAG – **M**etal **A**ktiv **G**as (svařování tavnou kovovou elektrodou v aktivním plynu)

Svařování MAG (viz obr. 13) patří v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Hlavní důvody rozšíření metody

MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody charakteristiky uvedené metody svařování [14].



Obr. 13 Princip svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (1 – Svařovaný materiál, 2 – Elektrický oblouk, 3 – Svar, 4 – Plynová hubice, 5 – Ochranný plyn, 6 – Kontaktní průvlak, 7 – Přídavný drát, 8 – Podávací kladky, 9 – Zdroj proudu) [15].

Svařování je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Drát je dopravován kladkami umístěnými v podavači, vlastním hořáku, nebo kombinací obou systémů z cívky. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C [14].

Metoda MAG je metoda se širokou škálou aplikací, mezi které patří [16]:

- tloušťka svařovaného plechu od 0,5 mm,
- svařování tenkých plechů z důvodu minimalizace deformací,
- svařování silnějších kovů z důvodu vyšší produktivity,
- schopnost svařovat všechny běžně se vyskytující konstrukční materiály (měď, slitiny mědi, nerez, hliník a jeho slitiny…),
- schopnost svařovat kovy s povrchovou úpravou (pozinkované oceli),
- aplikace technologie ve všech svařovacích polohách.

2.6.1 Podélné svařování

Podélný svar se vytváří na zkroucených pláštích vzduchojemů. Plášť se vloží do speciální poloautomatické horizontální svářečky. Na svářečce dojde k nastavení základních parametrů a k následnému vytvoření svaru za konstantního pohybu plynové trubice. Svařování probíhá v atmosféře $Ar + O_2$ s poměrem plynů $96 : 4$.

2.6.2 Navařování hrdel do plášťů a den

Pro navaření hrdel do den a plášťů se používá speciální poloautomatické vertikální svářečky. Samotný svar vzniká vždy rotací jedné základní části (svařovaná součást nebo plynová trubice). Svar vzniká v atmosféře $Ar + O_2$ s poměrem plynů $96 : 4$. Rozdíl mezi navařením hrdla do plášťů a den spočívá v tom, že při navařování plášťů se otáčí konstantní rychlostí plynová trubice a při navařování do den se otáčí konstantní rychlostí samotné dno, které předtím prošlo odmašťovacím tunelem.

2.6.3 Obvodové svařování

Vytvořením obvodového svaru dojde k celkovému uzavření nádoby, která tak dostává své finální rozměry. Svařování probíhá na poloautomatizovaných svářečkách, kde u vzduchojemu dojde k rotaci kolem jeho osy. Nejprve se nasadí dna do magnetických držáků, následně dojde k nasazení pláště a vystředění den. Vzduchojem se uvede do rotace za konstantní rychlosti a následně dojde k vytvoření svaru v atmosféře $Ar + CO_2$ s poměrem plynů $82 : 18$.

2.7 Tryskání vzduchojemů

Po svařování probíhá jako první z řady povrchových úprav vzduchojemů tryskání, při kterém dojde ke kompletnímu očištění povrchů vzduchojemů (tj. odstranění korozních produktů nebo okují vzniklých svařováním). Slouží také ke kompletnímu očištění a odmaštění povrchu, neboť to přispívá k lepšímu nanesení práškové barvy.

Otryskání je druh mechanického zpracování povrchu kovů volným proudem tryskacího prostředku, který je vrhán velkou rychlostí na povrch otřískané součásti. Účinek tryskacích prostředků je závislý především na druhu materiálu (tvrdosti a houževnatosti) a na materiálu upravované součásti. Po otryskání je povrch kovově čistý, pokrytý drobnými krátery, jejichž tvar a velikost závisí na technologii otryskání [17].

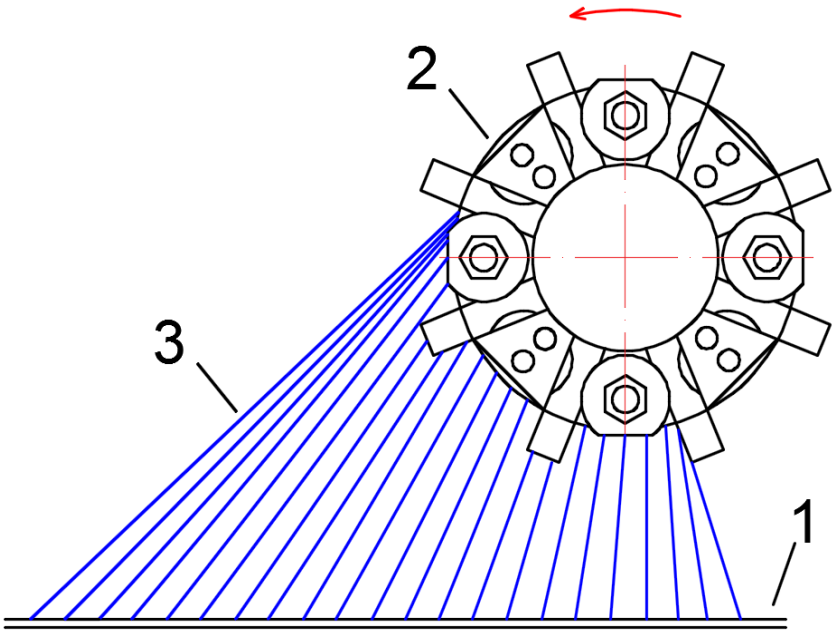
Otryskání se uplatňuje jednak k čištění povrchu (ve slévárnách, kalírnách, hutních provozech aj.), jednak jako příprava povrchu před metalizací, nanášením nátěrových hmot, vytvářením povlaků z plastů a pryží aj. Otryskáním se odstraňují nežádoucí vrstvy a nečistoty z povrchu kovových materiálů, okuje, korozní produkty, zbytky nataveného písku na odlitcích, staré nátěry a jiné povlaky [17].

2.7.1 Mechanické tryskání

Tryskací prostředek urychlovaný lopatkami metacího kola je přiváděn v ose metací jednotky, kterou tvoří radiální lopatky mezi dvěma disky (viz obr. 15). Působením odstředivé síly při otáčení kola je tryskací prostředek unášen na konec lopatek. Obvodová rychlost metacích kol je kolem 56 $m \cdot s^{-1}$. Výsledná rychlost tryskacího prostředku asi 80 $m \cdot s^{-1}$ je dána vektorovým součtem radiální a obvodové rychlosti. Obrazec, který vzniká dopadem tryskacího prostředku na povrch součásti, se nazývá stopa metací jednotky a má elipsovitý tvar.

Pohybuje-li se otryskávaný materiál ve směru delší osy, mluvíme o tryskání po stopě metací jednotky.

Tryskací zařízení s metacími koly jsou velmi výkonná, lze je plně mechanizovat až automatizovat, dosažená jakost úpravy povrchu je stálá. Energeticky je tryskání metacími koly asi pětkrát levnější než pneumatické [17].



Obr. 14 Schéma činnosti metacího kola při tryskání (1 – Tryskaný povrch, 2 – Metací kolo s lopatkami, 3 – Abrazivo tryskané na povrch) [18]

2.7.2 Tryskání vzduchojemů v praxi

V praxi probíhá tryskání tak, že vzduchojemy se zavěsí pomocí háku umístěného v hrdle na dně. Do ostatních hrdel jsou vloženy kalené zátky se závitem. Vzduchojem tak prochází komorou, ve které je umístěno sedm metacích kol, jež rotují kolem své osy. Pro tryskání se používá ocelová drť, která při kontaktu se vzduchojemu očistí jeho povrch.

2.8 Hydraulická zkouška

Před lakováním dojde na vzduchojemech ještě k tzv. hydraulické zkoušce, při které je testována kvalita svarového spoje, a zároveň k pevnostní zkoušce vnitřního tlaku. Zkouška probíhá tak, že vzduchojem, který má do svých hrdel nasazené zátky, je umístěn do speciálního zařízení. Následně je napuštěn vodou, otočen o 180° a natlakován tlakem, který je maximálně 25 bar (2,5 MPa). Na této hodnotě setrvá 30 sekund, během nichž dojde k odstranění zbylých nečistot ze svařování s jeho povrchu. Vzduchojemy, které zkouškou projdou, jsou označeny značkou operátora a uvolněny na další proces, kterým je fosfátování [19].

2.9 Fosfátování

Fosfátování je chemický proces, při němž postřikem vzniká z roztoků kyseliny fosforečné a fosforečnanů kovů na kovovém povrchu tenká, jemně krystalická vrstva nerozpustných fosforečnanů kovů. Protože vrstvy jsou značně pórovité, a tedy i vhodné nasáknout olej, voskya nátěrové hmoty, plní řadu funkcí:

- vytváření protikorozní ochrany kovových součástí,
- zlepšují přilnavost nátěrové hmoty k povrchu a zabraňují podrezivění nátěru,
- zmenšují třecí síly, a proto se používají k úpravě pohyblivých součástí při jejich záběru,
- zlepšují přilnavost maziva a snižují tření při tváření součástí za studena, např. lisováním nebo tažením,
- slouží jako elektroizolační vrstva [17].

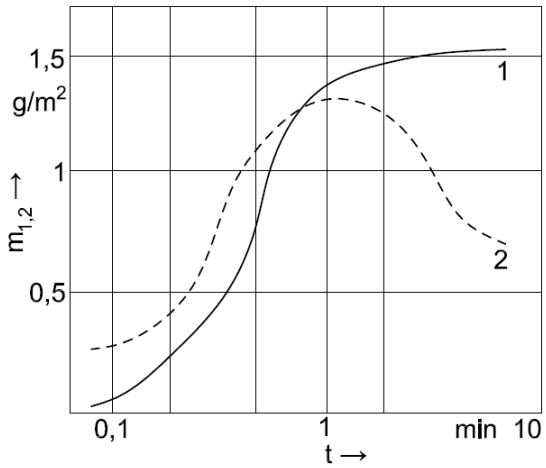
2.8.1 Zn-fosfátování

U fosfátování představují roztoky v podstatě primárně fosforečnany nejrůznějších druhů. Jedním z nejpoužívanějších jsou fosforečnany zinečnaté, které jsou určené na ochranu proti korozi, pro zvýšení přilnavosti nátěrů, pro tváření za studena.

Fosfátovací přípravek na bázi fosforečnanu zinečnatého obsahuje jako základní látku volnou kyselinu fosforečnou H_3PO_4 a dihydrogenfosforečnan zinečnatý $Zn(H_2PO_4)_2$. Při ponoření součásti do fosfatizační lázně reaguje volná kyselina fosforečná s povrchem kovu (oceli), který rozpouští:

$$Fe + 2\ H_3PO_4 \rightarrow Fe^{+2} + 2\ H_2PO_4 + H_2.$$

Tím se roztok v bezprostřední blízkosti povrchu kovu ochlazuje o volnou kyselinu fosforečnou a nastává posun reakční rovnováhy ve prospěch tvorby nerozpustných fosforečnanů, které se vylučují na povrch součásti. Rostoucí vrstva brání dalšímu rozpouštění oceli, tím dochází ke zpomalení a nakonec k zastavení reakce, kdy je celý povrch pokryt nerozpustnými fosforečnany $Zn_3(PO_4)_2$ a $Fe_3(PO_4)_2$. Konec fosfátování se projeví ukončením vývoje vodíku. Protože uvedené reakce jsou relativně pomalé, přidává se do fosfatizačního roztoku urychlovače, zejména oxidační látky, které zkracují fosfatizační dobu na několik minut. Růst fosfátované vrstvy a rozpustnosti železa jsou na obr. 1. [17].



Obr. 15 Rychlost tvorby fosfátové vrstvy (1 – Tvorba fosfátové vrstvy, ($g \cdot m^{-2}$), 2 – Poměr hmotnosti fosfátové vrstvy k úbytku oceli) [18].

2.8.2 Fosfátování vzduchojemů

Vzduchojemy jsou postupně umisťovány do 4 fosfátovacích komor. V každé komoře setrvají 8,5 minuty. Výsledná fosfátovací vrstva má potom tloušťku 80 μm. Díky tomu, že jsou umístěny na fosfátovacích vozících, je jim umožněno jak vnější, tak i vnitřní fosfátování.

Fosfátovací komory:

- 1. komora – předpříprava,
- 2. komora – fosfátování,
- 3. komora – dokončení fosfátování,
- 4. komora – sušení.

Tab. 3 Proces předúpravy vzduchojemů Zn-fosfátování [20]

Komora	Lázeň	Operace	Přípravek	Objem	Čas	Tlak	Teplota
č	č			m^3	sek	bar	°C
1		Předoplach	voda				
		Okap					
	1	Odmaštění	BONDERITE	1,6	60	0,9-1,5	50-75 °C
	1a	Okap			50		
	2	Aktivace	BONDERITE, VODA		40	0,9-1,5	nor. teplota
		Oplach	voda	1,3			
	2a	Okap			50		
	3	Zn-fosfáto-vání	BONDERITE	2,65+2	170	0,5-1	43-50
			BONDERITE				
			BONDETIRE				
	3a	Okap			50		
	4	Oplach	voda	1,65	40	0,9-1,2	nor. teplota
		Okap+					
	4a	Ventilace			40		
Převod z komory 1 do komory 2					max 60		
2	5	Oplach	voda	1,1	45	0,6-1,2	nor. teplota
	5a	Okap			30		
	6	Pasivace	BONDERITE	2	65	0,6-1	max 50
	6a	Okap	DEMI voda		30		
	7	Oplach		1,1	45	0,6-1,2	
	7a	Okap	DEMI voda		30		
	8	Demi oplach			30	0,8-1,0	nor. teplota
	9a	Okap			90		
	9b	Ventilace			30		
	Převod dílů z komory 2 do sušící komory						

2.10 Lakování

Lakování patří mezi finální operace výrobního procesu vzduchojemů a zároveň patří mezi nejrozšířenější povrchové úpravy. Vzduchojemy se lakují pomocí práškových barev. Práškové barvy patří mezi tzv. průmyslové nátěrové hmoty. Nejčastěji jsou tvořeny směsí pryskyřic, pigmentů, tvrdidla, aditiva, případně dalšími surovinami, které dodávají barvě tvrdost, lesk a požadovanou hloubku matu Velkým rozdílem oproti jiným druhům lakování je, že prášek se ničím neředí, ani se v ničem nerozpouští.

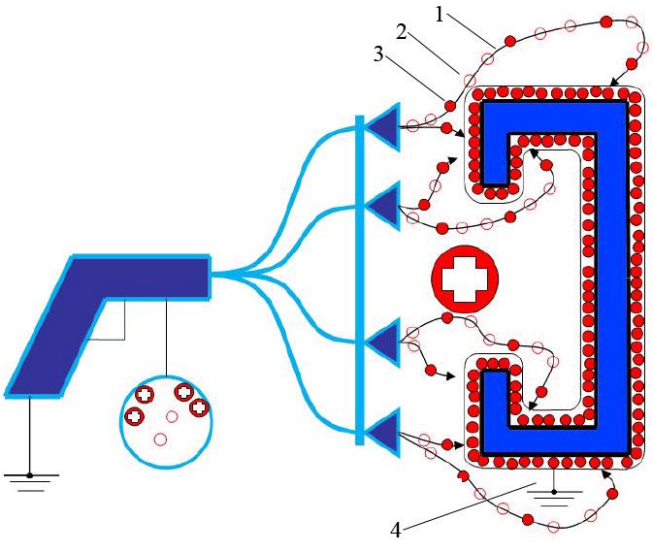
Výhody práškového lakování [21]:

- lakovaná vrstva je odolná vůči nárazům např. štěrku, kamení,
- dobrá odolnost proti poškrábání,
- vynikající vnější trvanlivost,
- vysoká chemická odolnost,
- šetrnost vůči životnímu prostředí.

Pro aplikaci prášku na dílec se využívá stlačeného vzduchu, který po smísení s tímto práškem vytváří "tekutou směs". Aby prášek na dílci držel, je mu v aplikačním zařízení dodána elektrostatická energie. Elektrostatická energie využívá fyzikálního jevu tím, že se opačně nabité částice přitahují. To způsobuje přitahování práškových částic ke stříkanému dílci a následné jeho ulpění na povrchu dílce. Nabití prášku se provádí dvěma způsoby [21]:

- elektrostatické nabíjení – STATIKA,
- elektrokinetické nabíjení – TRIBO.

Pro lakování vzduchojemů se používá metoda TRIBO (viz obr. 16). Nejdříve dojde v zásobníku ke smíšení prášku s tlakovým vzduchem a následně je hnán ze zásobníku do injektorové kostky. Injektorová kostka slouží k vytvoření podtlaku, který prášek nasává do pistole. V pistoli se prášek rozvíří pomocí několika otvorů, do kterých proudí také stlačený vzduch, jež tvoří v pistoli vzduchový vír, a tím dojde k otírání prášku o stěny a získání většího náboje. Čím více dojde k otírání o stěny aplikační pistole, tím je získán větší náboj a prášek lépe ulpí na lakované ploše. Lakování se provádí na vzduchojemu neprodleně po fosfátování, nejpozději však 4 hodiny po něm, neboť se tím zvyšuje riziko vzniku koroze.



Obr. 16 Princip elektrokinetického nabíjení (1 – Model vzduchového proudu, 2 – nenabitá částice, 3 – Nabitá částice, 4 – Uzemněný dílec) [21].

2.10.1 Vnitřní lakování vzduchojemů

Lakování vnitřní části je prováděno na speciálním pracovišti v tzv. lakovacích kabinách práškovou epoxy-polymerovou barvou. Lakování se vždy provádí na čtyřech vzduchojemech zároveň. Nejprve dojde k uložení vzduchojemu na otáčivé lože tak, aby obvodový svar ležel na podpůrných kladkách, hrdlo leželo v unášeči, a byl přitlačován odpruženým dorazem. Poté dojde ke spuštění rotace a následně je spuštěn chod lakovací pistole. Po skončení operace dojde vždy ke kontrole první dvojice kusů, zda došlo ke správnému nanesení prášků na celou plochu a zda ho není někde přebytek. Vrstva nevypáleného prášku musí být minimálně 60 μm a vrstva vypáleného prášku pak minimálně 20 μm.

Pro správné nastavení pistole pro vnitřní nástřik se používá rozkládací vzduchojem požadovaných rozměrů. U něj po nanesení vnitřního nástřiku dojde ke kontrole práškové vrstvy. Dle potřeby se dále prodlouží nebo zkrátí nastavené hodnoty pro rychlost pojezdu pistolí a prodleva v úvratích.

2.10.2 Vnější lakování vzduchojemů

Po vnitřním lakování jsou vzduchojemy přeskládány na vozík, kde dojde k odsátí prášku ze závitů hrdel. Po úspěšném odstranění dojde k našroubování závěsu a zakrytí hrdla zátkou. Poté je připravený vzduchojem zavěšen na dopravníkový závěs, po kterém nadále postupuje do automatizované lakovací linky, kde je nanášen vnější povlak polyesterové tmavošedé práškové barvy. Nejdříve dojde k nanesení práškové barvy při konstantním pohybu dopravníku (2,75 $m \cdot min^{-1}$). Tloušťka barvy musí být minimálně 100 μm. Dále je provedena kontrola prvních kusů, v případě nedosažení minimální požadované tloušťky práškové vrstvy 100 μm jsou upraveny parametry. Po konci lakování jsou odstraněny ochranné krytky. Při manipulaci se vzduchojemy se musí dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k setření barvy.

2.10.3 Vypalování barvy

Nalakované vzduchojemy jsou nadále unášeny do vypalovací pece, ve které dochází k vytvrzení barvy. Teplota je nastavena na hodnotu 200 °C. Po vypálení se kontroluje tloušťka barvy, která nesmí v žádném místě vzduchojemu poklesnout pod hodnotu 60 μm. Po vypálení jsou vzduchojemy unášeny do chladicího tunelu, z kterého dále putují do prostoru svěšování, kde dojde pomocí robotizovaného ramene k vymontování závěsného háku. Celkový proces vypalování trvá kolem 30 minut, celkový čas lakování vzduchojemu činí potom přibližně 1 hodinu a 50 minut.

2.11 Výstupní kontrola, balení a export

Po vyjmutí závěsného háku dojde u vzduchojemů k jejich kontrole kvality, při ní je hodnocena kvalita, celistvost, odstín a lesk barvy. Poškozené vzduchojemy se opravují, nebo při velkém poškození dojde k jejich vyřazení. Odstín a lesk barvy se hodnotí pomocí schváleného etalonu. Dále je kontrolována průchodnost pneumatického kalibru. Pokud nedojde k průchodu kalibru, dojde k přeřezání závitu pomocí pneumatického závitníku a zkouška kalibrem je zopakována. Po úspěšné kontrole jsou u vzduchojemu přelepena hrdla, poté je na něj navlečen ochranný obal a nyní je vzduchojem přepraven na expedici. Zde jsou vzduchojemy baleny a skládány na palety nebo do beden. Druh balení vzduchojemů se liší v závislosti jak na druhu vzduchojemů, tak i na požadavcích zákazníka.

3 MĚŘENÍ HRDEL

3.1 Účel hrdel

Hrdla jsou jednou z hlavních součástí vzduchojemů, jedná se v podstatě o rotačně symetrickou součást požadovaného průměru s vnitřním závitem. Umisťují se jak na dna, tak i na pláště vzduchojemů. Jejich počet a přesné umístění je závislé na typu vzduchojemu a na požadavcích zákazníků. Hlavním účelem hrdel je propojení vzduchojemů pomocí přípojných hadic se vzduchovou soustavou vozidla, a tím se dosáhne zapojení vzduchojemů do pneumatické soustavy brzdících systémů.

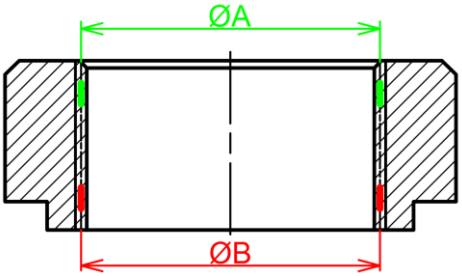
3.2 Postup měření

Účelem měření bylo určit chování a průběh případné deformace závitů hrdel vzduchojemů po jednotlivých krocích výroby. Jednalo se o hrdla s označením P-4673, s vnějším průměrem 32 mm; kompletní geometrie hrdla je uvedena v příloze 3 (výkres hrdla P-4673). Jedná se o hrdla se závity tvářenými za studena, dodávaných pražskou společností Katring. Průběh postupu spočíval v tom, že vždy po každém kroku výroby, počínaje surovým hrdlem, bylo provedeno měření malého průměru mechanickým, vnitřním, závitovým mikrometrem ve třech místech závitu z vnitřní a vnější strany, vždy na druhém závitu od hrany (viz obr. 18). Poté byla zkontrolována průchodnost kalibru M22×1,5 6H, v pozdější fázi měření (po lakování) byl použit i kalibr pneumatický. Při celém měření bylo dodrženo to, že byla změřena vždy stejná hrdla a v tabulkách 4 až 10 jsou vždy uvedena pod stejným číslem.

Obr. 17 Použitá měřidla: a) vnitřní závitový mikrometr, b) kalibr M22×1,5 6H.

3.2.1 Ukázkový výpočet měření hrdel

Níže uvedený výpočet slouží pro ukázku toho, jak byl prováděn výpočet z naměřených hodnot rozměrů hrdel. Je proveden pro vzorek hrdla č. 1, a to pro rozměry naměřené na vnější straně hrdla předtím, než došlo k navaření hrdel (na surovém hrdle). Poté je ještě uveden výpočet celkového průměru a celkového rozptylu průměru, který již vychází ze všech měřených vzorků. Další výpočet byl proveden v programu Excel a bude uveden níže pouze tabulkovou formou.



Obr. 18 Schéma měřeného hrdla s označenými měřenými plochami (øA – Vnější strana hrdla, øB – Vnitřní strana hrdla).

Z naměřených hodnot nejprve došlo k vypočtení dílčích hodnot aritmetických průměrů, pro každé hrdlo a část hrdla zvlášť, pomocí vztahu (1).

$$\bar{x}_i = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1}$$

kde: $\bar{x}_i$ [mm] - dílčí aritmetický průměr,
n [-] - počet prvků,
x_i [mm] - proměnná hodnota prvků.

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{3} x_i = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + x_3) = \frac{1}{3}(21{,}28 + 21{,}28 + 21{,}28) = 21{,}28\ mm$$

Dále došlo k výpočtu rozptylů naměřených hodnot pro jednotlivá hrdla, výpočet byl řešen pomocí vztahu (2).

$$\mathrm{s} = \max(x_i) - \min(x_i) \tag{2}$$

kde: s [mm] - rozptyl,
$\bar{x}_i$ [mm] - dílčí aritmetický průměr.

$$s = \max(x_i) - \min(x_i) = 21{,}28 - 21{,}28 = 0\ mm$$

Poté co byl tento výpočet zopakován pro všechna kontrolovaná hrdla, byl ještě zjištěn celkový aritmetický průměr z jednotlivých dílčích aritmetických průměrů měřených hrdel pomocí vztahu (3).

$$\bar{x} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{3}$$

kde: $\bar{x}$ [mm] - celkový aritmetický průměr,
n [-] - počet prvků,
x_i [mm] - proměnná hodnota prvků.

$$\bar{x} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{i=1}^{4} x_i = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + x_3) = \frac{1}{4}(21{,}28 + 21{,}29 + 21{,}29 + 21{,}29) = 21{,}29\ mm$$

A také byl vypočten celkový rozptyl hodnot určený z rozptylů jednotlivých hrdel pomocí vztahu (4).

$$\mathrm{S} = \max(\bar{x}_i) - \min(\bar{x}_i) \tag{4}$$

kde: S [mm] - celkový rozptyl,
$\bar{x}_i$ [mm] - dílčí aritmetický průměr.

$$\mathrm{S} = \max(\bar{x}_i) - \min(\bar{x}_i) = 21{,}29 - 21{,}28 = 0{,}01\ mm$$

3.2.2 Měření surových hrdel

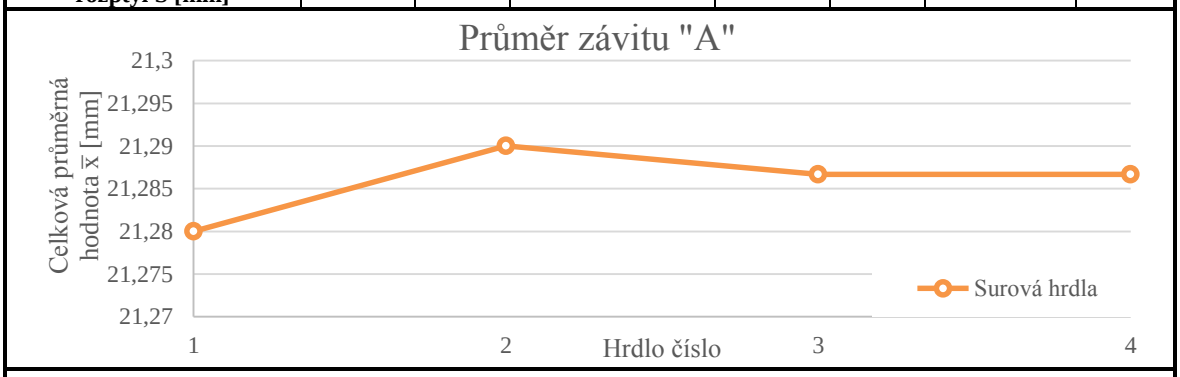
Prvním krokem měření bylo naměření hodnot na hrdlech, které byly dodány výrobcem. Naměřené hodnoty na surových hrdlech jsou uvedeny v tabulce 4.

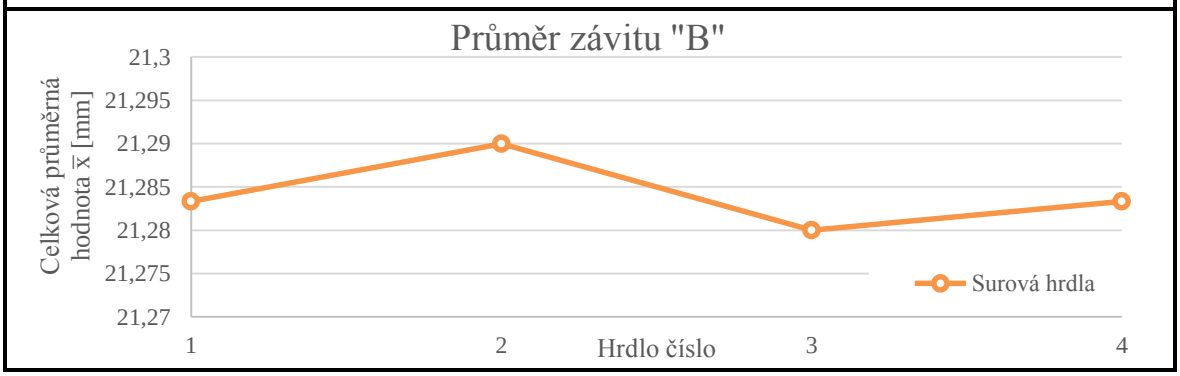
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,29 mm, „B“ – 21,28 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,01 mm, „B“ – 0,01 mm,
- ruční kalibr OK,
- strojní kalibr nebyl použit.

Tab. 4 Naměřené rozměry na surových hrdlech

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr	Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.				
1.	21,28	21,28	21,28	**21,28**	**0,00**	21,29	21,27	21,29	**21,28**	**0,02**	**OK**	**Dno**
2.	21,30	21,28	21,29	**21,29**	**0,02**	21,29	21,29	21,29	**21,29**	**0,00**	**OK**	
3.	21,29	21,29	21,28	**21,29**	**0,02**	21,28	21,27	21,29	**21,28**	**0,02**	**OK**	**Plášť**
4.	21,29	21,28	21,29	**21,29**	**0,01**	21,28	21,28	21,29	**21,28**	**0,01**	**OK**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,29**	**0,01**				**21,28**	**0,01**		





3.2.3 Měření po navaření hrdel

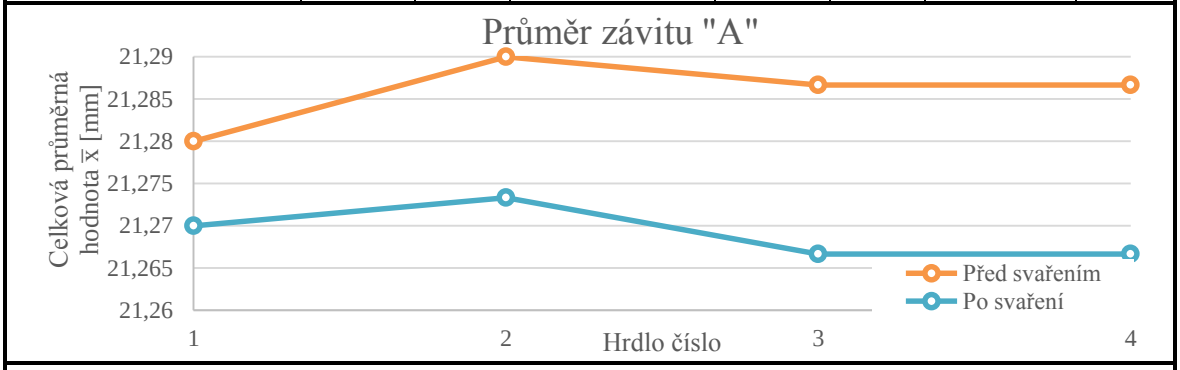
Dále se dva kusy hrdel nechaly navařit do den a dva kusy do plášťů. Pokaždé tak, že na jednom vzduchojemu bylo jedno hrdlo navařené ve dně a jedno hrdlo navařené v plášti. Měření probíhalo po jejich jednotlivých navařeních, tedy ještě před zhotovením obvodového svaru. Po svaření se nechalo hrdlo s příslušnou částí (dno, plášť) dostatečně dlouhou dobu ochladit na pokojovou teplotu (cca 22 °C), aby nedošlo ke zkreslení výsledků vlivem zvýšené teploty. Naměřené hodnoty po navaření jsou uvedeny v tabulce 5.

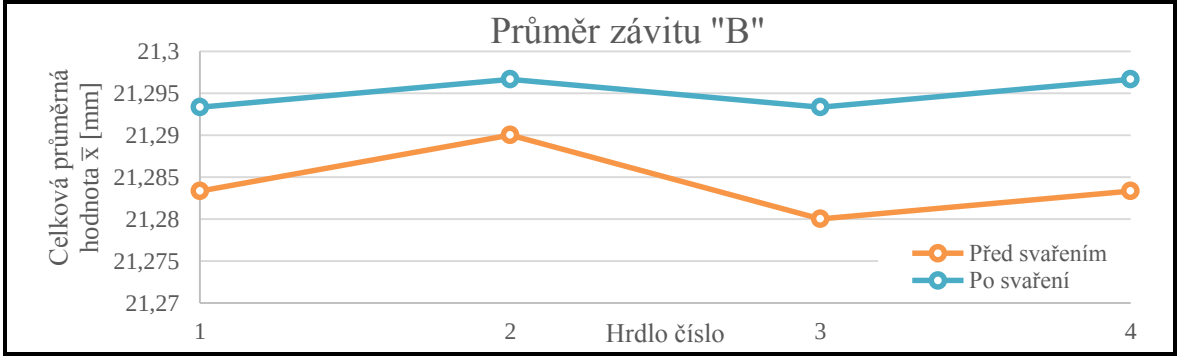
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,27 mm, „B“ – 21,30 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,01 mm, „B“ – 0,02 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,29 mm na 21,27 mm – rozdíl o 0,02 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,28 mm na 21,30 mm – rozdíl o 0,02 mm,
- ruční kalibr OK,
- strojní kalibr nebyl použit.

Tab. 5 Naměřené rozměry na hrdlech po navaření do den a plášťů

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr	Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.				
1.	21,28	21,26	21,27	**21,27**	**0,02**	21,29	21,29	21,30	**21,29**	**0,01**	**OK**	**Dno**
2.	21,28	21,27	21,27	**21,27**	**0,01**	21,30	21,29	21,30	**21,30**	**0,01**	**OK**	
3.	21,27	21,27	21,26	**21,27**	**0,01**	21,31	21,29	21,28	**21,29**	**0,03**	**OK**	**Plášť**
4.	21,27	21,26	21,27	**21,27**	**0,01**	21,31	21,28	21,30	**21,30**	**0,03**	**OK**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,27**	**0,01**				**21,30**	**0,02**		





3.2.4 Měření po tryskání

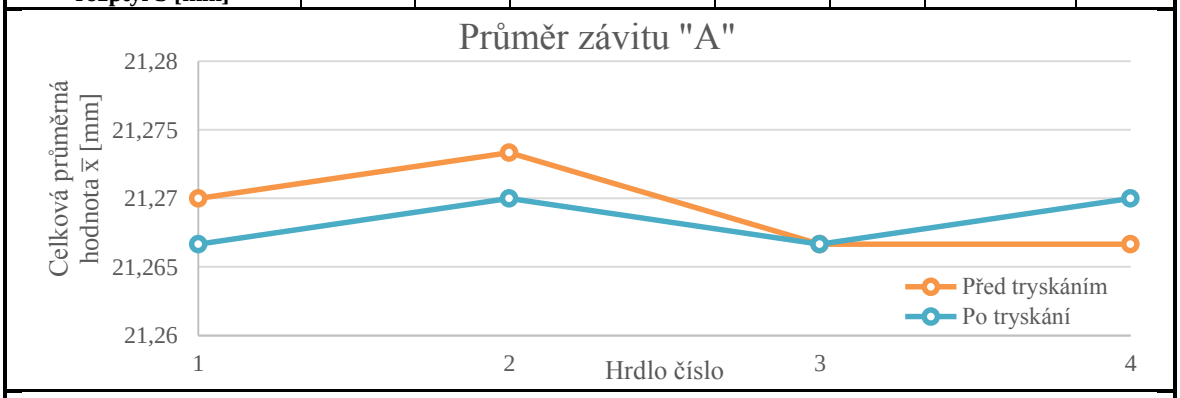
Dále se nechal vyhotovit obvodový svar tak, aby hrdlo číslo 1 umístěné na dně a číslo 3 umístěné na plášti byly na jednom vzduchojemu a hrdla 2 a 4 na druhém. Po svaření došlo k otryskání vzduchojemu. Při tryskání již došlo k využití hrdel, a to hrdel číslo 1 a 2, byl do nich našroubovaný nosný hák. Hrdla na pláštích (3 a 4) zůstaly nechráněné. Naměřené hodnoty po tryskání jsou uvedeny v tabulce 6.

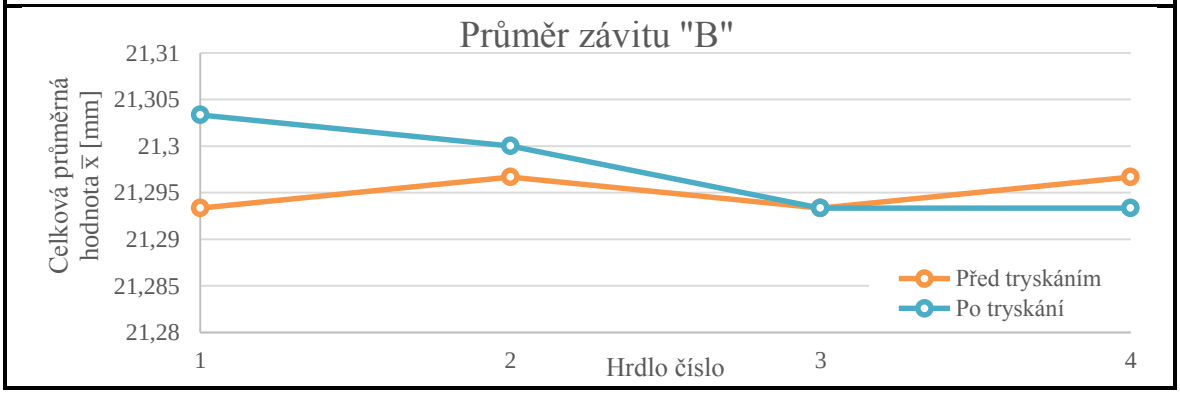
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,27 mm, „B“ – 21,30 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,02 mm, „B“ – 0,03 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,27 mm na 21,27 mm – rozdíl o 0,00 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,30 mm na 21,30 mm – rozdíl o 0,00 mm,
- ruční kalibr OK,
- strojní kalibr nebyl použit.

Tab. 6 Naměřené rozměry na hrdlech po tryskání

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr	Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.				
1.	21,26	21,27	21,27	**21,27**	**0,01**	21,29	21,30	21,32	**21,30**	**0,03**	**OK**	**Dno**
2.	21,26	21,28	21,27	**21,27**	**0,02**	21,31	21,29	21,30	**21,30**	**0,02**	**OK**	
3.	21,26	21,28	21,26	**21,27**	**0,02**	21,31	21,28	21,29	**21,29**	**0,03**	**OK**	**Plášť**
4.	21,28	21,26	21,27	**21,27**	**0,02**	21,31	21,28	21,29	**21,29**	**0,03**	**OK**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,27**	**0,02**				**21,30**	**0,03**		





3.2.5 Měření po hydraulické zkoušce

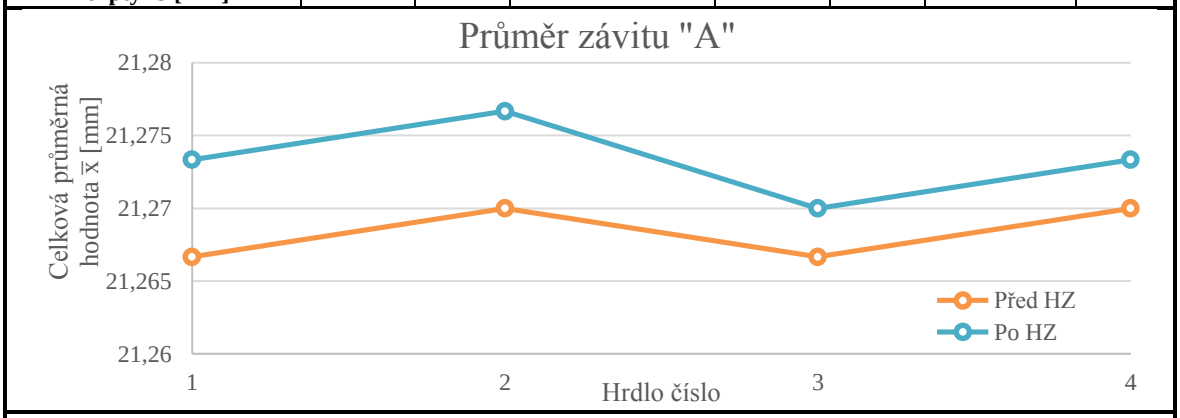
Neprodleně po tryskání proběhla hydraulická zkouška. Při ní byla do hrdel umístěných na plášti (3 a 4) našroubována zakalená zátka se závitem M22×1,5, která měla za úkol utěsnit celou soustavu. Do hrdel na dnech (1 a 2) byla zasunuta tryska sloužící pro přívod kapaliny do vzduchojemu. Naměřené hodnoty po hydraulické zkoušce jsou uvedeny v tabulce 7.

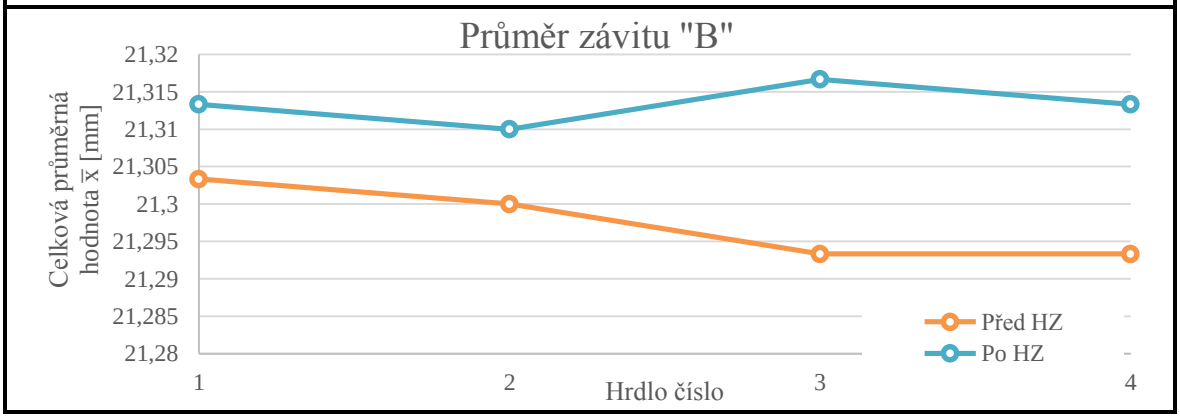
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,27 mm, „B“ – 21,31 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,02 mm, „B“ – 0,02 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,27 mm na 21,27 mm – rozdíl o 0,00 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,30 mm na 21,31 mm – rozdíl o 0,01 mm,
- ruční kalibr na plášti NE, dno OK,
- strojní kalibr nebyl použit.

Tab. 7 Naměřené rozměry na hrdlech po hydraulické zkoušce

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr	Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.				
1.	21,27	21,27	21,28	**21,27**	**0,01**	21,33	21,30	21,31	**21,31**	**0,03**	**OK**	**Dno**
2.	21,27	21,27	21,29	**21,28**	**0,02**	21,30	21,32	21,31	**21,31**	**0,02**	**OK**	
3.	21,27	21,28	21,26	**21,27**	**0,02**	21,32	21,32	21,31	**21,32**	**0,01**	**NE**	**Plášť**
4.	21,27	21,29	21,26	**21,27**	**0,03**	21,32	21,31	21,31	**21,31**	**0,01**	**NE**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,27**	**0,02**				**21,31**	**0,02**		





3.2.6 Měření po fosfátování

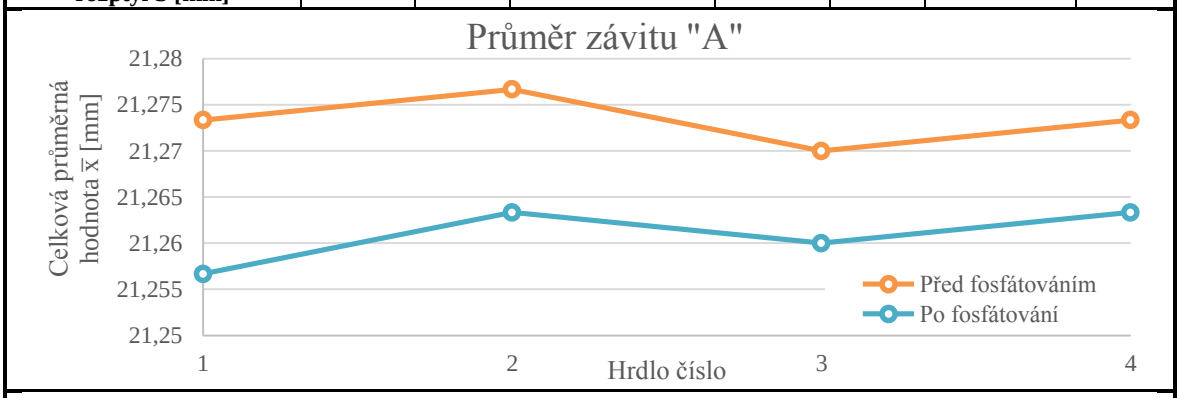
Po úspěšném absolvovaní hydraulické zkoušky se vzduchojemy umístily do fosfátovacích pecí, kde na ně byla nanesena vrstva fosfátu dosahující tloušťky 80 µm. Po jejím dokončení se nechaly vzduchojemy dostatečně odpočinout, aby došlo k ucelení povrchu (cca 2 hodiny), a následně byly přeměřeny. Během celého procesu fosfátování nebyl závit nijak chráněn. Naměřené hodnoty po fosfátování jsou uvedeny v tabulce 8.

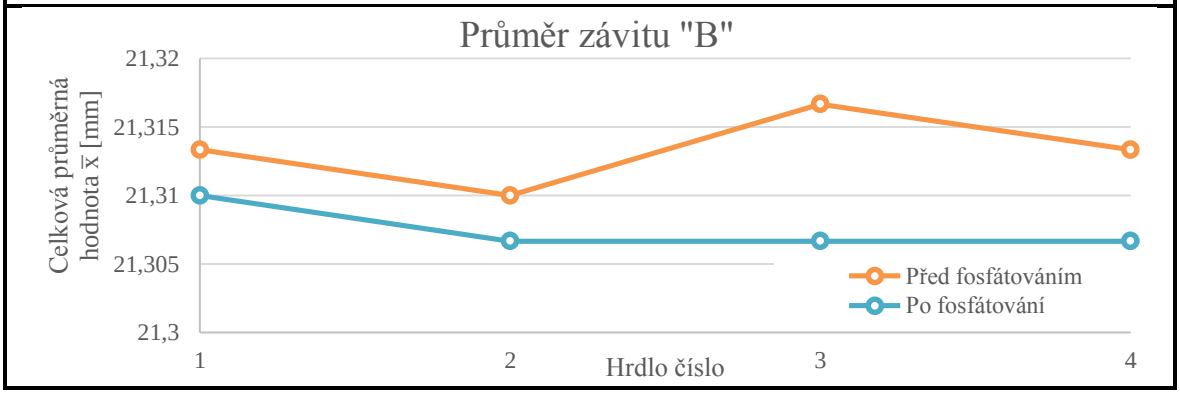
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,26 mm, „B“ – 21,31 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,01 mm, „B“ – 0,01 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,27 mm na 21,26 mm – rozdíl o 0,01 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,31 mm na 21,31 mm – rozdíl o 0,00 mm,
- ruční kalibr na plášti NE, dno OK,
- strojní kalibr nebyl použit.

Tab. 8 Naměřené rozměry na hrdlech po fosfátování

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr	Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.				
1.	21,25	21,26	21,26	**21,26**	**0,01**	21,31	21,31	21,31	**21,31**	**0,00**	**OK**	**Dno**
2.	21,27	21,26	21,26	**21,26**	**0,01**	21,31	21,30	21,31	**21,31**	**0,01**	**OK**	
3.	21,26	21,27	21,25	**21,26**	**0,02**	21,31	21,30	21,31	**21,31**	**0,01**	**NE**	**Plášť**
4.	21,25	21,27	21,27	**21,26**	**0,02**	21,31	21,31	21,30	**21,31**	**0,01**	**NE**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,26**	**0,01**				**21,31**	**0,01**		





3.2.7 Měření po lakování

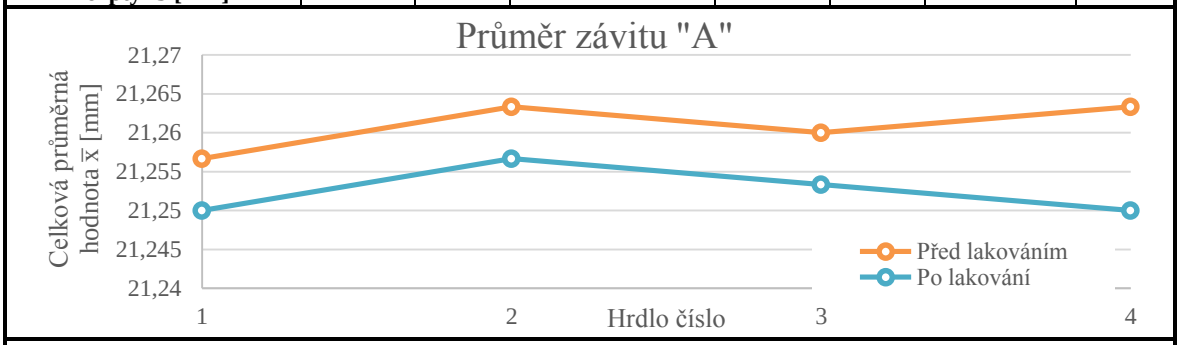
Nejdříve byl zhotoven vnitřní nástřik vzduchojemu. Do hrdla umístěného na dně (1 a 2) vzduchojemu byla zavedena tryska aplikační pistole, zatímco hrdla umístěna na plášti (3 a 4) byla chráněna plastovými zátkami. Po vnitřním nástřiku se provedl vnější nástřik, kdy v hrdlech na plášti (3 a 4) jsou stále zavedeny plastové zátky a na hrdlech umístěných na dně vzduchojemu (1 a 2) je zašroubován nosný hák. Po nanesení barvy následovalo vypalování v peci a následné vychladnutí. Při lakování je na vnitřní povrch vzduchojemu nanesena barva o minimální předepsané tloušťce 60 µm a na vnější povrch vrstva o minimální předepsané tloušťce 100 µm. Naměřené hodnoty po lakování jsou uvedeny v tabulce 9.

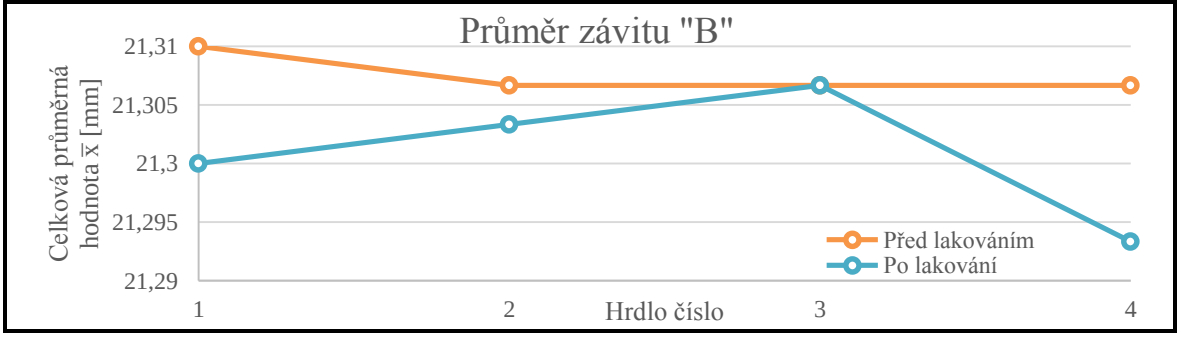
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,25 mm, „B“ – 21,30 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,02 mm, „B“ – 0,02 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,26 mm na 21,25 mm – rozdíl o 0,01 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,31 mm na 21,30 mm – rozdíl o 0,01 mm,
- ruční kalibr na plášti i dně NE,
- strojní kalibr na plášti NE, na dně 1ks (hrdlo číslo 1) OK, 1ks NE.

Tab. 9 Naměřené rozměry na hrdlech po lakování

Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr		Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	Strojní	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.					
1.	21,24	21,25	21,26	**21,25**	**0,02**	21,31	21,29	21,30	**21,30**	**0,02**	**NE**	**OK**	**Dno**
2.	21,26	21,26	21,25	**21,26**	**0,01**	21,31	21,31	21,29	**21,30**	**0,02**	**NE**	**NE**	
3.	21,25	21,25	21,26	**21,25**	**0,01**	21,31	21,31	21,30	**21,31**	**0,01**	**NE**	**NE**	**Plášť**
4.	21,25	21,26	21,24	**21,25**	**0,02**	21,28	21,31	21,29	**21,29**	**0,03**	**NE**	**NE**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,25**	**0,02**				**21,30**	**0,02**			





3.2.8 Měření po výstupní kontrole

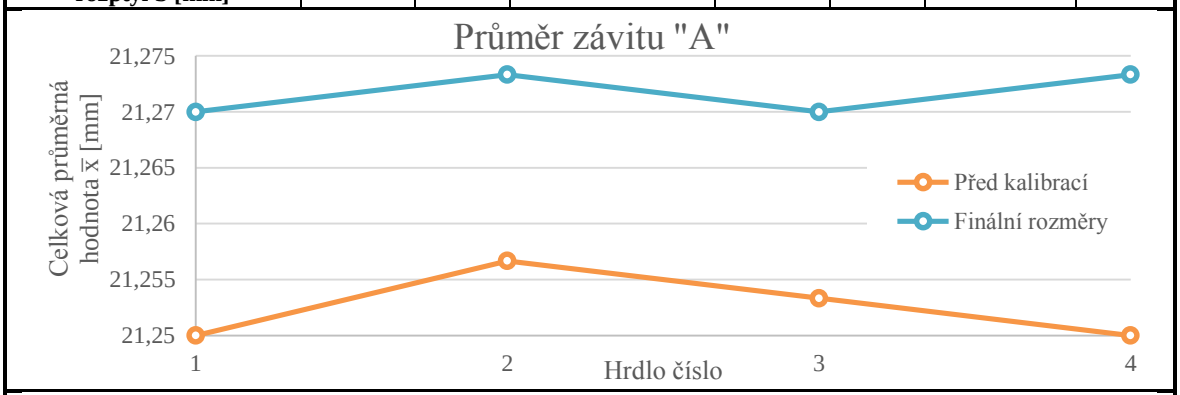
Poslední měření bylo vyhotoveno po výstupní kontrole, kde došlo ke kontrole průchodnosti pneumatického kalibru závity. Jelikož u tří ze čtyř testovaných (hrdla číslo 2, 3 a 4) vzorků nebyla průchodnost dosažitelná, došlo k jejich úpravě pomocí pneumatického závitníku M22×1,5. Po jejich opravě došlo k poslednímu přezkoumání hrdel. Naměřené hodnoty po výstupní kontrole jsou uvedeny v tabulce 10.

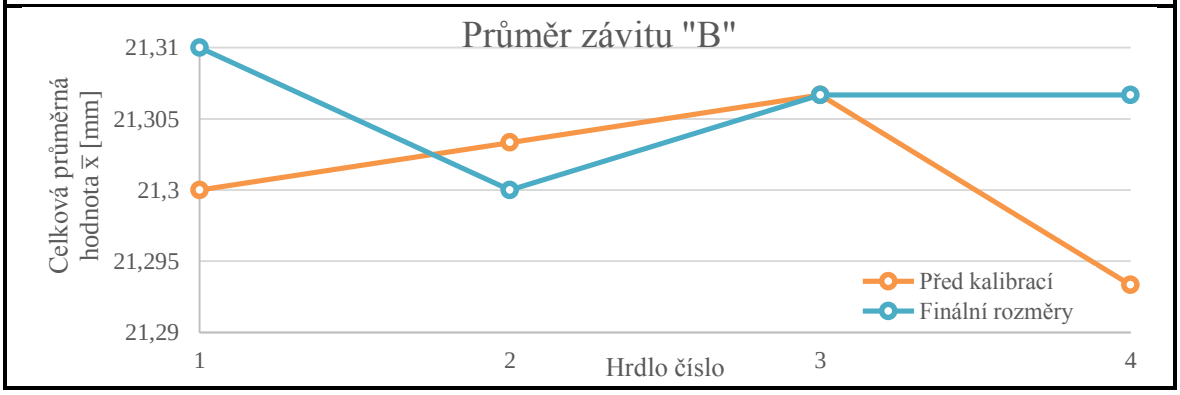
Naměřené hodnoty:

- celková průměrná hodnota $\bar{x}$ pozice „A“ – 21,27 mm, „B“ – 21,31 mm,
- celkový průměrný rozptyl S pozice „A“ – 0,01 mm, „B“ – 0,01 mm,
- pozice „A“ – z hodnoty 21,25 mm na 21,27 mm – rozdíl o 0,02 mm,
- pozice „B“ – z hodnoty 21,30 mm na 21,31 mm – rozdíl o 0,01 mm,
- ruční kalibr OK,
- strojní kalibr OK.

Tab. 10 Naměřené rozměry na hrdlech po výstupní kontrole

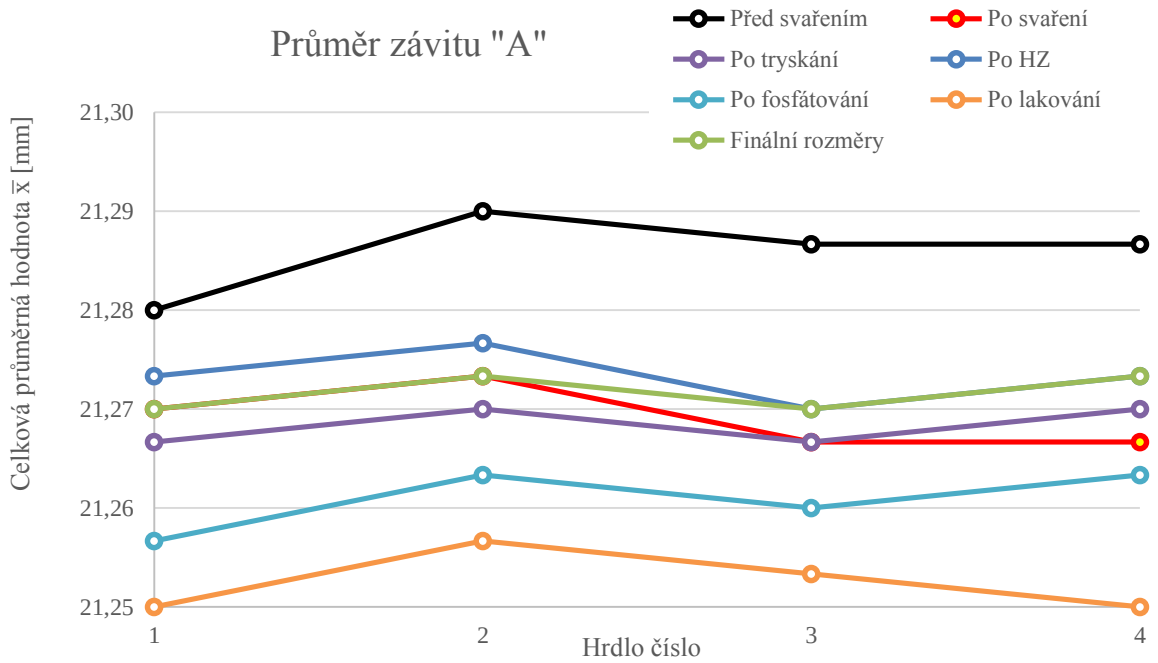
Číslo vzorku	Vnější strana hrdla					Vnitřní strana hrdla					Kalibr		Umístění
	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Číslo měření			Průměrná hodnota $\bar{x}_i$ [mm]	Rozptyl s [mm]	Ruční	Strojní	
	1.	2.	3.			1.	2.	3.					
1.	21,28	21,27	21,26	**21,27**	**0,02**	21,32	21,31	21,30	**21,31**	**0,02**	**OK**	**OK**	**Dno**
2.	21,27	21,27	21,28	**21,27**	**0,01**	21,29	21,31	21,30	**21,30**	**0,02**	**OK**	**OK**	
3.	21,27	21,27	21,27	**21,27**	**0,00**	21,30	21,31	21,31	**21,31**	**0,01**	**OK**	**OK**	**Plášť**
4.	21,28	21,26	21,28	**21,27**	**0,02**	21,31	21,31	21,30	**21,31**	**0,01**	**OK**	**OK**	
CELKEM průměr $\bar{x}$ [mm], rozptyl S [mm]				**21,27**	**0,01**				**21,31**	**0,01**			

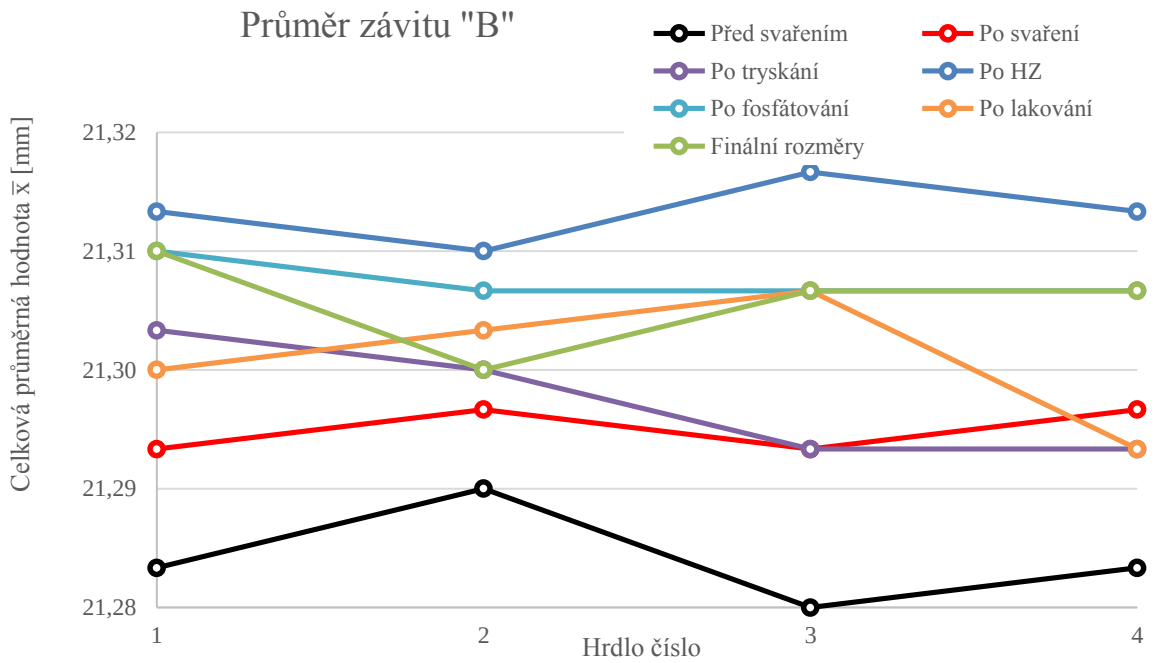




3.2.9 Porovnání všech měření

V obrázku 19 jsou graficky znázorněny naměřené rozměry hrdel v závislosti na tom, o jaké hrdlo se jedná. Jsou zde uvedeny hodnoty po všech provedených měřeních během výroby.





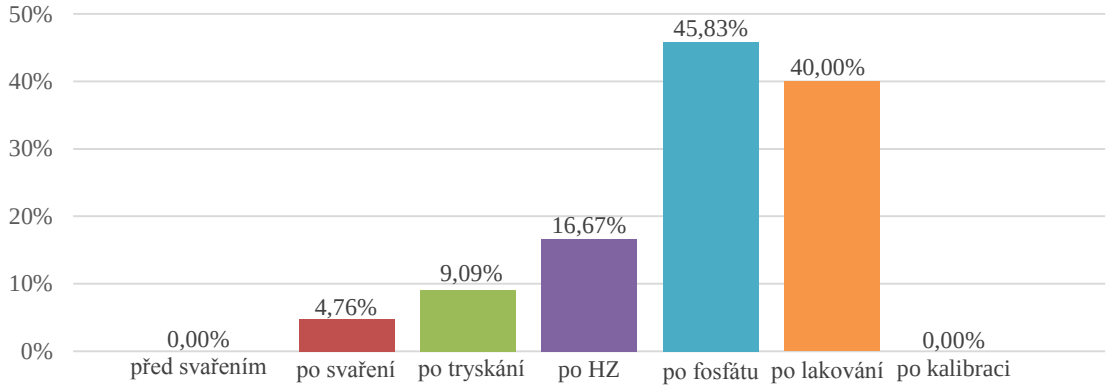
Obr. 19 Výsledné porovnání průměrů hrdel „A“ a „B“ po všech operacích

3.2.10 Měření kalibrem

Po dokončení měření byly výsledky činnosti zhodnoceny a byla uskutečněna ještě namátková kontrola kalibrem. Kontrola proběhla po všech krocích výroby. Byl použit stejný kalibr, který byl použit i na předešlá měření (M22×1,5). Výsledky průchodnosti kalibru jsou uvedeny v tabulce 11, pod ní je umístěn obr. 20, na kterém je graficky znázorněna ta část hrdel, jež v průchodnosti kalibru neuspěla, tedy vadné kusy.

Tab. 11 Kontrola průchodnosti kalibru v závislosti na výrobních operacích

Operace	Počet kontrolovaných kusů	Dobré kusy	Špatné kusy	Procento vadných ks
Před svařením	20	20	0	**0,00 %**
Po svaření	21	20	1	**4,76 %**
Po tryskání	22	20	2	**9,09 %**
Po HZ	24	20	4	**16,67 %**
Po fosfátování	24	13	11	**45,83 %**
Po lakování	30	18	12	**40,00 %**
Po kalibraci	30	30	0	**0,00%**



Obr. 20 Procenta vadných kusů v závislosti na operaci výroby

4 EKONOMICKÉ HLEDISKO HRDEL

Ve výrobě se používá několik druhů hrdel, která jsou dodávána dvěma společnostmi. První z nich je česká společnost Katring, která vyrábí hrdla tvářením. Takto vyrobená hrdla mají několik výhod, například vyšší pevnostní charakteristiky. Druhým dodavatelem hrdel je německá společnost Maier se specializací na výrobu soustružených hrdel.

V tabulce 12 jsou uvedeny ceny nejpoužívanějších hrdel, které jsou původně uvedeny v eurech, pro přepočtení na koruny byl použit kurz 1 € = 27,54 Kč (kurz dle České národní banky ke dni 8. 4. 2015). Dále jsou zde uvedeny počty použitých kusů hrdel za uplynulé čtvrtletí od 18. 12. 2014 do 31. 3. 2015. Byla vybrána hrdla, která v tomto období dosáhla alespoň deseti tisíc použitých kusů, nejedná se tedy o všechny používané druhy hrdel, některá hrdla v daném období nebyla použita vůbec. Hlavním důvodem jejich nevyužití je, že v daném období se nevyráběly žádné vzduchojemy, které tato hrdla obsahují. Dále jsou zde uvedeny základní rozměry hrdel (vnější průměr – geometrie závitu – výška). Některá hrdla např. 4673 a 4058, jsou podle těchto rozměrů totožná, liší se ovšem v detailech (např. zápustná hrana, náběhové zkosení hrany závitu, …). Nakonec jsou uvedeni výrobci a použitý druh technologie k výrobě hrdla.

Dle uvedených dat lze zjistit, že procentuální zastoupení podílu výrobce činí 56 % odebraných hrdel od české společnosti Katring a 44 % od německé Maier. Při přímém srovnání lze dále zjistit, že hrdla vyráběná tvářením jsou levnější než hrdla soustružená. Mezi nejpoužívanější hrdla patří hrdla 4058 od Maiera a výše počtu využitých kusů činí 210 000, v závěsu za nimi jsou měřená hrdla 4673 od Katringu, s počtem 167 301 kusů.

Vezmeme-li například měřené hrdlo 4673, které dodává jak společnost Katring, tak i Maier, tak rozdíl ceny za kus činí 0,0159 € (0,44 Kč). Cenový rozdíl není až tak velký, pokud ale budeme uvažovat i počty použitých kusů, dostáváme se do vyšších čísel. Například kdyby byla všechna hrdla 4673 odebrána od společnosti Maier, činila by jejich výsledná cena 46 056 € (1 268 383 Kč), zatímco při kombinaci výrobců Katring a Maier činí celková cena odebraných hrdel 43 396 € (1 195 125 Kč). Rozdíl by tedy teoreticky činil 2 660 € (73 259 Kč). Hlavním důvodem je, že 89 % odebraných hrdel je od levnějšího dodavatele Katring a pouhých 11 % od Maiera. Ovšem hlavní slovo ve výběru typu použitých hrdel má zákazník.

Tab. 12 Ceník vybraných druhů hrdel s počtem použitých kusů za uplynulé čtvrtletí

Název hrdla	Cena €/ks	Cena Kč/ks	Počet použitých kusů	Základní rozměry [mm]	Výrobce	Způsob výroby
3889	0,2306	6,35	76 714	Ø32-M22×1,5-12	Katring	Tvářené
3890	0,3472	9,56	26 100	Ø32-M22×1,5-26	Katring	Tvářené
4058	0,2306	6,35	62 770	Ø32-M22×1,5-12	Katring	Tvářené
4058	0,2415	6,65	210 000	Ø32-M22×1,5-12	Maier	Soustružené
4059	0,3405	9,38	90 000	Ø32-M22×1,5-26	Maier	Soustružené
4169	0,3659	10,08	23 447	Ø32-M22×1,5-29	Katring	Tvářené
4673	0,2296	6,32	167 301	Ø32-M22×1,5-12	Katring	Tvářené
4673	0,2455	6,76	20 300	Ø32-M22×1,5-12	Maier	Soustružené
4674	0,3035	8,36	80 028	Ø32-M22×1,5-20	Katring	Tvářené
4674	0,3106	8,55	16 020	Ø32-M22×1,5-20	Maier	Soustružené

5 DISKUZE

Výroba testovaných kusů vzduchojemů se obešla bez celkových komplikací. Došlo ovšem k několika změnám oproti standardní výrobě. Měřená hrdla byla umístěna na standardním sériově vyráběném kusu vzduchojemu. Na rozdíl od sériové výroby byl ovšem celý výrobní proces urychlen. Celkový čas od počátku výroby (navaření hrdel do plášťů a den) až po konečnou výstupní kontrolu dělá 8 hodin. Standardní časy výroby jsou převážně až dvojnásobné.

Jediným zásadním a velkým problémem bylo zajištění toho, aby ve výrobním procesu nedošlo k záměně testovaných vzduchojemů s kusem ze standardní výroby. Ze začátku byl tento problém řešen vyznačením čísla fixem na plášť vzduchojemu. Tento způsob byl ale vhodný jen po dobu lakování, kde by ztratil svůj účel. Proto byly ve fázi lakování použity kovové tabulky s vyraženými čísly, aby nedošlo k prohození vzduchojemů.

Naměřené hodnoty jasně ukazují, že v procesu výroby dochází k deformacím hrdel, dochází jak ke změnám jejich průměru, tak i k rozptylu naměřených hodnot (průřez hrdlem se stává oválný). Je jasně vidět i rozdílné chování na vnější a vnitřní straně hrdla. Při celém měření nebyla brána v úvahu možnost nepřesnosti měřidla, jelikož použitá měřidla měla nově provedenou certifikovanou kalibraci.

Vezmeme-li hodnoty naměřené na surových hrdlech (viz tab. 4), zjistíme z nich, že rozdíl rozměrů na vnitřní a vnější straně je téměř totožný. Taktéž zde má řez hrdlem má válcový průběh, což v pozdější fázi již neplatí. U hodnot naměřených po svaření (viz tab. 5) lze vidět, že na vnější straně hrdla dochází ke smrštění závitu, a to u všech testovaných vzorků. U vnitřní strany závitu dochází ke zvětšení průměru hrdla bez rozdílu, zda bylo použito na plášti nebo na dně. Řez hrdlem již tedy nemá válcový průběh, nyní je kuželový z důvodu odchylek. Důvodem deformace může být to, že vnitřní strana hrdla je v těsném kontaktu se vzniklým svarem, a je tak vystavena vyšším teplotám něž strana vnější. Přes tuto deformaci ale nedošlo k znehodnocení, protože nebyl zaznamenán žádný problém s průchodností kalibru. Po tryskání (viz tab. 6) nedochází u vnější strany hrdel k žádné změně, zatímco na vnitřní straně dochází k rozšíření průměru, ale jen u hrdel použitých na dnech. Důvod může být ten, že do těchto hrdel se zavádí háky (M22×1,5), za které se vzduchojemy zavěsí na dopravník, zatímco do hrdel na pláštích je zavedena pouze plastová zátka. Stále nedochází k žádným problémům s průchodností kalibru. Po hydraulické zkoušce (viz tab. 7) i nadále u vnější strany hrdel nedochází k žádným větším změnám, zatímco u vnitřní strany hrdel dochází nadále ke zvětšování průměru, který je po tomto kroku největší během celého procesu výroby. Zde ovšem nastává první problém, a to s průchodností kalibru u hrdel umístěných na pláštích. Průchodnost již není možná. Příčinou bude zřejmě to, že do hrdel na pláštích se umisťují kalené zátky (M22×1,5), které jsou již značně opotřebené. U hodnot po fosfátování (viz tab. 8) lze vidět, že došlo ke zmenšení průměru závitu a to jak na vnitřní, tak na vnější straně. Důvodem je nanesení fosfátovací vrstvy na nijak nechráněné závity. U průchodnosti kalibru nedošlo k žádné změně. Po lakování (viz tab. 9) nadále dochází ke zmenšování průměrů hrdel jak vnějších, tak i vnitřních. V tomto kroku byl také poprvé použit pneumatický kalibr, a jak lze vidět z naměřených hodnot, u žádného hrdla nedošlo k úspěšné průchodnosti ručního kalibru a u pneumatického kalibru prošel pouze jeden testovaný vzorek. Důvodem je nanesení práškové barvy na celý povrch vzduchojemu, tedy i závitů hrdel. Poslední přezkoumání proběhlo po úpravě hrdel (viz tab. 10), která byla upravena pomocí pneumatického závitníku. Zde již nebyl žádný problém s průchodností kalibru.

Porovnáme-li hodnoty naměřené v prvním kroku (na surových hrdlech) s výstupními hodnotami, zjistíme, že na vnější straně jsou průměry menší až o 0,02 mm, zatímco na straně vnitřní jsou hodnoty až o 0,02 mm větší. Z toho plyne poznatek, že na vnější straně dochází ke zmenšování průměrů hrdel, zatímco na straně vnitřní dochází ke zvětšování průměrů. Porovnání všech naměřených hodnot je uvedeno na obrázku 19.

Na závěr byla ještě provedena náhodná kontrola průchodnosti kalibru závity (viz tab. 11 a obr. 20), u které byly zjištěny v podstatě stejné problémy jako u měření. A to, že k prvním velkým problémům dochází až po hydraulické zkoušce. K extrémnímu nárůstu vadných kusů dochází ovšem až po fosfátování (nárůst o 29%).

Jak je tedy vidět z celého měření, nebude problém ani tak ve změně průměru závitu, jelikož dochází k jejímu postupnému navracení na původní hodnotu, jako spíše k tomu, že dochází k deformaci profilu závitu, případně k zanášení fosfátovacím nebo lakovacím přípravkem. Jako řešení problému byla navržena nová náběhová hrana vnější strany závitu, která by měla usnadnit průchodnost kalibru, tedy i následné uchycení přípojné hadice na vozidle.

ZÁVĚR

V současné době se zaměřuje mnoho firem na trhu na zlepšování svých výrobních procesů za účelem jak zlepšení kvality svých výrobků, tak i za účelem snížení nákladů výroby na minimum. Prioritou je proto vyrábět bezchybné výrobky v co možná nejkratším časovém úseku, za co možná nejmenší vynaložené náklady, tedy najít nejúčinnější způsoby, ale i přesto zachovat vysoké kvalitativní standardy požadované zákazníky.

Díky tomu bylo ve společnosti Frauenthal Automotive zavedeno do výroby několik nových kusů hrdel na vzduchojemy. Jejich zavedení se ovšem neobešlo bez problémů a překážek. Největší problémy byly již od počátku s testovanými hrdly P-4673 (Ø32-M22×1,5-12), které byly podrobeny přezkoumání. Proto došlo k jejich analýze po každém kroku výroby, aby se dalo odhadnout jejich chování a deformace.

Cílem bakalářské práce nebylo stanovení jednoznačného řešení daného problému, neboť je poměrně rozsáhlý, a je ovlivněn spoustou činitelů, kteří vstupují do výrobního procesu. Cílem bylo posoudit jejich chování, provést analýzu hrdel za účelem vyvození základních důsledků a posoudit jejich chování během výrobního procesu. Pro větší představu a pro případné odstranění problému bude nutné se problematikou deformace hrdel zabývat hlouběji a detailněji. Z celé analýzy ovšem vyplynul jasný fakt, že je nutné se jejich problematikou zabývat, a pokusit se ji úspěšně vyřešit za účelem zlepšení a zkvalitnění výrobního postupu a konečného produktu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] *Frauenthal Automotive* [online]. [cit. 2015-02-05]. Dostupné z: http://www.frauenthal- au motive.com/.

[2] Princip činnosti vzduchové brzdy. *Schroter* [online]. 2011 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://www.schroter.cz/ouvskc3/ouv-c-ot31mpks.htm.

[3] Air Brake Systems - How They Work. *Trailer parts superstore* [online]. 2009 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://www.easternmarine.com/tech-info/how-air-brakes-work.

[4] Air brake (road vehicle). *Wikipedia* [online]. 2008 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_brake_(road_vehicle).

[5] Stručný úvod do konstrukce nákladního automobilu, 2. díl. *Nedtrans* [online]. 2012 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://www.liaznavzdy.cz/nedtrans/konstrukce2.php.

[6] PLECHY / PLECHY Z OCELÍ PRO JEDNODUCHÉ TLAKOVÉ NÁDOBY PODLE EN 10207. *Vítkovice Steel* [online]. 2014 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://www.vitkovicesteel.com/stranky/plechy-plechy-z-oceli-pro-jednoduche-tlakove-nadoby-podle-en-10207.

[7] DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.

[8] Technologie plošného tváření - rovnání. *Technologie II* [online]. 2007 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/08.htm.

[9] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

[10] Kazuli. *Manufacturing of a Silencer* [online]. 2002 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: http://www.kazuli.com/UW/3A/ME%20340/silencer2.htm.

[11] Rotační tlačení plechu s povrchovou úpravou. *Průmyslové spekulace* [online]. 2013 [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: http://firmy.mmspektrum.com/clanek/rotacni-tlaceni-plechu-s-povrchovou-upravou.html.

[12] Technologie II. *Technologické způsoby výroby dutých těles* [online]. 2008 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm.

[13] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-718-3244-8.

[14] KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

[15] KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie svařování. [online]. Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 1994 [cit. 2015-02-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I__svarovani__kubicek.

[16] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook* [online]. 2nd ed. Cambridge, UK: Woodhead Pub, 2012. ISBN 9780857095183. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857095107500240.

[17] KREJČÍK, Vladimír. *Povrchová úprava kovů I pro 2. ročník SOU*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 168 s.

[18] Technologie tryskání. *Solmont* [online]. 2011 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.spolmont.cz/technologie/technologie-tryskani_cz.html.

[19] ÚŘEDNÍČEK, Lukáš. *Princip a funkce hydraulické zkoušky vzduchojemů*, ústní sdělení 2015.

[20] ZEMAN, Oldřich. *Postup fosfátování vzduchojemů*, ústní sdělení 2015.

[21] Práškové lakování v kostce. *Salum* [online]. 2006 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/35-salum-praskove-lakovani-v-kostce.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
Ar	[-]	Argon
CO_2	[-]	Oxid uhličitý
DEMI	[-]	Demineralizovaná voda
ČSN	[-]	Česká technická norma
EN	[-]	Evropská norma
Fe	[-]	Železo
$Fe_3(PO_4)_2$	[-]	Fosforečnan železitý
HZ	[-]	Hydraulická zkouška
H_2	[-]	Vodík
H_2PO_4	[-]	Dihydrogenfosfát
H_3PO_4	[-]	Kyselina fosforečná
ISO	[-]	Mezinárodní normy vydané International Organization for Standardization
ISO/TS	[-]	Technická komise normalizační organizace ISO
O_2	[-]	Kyslík
$Zn(H_2PO_4)_2$	[-]	Dyhydrogenfosforečnan zinečnatý
$Zn_3(H_2PO_4)_2$	[-]	Zinek ortofosforečnan
€	[-]	Euro

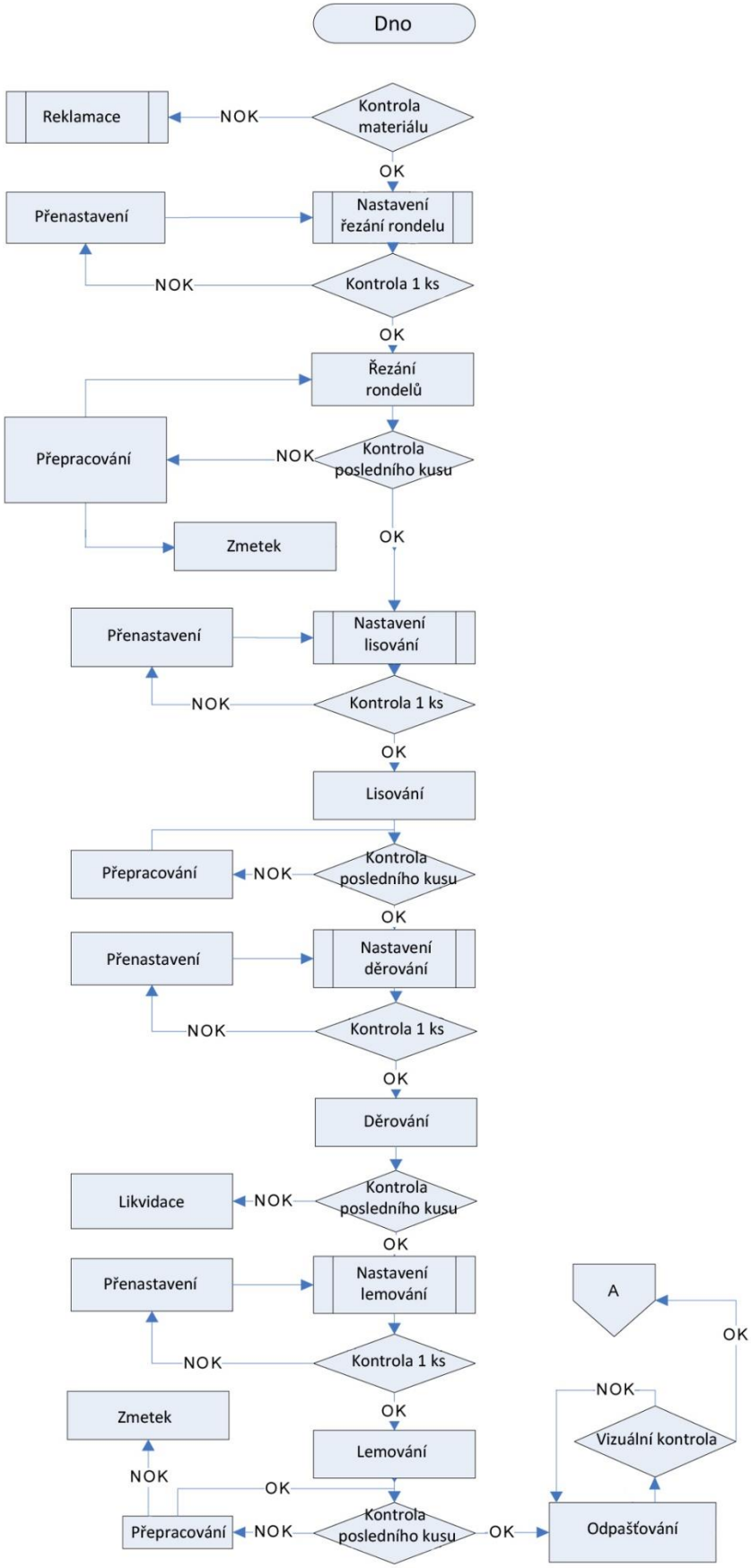
Symbol	Jednotka	Popis
KV	[°C·J^{-1}]	Minimální nárazová práce
L_0	[%]	Minimální tažnost
R	[mm]	Celkový rozptyl hodnot
R_{eH}	[MPa]	Minimální mez kluzu pro plechy do tloušťky 16 mm
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Minimální mez kluzu pro teplotu 300 °C
R_{sf}	[mm]	Poloměr zaoblení tažníku
S	[mm]	Celková rozptyl

h_{el}	[mm]	Hloubka pružného vnikání do povrchu střižného materiálu
h_{pl}	[mm]	Hloubka plastického vnikání do povrhu střižného materiálu
h_S	[mm]	Hloubka vniknutí střižných hran
n	[-]	Počet prvků
s	[mm]	Rozptyl
s_0	[mm]	Tloušťka polotovaru u tažení
t	[mm]	Tloušťka plechu
t_0	[mm]	Výchozí tloušťka plechu před tlačením
t_1	[mm]	Tloušťka plechu po zúžení tlačením
$\bar{x}$	[mm]	Celkový aritmetický průměr
$\bar{x}_i$	[mm]	Dílčí aritmetický průměr
x_i	[mm]	Proměnná hodnota prvků
z	[mm]	Střižná mezera
α	[°]	úhel sklonu stěny při tlačení
β	[°]	Úhel sklonu ostří rovinných nůžek
σ	[MPa]	Napění
σ_K	[MPa]	Mez kluzu materiálu
σ_r	[MPa]	Radiální tahové napětí
σ_t	[MPa]	Tangenciální tlakové napětí
τ_S	[MPa]	Mez pevnosti ve střihu

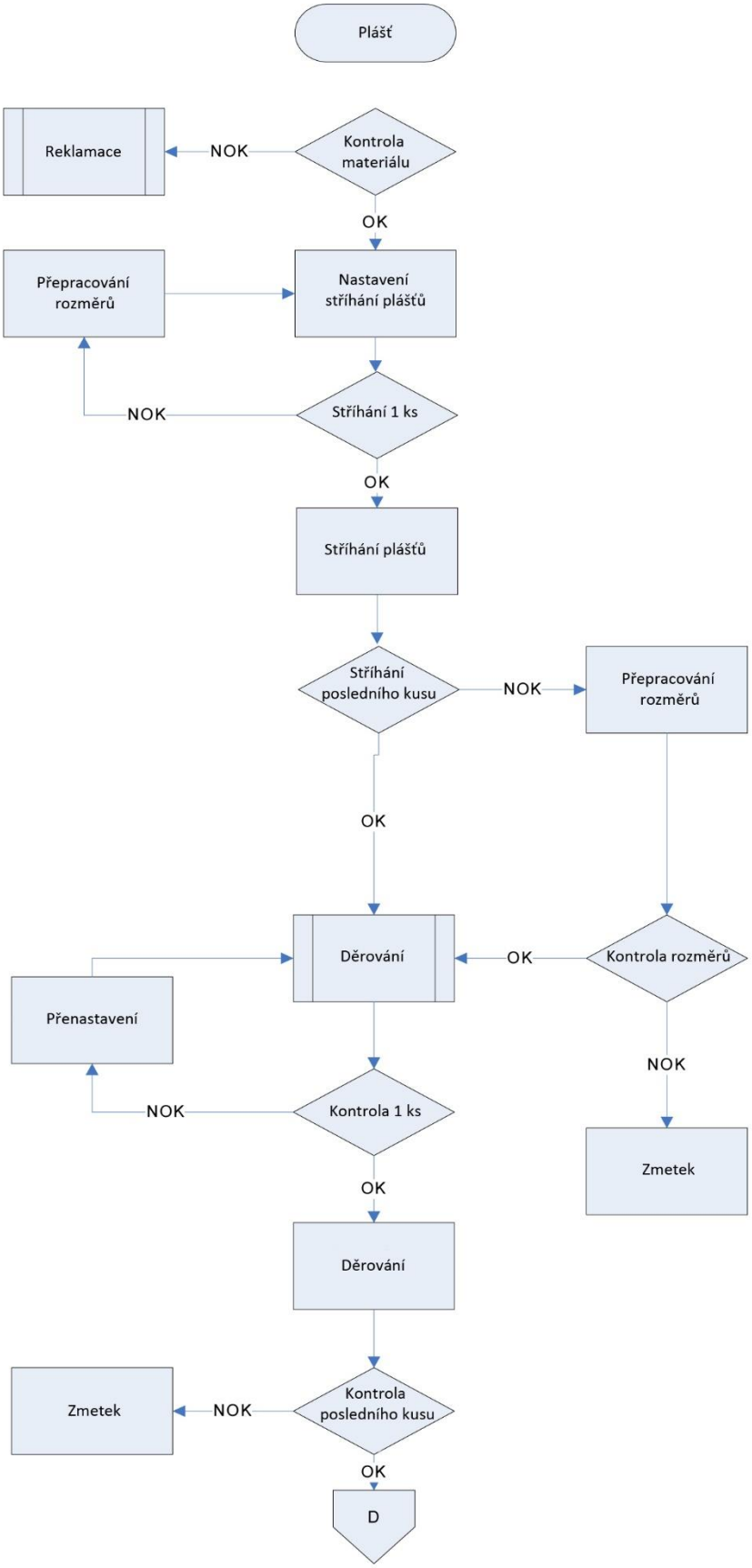
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výrobní diagram vzduchojemu
Příloha 2 Fotografie hlavních kroků výroby
Příloha 3 Výkres hrdla P-4673
Příloha 4 Ukázkové fotografie profilů závitů

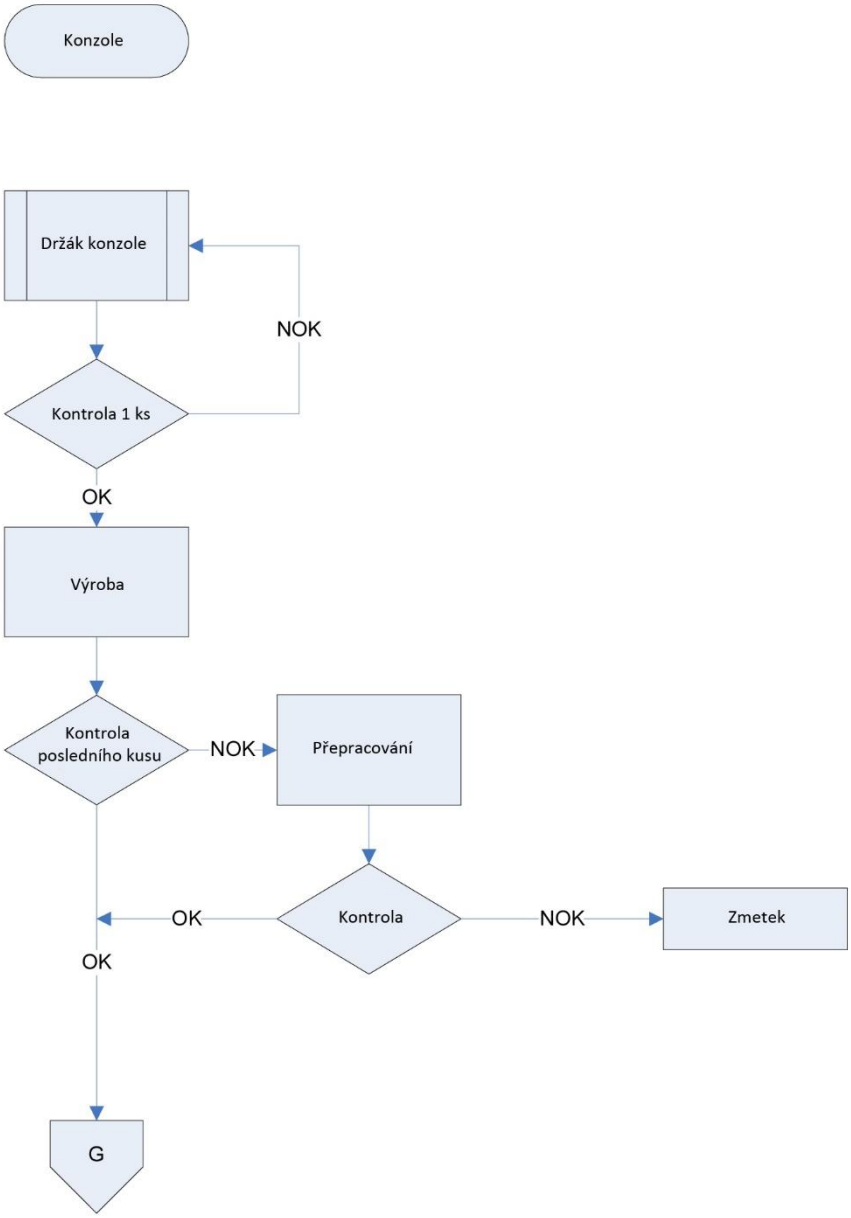
PŘÍLOHA 1 - VÝROBNÍ DIAGRAM VZDUCHOJEMU



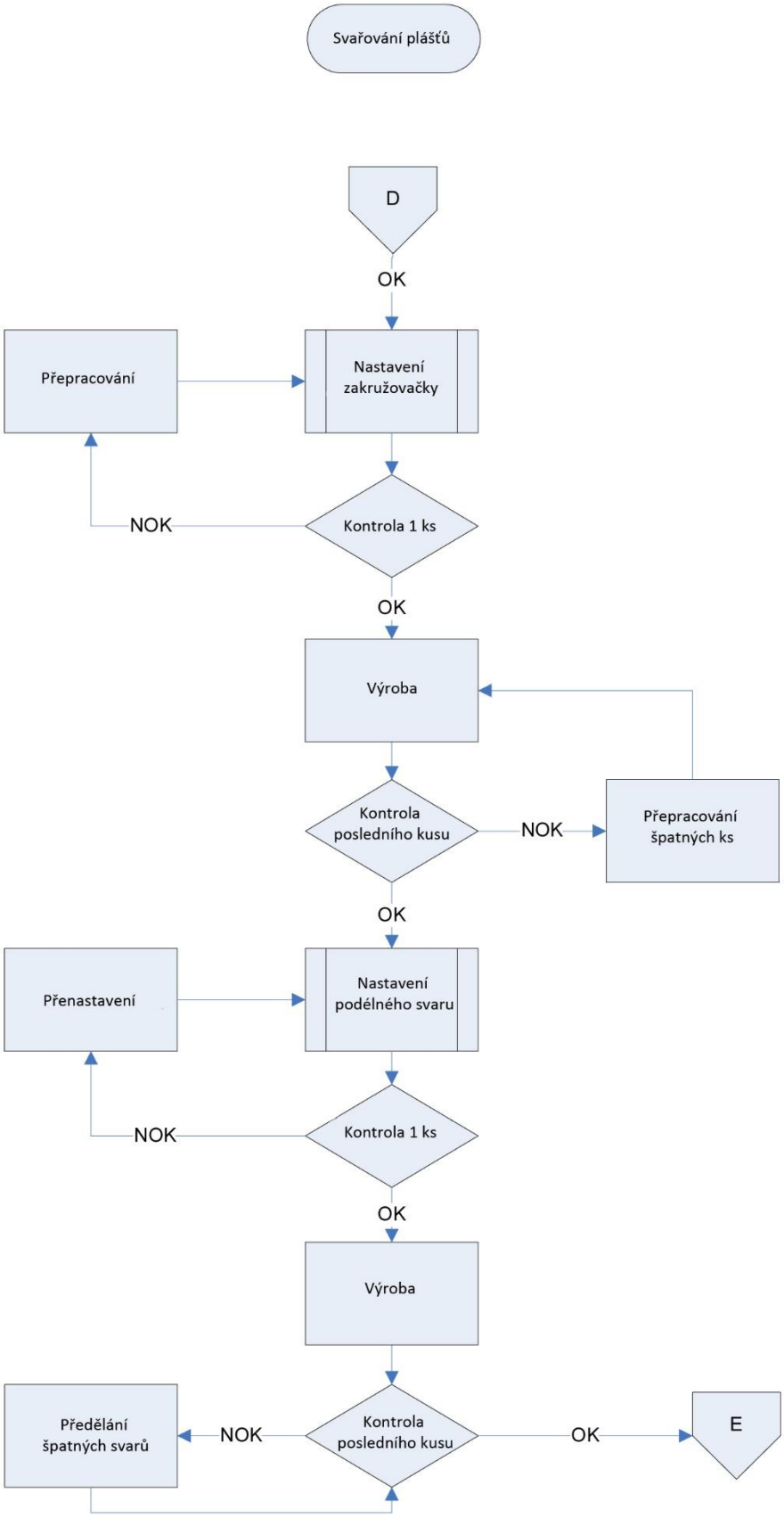
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



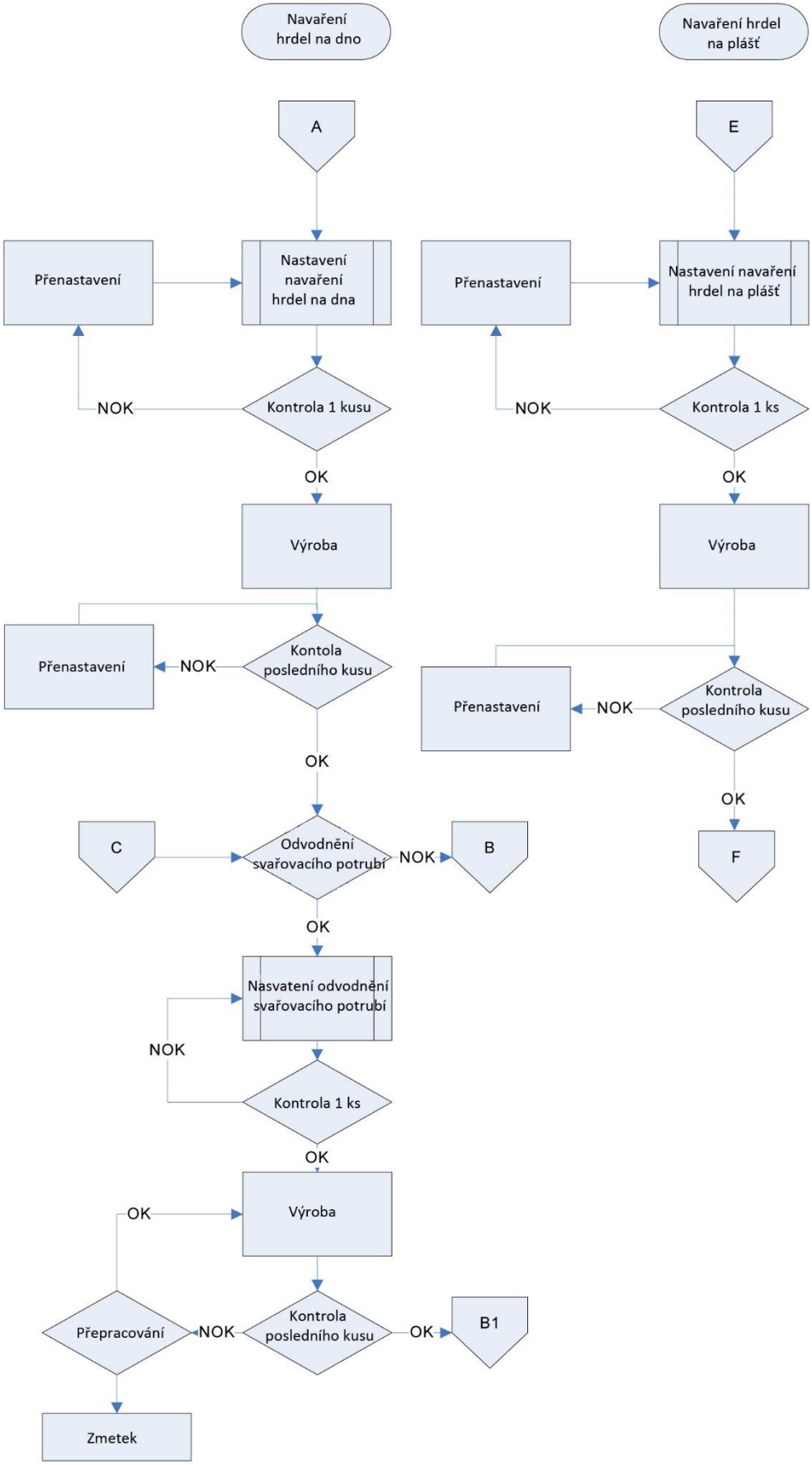
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



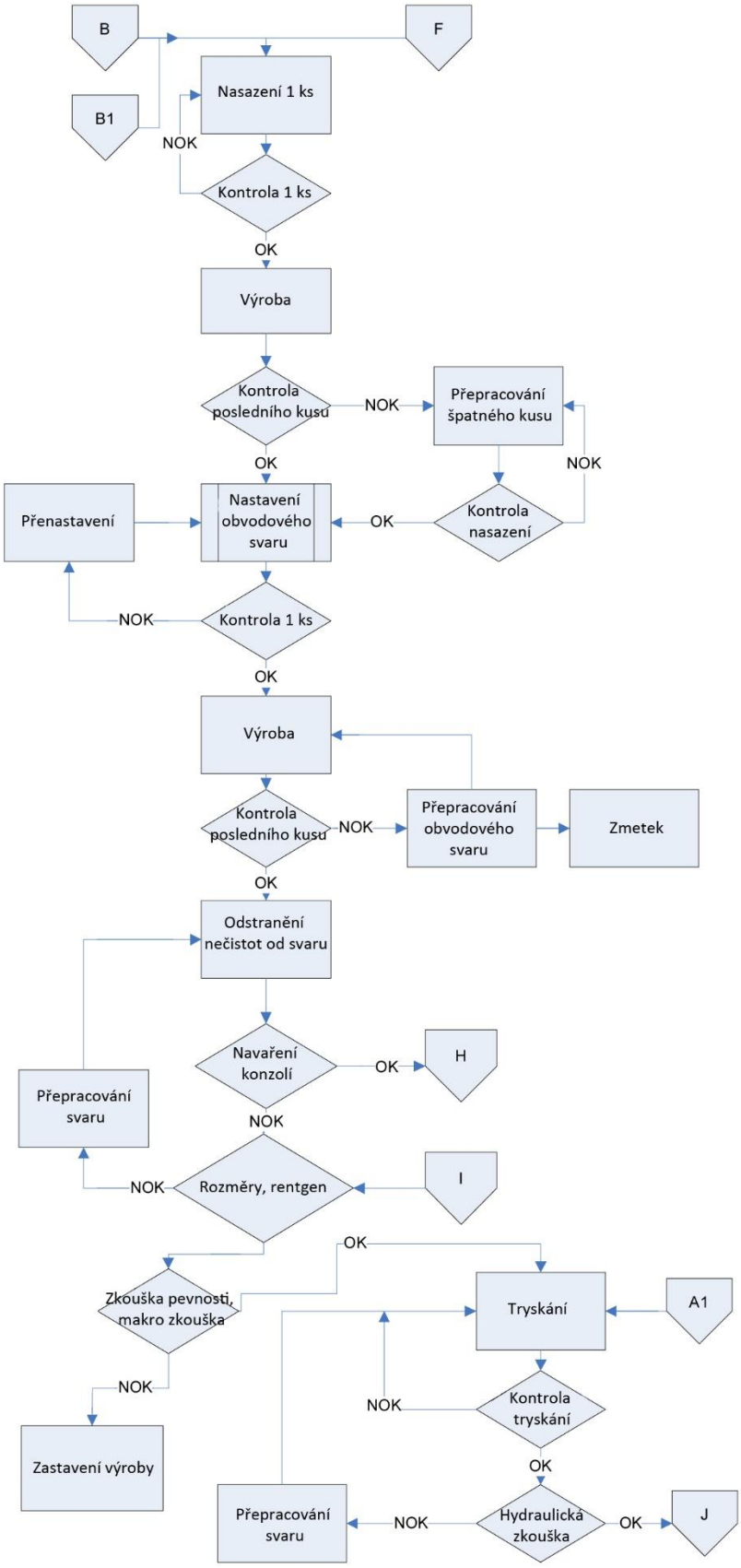
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



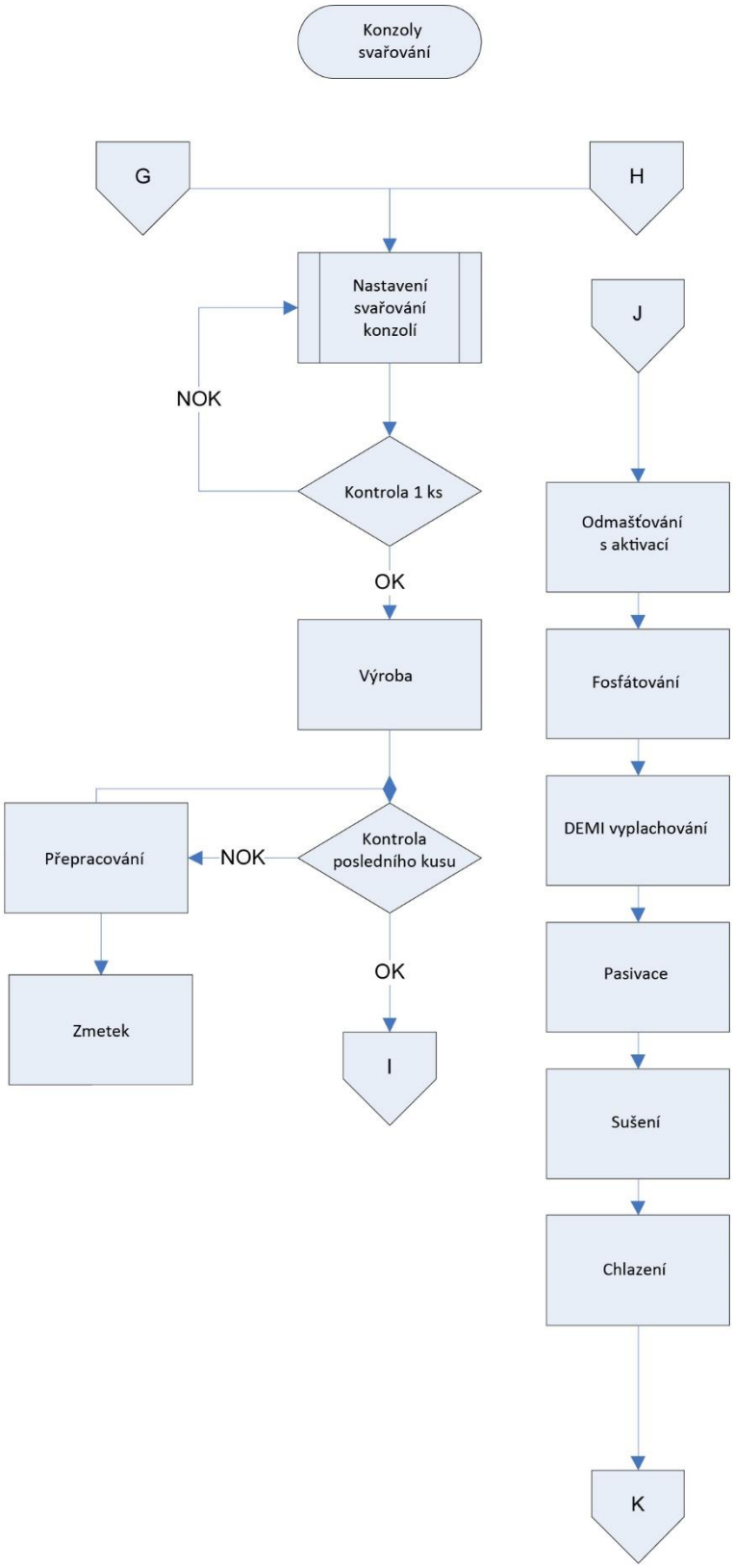
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



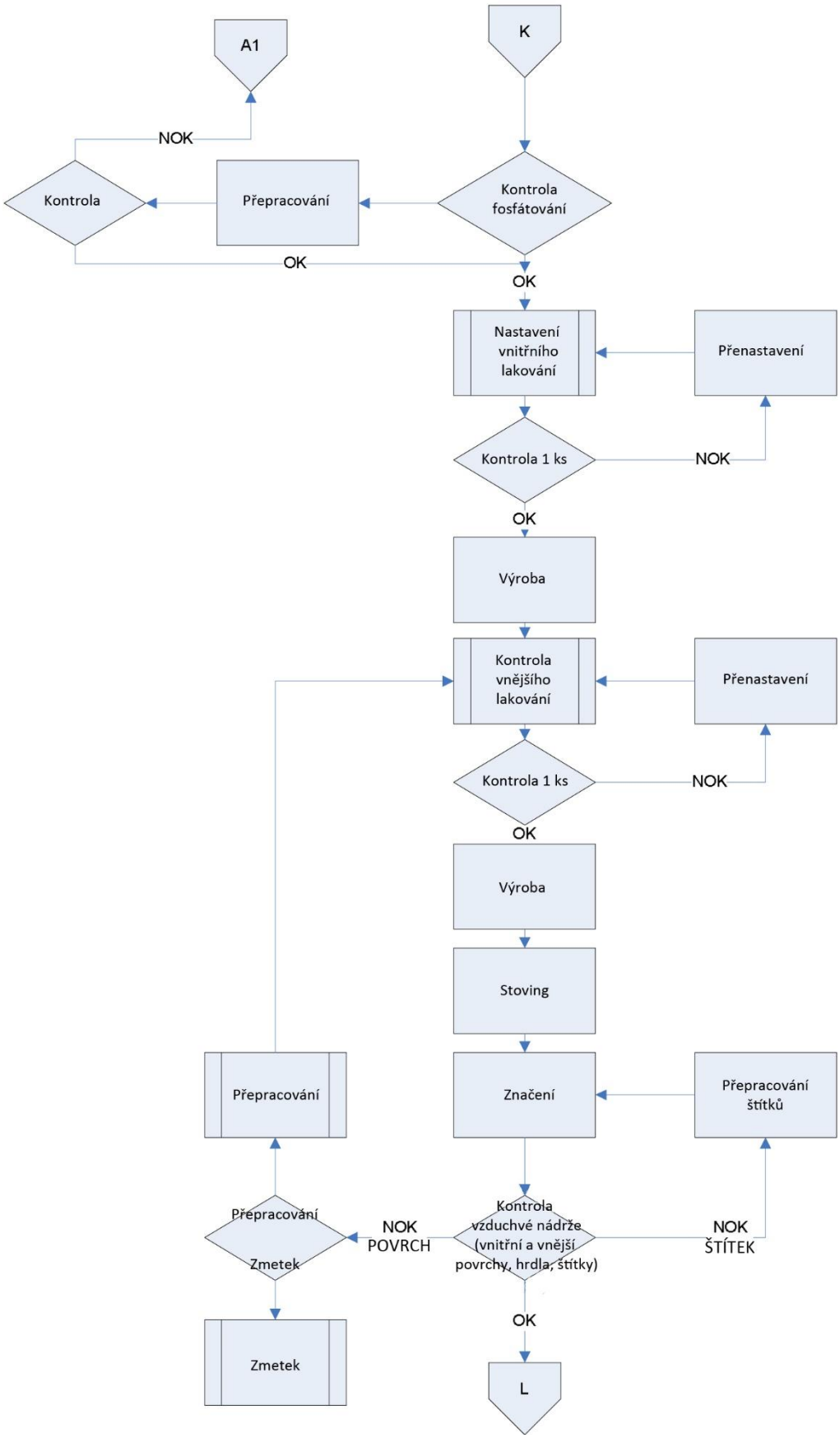
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



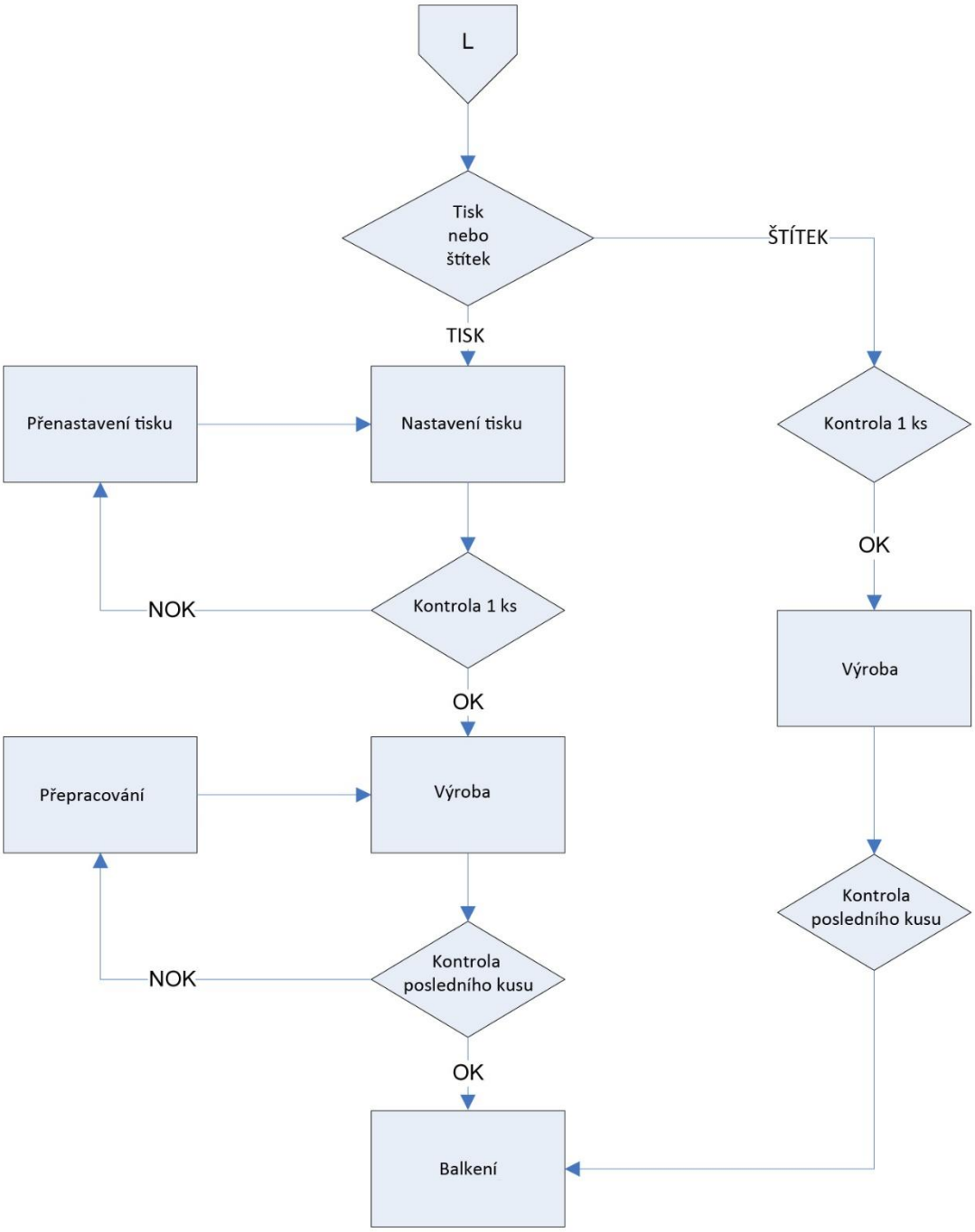
PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ



PŘÍLOHA 1 POKRAČOVÁNÍ

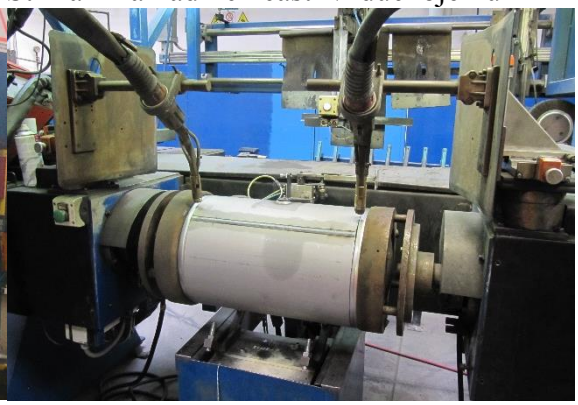


PŘÍLOHA 2 – FOTOGRAFIE HLAVNÍCH KROKŮ VÝROBY

Odvíjení, rovnání plechového svitku

Stříhání základních částí vzduchojemu

Tvářecí linka

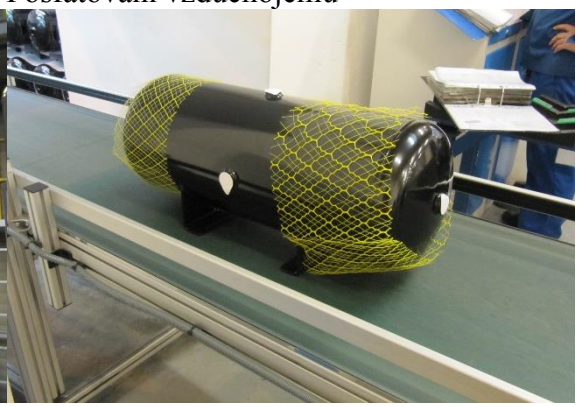


Svařování vzduchojemů

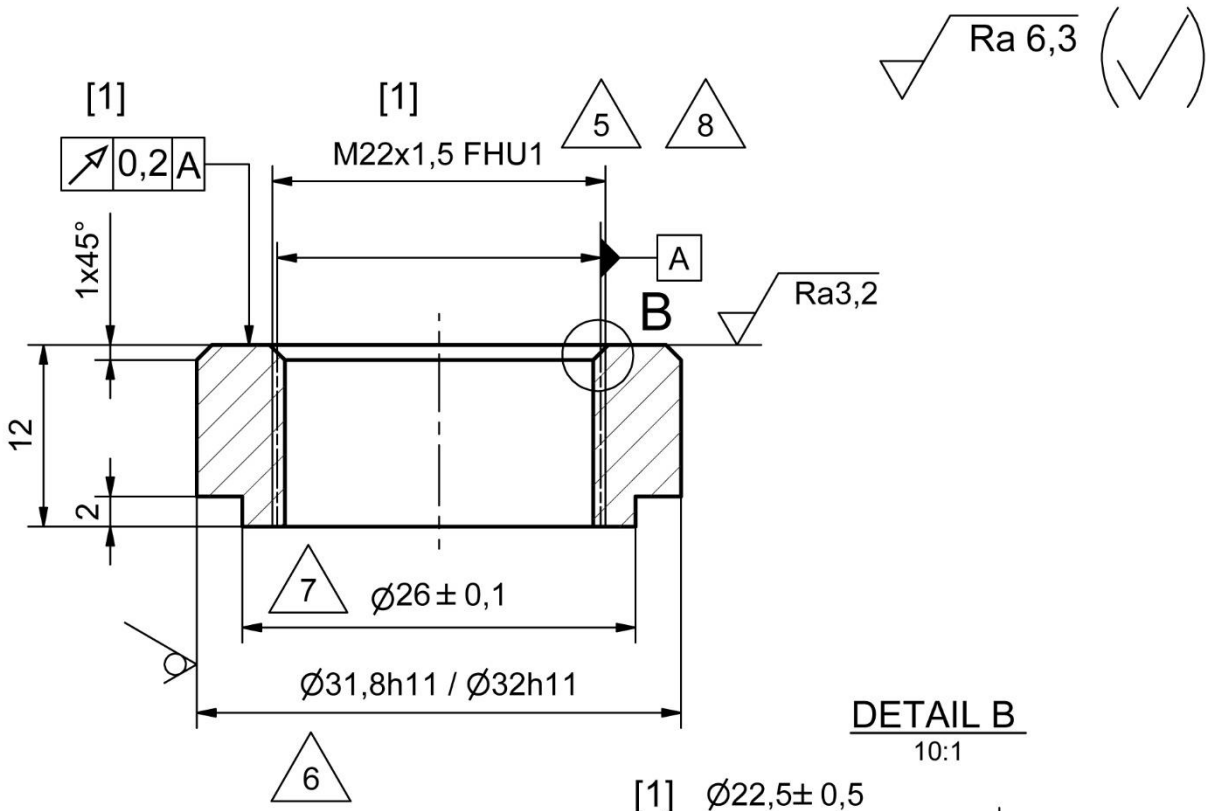
Hydraulická zkouška

Fosfátování vzduchojemů

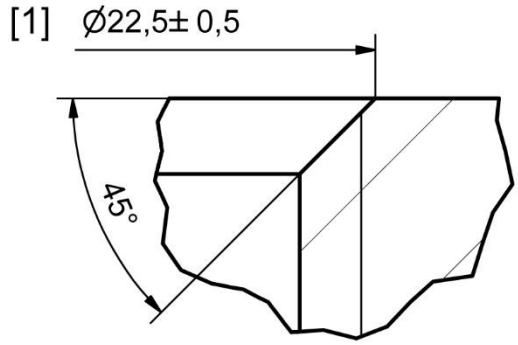
Lakování vzduchojemů



Export vzduchojemů



DETAIL B
10:1



Revision History			
REV	Description	Date	Author
5	K05/13 - 5E, was 4E	15.7.2013	Bárta
6	K13/13 - Change of diameter	15.11.2013	Bárta
7	T11/13 - Change of diameter 29 mm	8.1.2014	Bárta
8	Change of tolerance	14.1.2014	Bárta

Thread	Mean diameter D_2		Small diameter D_1	
M22x1,5 FHU1	21,026	+0,220 +0,120	20,376	+0,300 +0,120

REMOVE ALL BURRS - MAX. 0,2 mm

BOM					
pcs	Dimension	Quality	Standard	Nett W.	Gross W.
1	Ø31,8h11/Ø32h11 - 16	S235J2	ČSN EN 10025-1,2	0,040 kg	0,1 kg
1	Ø31,8h11/Ø32h11 - 16	C15R (A=14% min.)	EN10084, EN10277-1, EN10277-4, EN10278, EN10204-3.1	0,040 kg	0,1 kg

GENERAL TOLERANCES ACCORDING TO ISO 2768-mK

Drawn by	Checked by	Date	Projection method	Scale
Bárta	Ing. Pavláček	15.7.2013	EN ISO 5456-2	2:1(10:1)

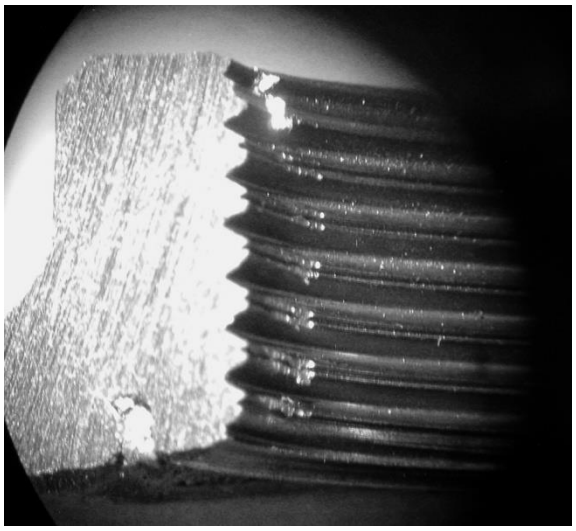
frauenthal automotive
smart parts for trucks

NECKRING

P-4673

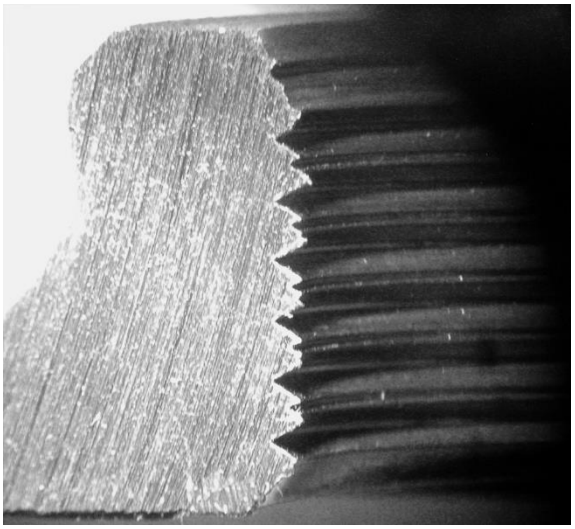
REV	Sheet
8	1 / 1

PŘÍLOHA 4 – UKÁZKOVÉ FOTOGRAFIE PROFILŮ ZÁVITŮ



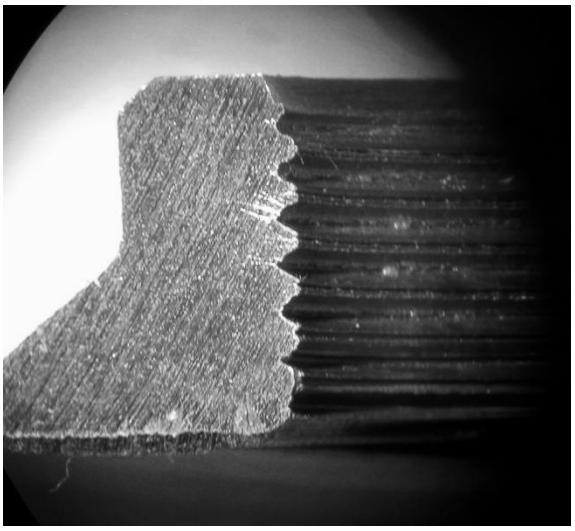
10 mm

Po svaření



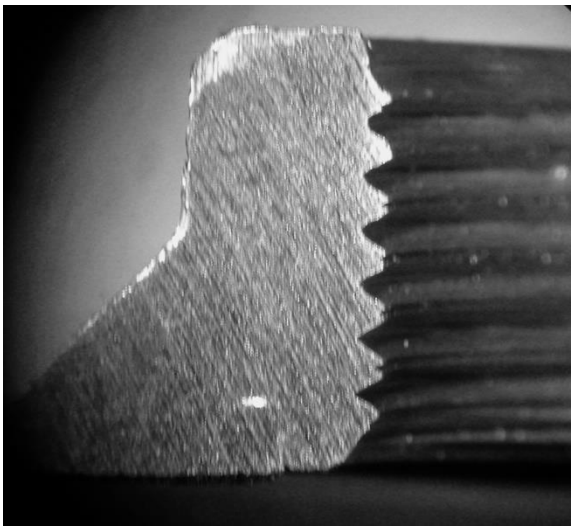
10 mm

Po hydraulické zkoušce



10 mm

Po fosfátování



10 mm

Po lakování