TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Vliv řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: **Bc. Tomáš Poledno**

Vedoucí práce: doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.

Liberec 2018

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Tomáš Poledno**
Osobní číslo:	**S17000366**
Studijní program:	**N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu:	**Vliv řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.**
Zadávající katedra:	**Katedra obrábění a montáže**

Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí dosavadních poznatků o obrábění kompozitních materiálů. Shrnutí poznatků o technologii frézování. Současný stav poznání řešené problematiky.

2. Rozbor experimentálních metod pro stanovení vlivu řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu kompozitních materiálů.

3. Návrh metodiky experimentů v rámci zkoumání vlivu řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu při technologii frézování.

4. Realizace experimentů.

5. Hodnocení kvality obrobených povrchů přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci vlivu řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu při technologii frézování.

6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací:	**Obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby.**
Rozsah pracovní zprávy:	**Cca 60 - 70 stran textu.**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KOCMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. **Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.**

2. BILÍK, O. *Obrábění II*. **(1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.**

3. VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. **Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s. ISBN -.**

4. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. **Praha: MM publishing s.r.o, 2008. 235 s. ISBN: 8025422502.**

5. MÁDL, J., JERSÁK, J., HOLEŠOVSKÝ, F., kol. *Jakost obráběných povrchů*. **Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 179 s. ISBN 80-7044-539-4.**

Vedoucí diplomové práce:	**doc. Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.** Katedra obrábění a montáže
Konzultant diplomové práce:	**Ing. Miloslav Ledvina** Katedra obrábění a montáže
Datum zadání diplomové práce:	**20. listopadu 2017**
Termín odevzdání diplomové práce:	**20. května 2019**

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. listopadu 2017

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Vliv řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

ANOTACE:

Diplomová práce se zabývá vlivem řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN s.r.o. Hodnotícími hledisky vlivu jednotlivých nástrojů na jakost obrobeného povrchu jsou vady vzniklé na obráběném povrchu v důsledku opotřebení břitu řezného nástroje.

Klíčová slova: přístrojové desky, trvanlivost nástroje, kompozitní materiál

Effect of the cutting tool on the quality of the machined surface of the panel of composite material within the milling technology company ANTOLIN LIBAN, Ltd.

ANNOTATION:

This diploma thesis deals with the influence of the milling tool to quality of the machined surface of the instrument panel which is made of composite material within the milling technology in the company ANTOLIN LIBAN s.r.o. The assessment of the effect of individual tools to quality of the machined surface is the defects that occur on the machined surface due to the wear of the cutting edge of the milling tool.

Keywords: dashbords, tool durability, composite material

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2018

Počet stran:	72	Počet příloh:	1
Počet obrázků:	55		
Počet tabulek:	23		
Počet grafů:	9		

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Fakulta strojní | Katedra obrábění a montáže

Vliv řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

Effect of the cutting tool on the quality of the machined surface of the panel of composite material within the milling technology company ANTOLIN LIBAN, Ltd.

Evidenční číslo práce: **KOM 1298**

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Poledno**

Vedoucí práce: doc. Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.
Konzultant: Ing. Miroslav Ledvina

Počet stran: 72
Počet příloh: 1
Počet tabulek: 23
Počet obrázků: 55
Počet diagramů: 9

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 18. 5. 2018

Podpis: ……..

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl především poděkovat vedoucí diplomové práce paní Doc. Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph. D., za užitečné informace a věcné připomínky v průběhu řešení mé diplomové práce.

Rád bych také poděkoval celé své rodině za podporu a trpělivost, která mě byla poskytována po celou dobu studia na Technické univerzitě v Liberci.

Obsah

2 Teoretická část ... 12

2.1 Charakteristický popis firmy ANTOLIN LIBAN s.r.o. ... 12

2.2 Výrobní sortiment ... 12

2.2.1 Přístrojové desky ... 12

2.2.2 Dveřní výplně ... 14

2.3 Popis současného stavu výroby přístrojové desky ... 14

2.3.1 Technologie sušení ... 14

2.3.2 Technologie vstřikování ... 15

2.3.3 Technologie ožehu ... 16

2.3.4 Technologie slushování ... 17

2.3.5 Technologie scoring ... 18

2.3.6 Technologie ohřevu ... 19

2.3.7 Technologie RIM ... 19

2.3.8 Technologie prostřihu ... 20

2.3.9 Technologie frézování ... 21

2.3.10 Technologie vibračního svařování ... 22

2.3.11 Technologie ultrazvukového svařování ... 23

2.3.12 Montáž přístrojové desky ... 25

2.4 Popis současné problematiky obrábění přístrojových desek ... 25

3 Metodika pro experimentální část ... 28

3.1 Specifikace výrobního a měřicího zařízení ... 28

3.1.1 Roboti frézovacího zařízení ... 29

3.1.2 Frézovací vřeteno ... 31

3.1.3 Měřící stanice a zásobník frézy ... 32

3.1.4 Stereomikroskop Leica M80 ... 33
3.2 Obráběný polotovar pro experiment ... 34
3.3 Volba řezných nástrojů ... 36
3.4 Volba řezných podmínek ... 38
3.5 Měřicí zařízení pro snímání teplot při obrábění ... 38
3.6 Měřicí zařízení pro měření trvanlivosti nástroje ... 39
3.7 Statistické zpracování dat ... 39
3.8 Realizace experimentu ... 40
3.9 Hodnocení experimentu ... 41
4 Experimentální část ... 44
4.1 Hodnocení vlivu řezného nástroje ... 44
4.2 Nástroj 111SHXL06 ... 44
4.3 Nástroj 111SHXL06 po optimalizaci ... 46
4.4 Nástroj 111SHLXS06-S005-TL5 ... 47
4.5 Nástroj 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue ... 49
4.6 Nástroj 100L060060-TL5 ... 51
4.7 Nástroj 100L060060-ICE-X-Blue ... 53
4.8 Ekonomické zhodnocení použitých řezných nástrojů ... 55
4.8.1 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06 před optimalizací ... 55
4.8.2 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06 po optimalizaci ... 56
4.8.3 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06-S005-TL5 ... 57
4.8.4 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06-S005-ICE-X-Blue ... 58
4.8.5 Plánovaná spotřeba fréz 100L060060-TL5 ... 59
4.8.6 Plánovaná spotřeba fréz 100L060060-ICE-X-Blue ... 60
5 Diskuze výsledků ... 62
6 Závěr ... 66

Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol	jednotka	název
a_p	[mm]	hloubka záběru řezného nástroje
D_1	[mm]	průměr frézy
D_2/h6	[mm]	průměr stopky frézy
$F_{1\ldots n}$	[ks]	spotřeba fréz
L_1	[mm]	délka nástroje
L_2	[mm]	funkční délka nástroje
n	[ot.min^{-1}]	otáčky vřetene
$N_{1\ldots n}$	[ks]	počet vyrobených dílů
P_i	[€]	celkové náklady na nástroj
$P_{1\ldots n}$	[€]	pořizovací cena nástroje
Q	[ks]	objem výroby
T	[min]	trvanlivost nástroje
T_{mez}	[min]	mezní trvanlivost nástroje
t_i	[s]	doba nástroje v záběru
v	[m.s^{-1}]	rychlost v osách robotu
v_f	[mm.s^{-1}]	rychlost pracovního posuvu
γ	[°]	úhel čela frézy
λ	[°]	úhel sklonu ostří
CCD	[-]	chargé coupled device
HSC	[-]	high speed cutting
PVC	[-]	polyvinylchlorid
PVD	[-]	physical vapour deposition
TiAlN	[-]	titan aluminum nitrid
$\bar{x}$	[-]	aritmetický průměr
σ	[-]	směrodatná odchylka

1 Úvod

Automobilový průmysl je charakteristický rychlým vývojem nových technologií a trendů, ve kterém působí nekompromisní konkurenční boj mezi jednotlivými značkami automobilů. Spotřebitelé zvyšují požadavky na kvalitu, bezpečnost a výbavu vozu s ohledem na cenovou dostupnost. Z těchto důvodů je nutné se neustále zaobírat otázkou, kde lze uspořit co nejvíce financí na výrobu automobilu. Firma ANTOLIN LIBAN, s.r.o. je dodavatelem interiérových dílů do známých automobilových značek po celém světě. Hlavním produktem tedy jsou přístrojové desky a dveřní výplně, které jsou z převážné části vyrobeny z plastických hmot v kombinaci s textilními látkami.

Diplomová práce se zaměřuje na zkoumání vlivu řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky z kompozitního materiálu v rámci technologie frézování ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

Diplomová práce je rozdělena do dvou základních částí a to do teoretické a experimentální části.

V první teoretické části je rozebrána současná problematika výroby přístrojových desek. V této kapitole jsou podrobně popsány všechny výrobní operace, kterými přístrojová deska prochází.

Druhá experimentální část je věnována výzkumu zjišťování vlivu nástrojového materiálu na frézování přístrojových desek. Konkrétně se práce zabývá zjišťováním trvanlivosti zvolených nástrojů. Cílem této diplomové práce je navrhnout nový nástrojový materiál pro frézování přístrojových desek, který by zajistil finanční úsporu na jeho pořízení v průběhu výroby přístrojových desek.

V rámci doporučení výrobce frézovacích nástrojů firmou HUFSMIED byly pro porovnání se současným stavem vybrány tyto nástroje: 111SHXL06, 111SHXL06 – S005-TL5, 111SHXL06 – S005-ICE-X-Blue, 100L060060-TL5, 100L060060-ICE-X-Blue.

Součástí experimentální části je i diskuze výsledků, ve které jsou shrnuty všechny poznatky získané z experimentální části. Diskuze výsledků hodnotí diplomovou práci jako celek.

2 Teoretická část

Teoretická část diplomové práce se zabývá popisem současného stavu výroby přístrojových desek ve firmě ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

2.1 Charakteristický popis firmy ANTOLIN LIBAN, s.r.o.

Firma Grupo Antolin zahájila svojí obchodní cestu jako garážová výroba specializovaná na opravu vozidel a zemědělských strojů ve městě Burgos nacházející se ve Španělsku od roku 1950 se specializací na brzdy a kormidelní systémy. Významným vynálezem Antolinských bratrů se stala kulová kormidelní koule a kloubová spojka s kaučukovitou vložkou, která výrazně prodloužila životnost jednotlivých komponent. Dalším milníkem firmy Grupo Antolin se stala 60. léta, kdy byla založena společnost ANSA, která se zabývala výrobou řídících a závěsných kulových a hrdlových spojů pro silniční vozidla a dodávala tyto komponenty k domácím i mezinárodním výrobcům nákladních automobilů. V současné době je firma Grupo Antolin přední nadnárodní společností, která se zabývá vývojem, konstrukcí a výrobou interiérových dílů pro automobilový průmysl ve více jak 26 zemích po celém světě [7].

2.2 Výrobní sortiment

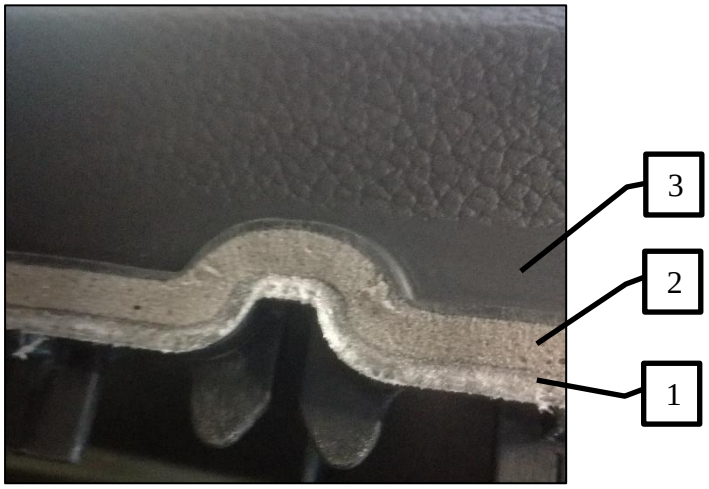
Výrobní program ve firmě ANTOLIN LIBAN, podnik Lipovka se zaměřuje především na interiérové komponenty pro automobilový průmysl. Hlavním produktem je výroba přístrojových desek pro výrobce automobilů Škoda Auto a Seat. V současné době firma dodává přístrojové desky do Škody auto pro vozy Seat Ateca, Škoda Karoq a Kodiaq. Dalším výrobním sortimentem jsou dveřní výplně pro vůz Škoda Superb [7].

2.2.1 Přístrojové desky

Jak již bylo výše uvedeno, hlavním produktem ve firmě ANTOLIN LIBAN je výroba přístrojových desek. Výroba přístrojové desky je velmi složitý proces, který je složen z mnoha operací. Mezi tyto operace patří sušení granulátu, vstřikování, ohřev, pěnění, ožeh, frézování, svařování, scoring a montáž. Přístrojové deska pro vozy Kodiaq (viz obr. 1), Karoq a Ateca jsou složeny ze tří hlavních vrstev materiálově rozdílných složek určující tloušťku průřezu desky (viz obr. 2). První vrstvu tvoří **nosná část 1** přístrojové desky vyrobená ze směsi dvou granulátů polypropylenu s přidanými vyztužujícími skelnými vlákny. Druhá vrstva je tvořena směsí polyolu a isokyanátu,

která vytvoří na povrchu nosné části **pěnu 2**. Třetí vrstva je vyrobena z **PVC kůže 3**, která je vyrobena z měkčeného polyvinylchloridu a tvoří pohledovou část ve vozidle [7].

Obr. 1 Přístrojová deska Kodiaq



Obr. 2 Průřez přístrojové desky

Celý proces výroby je sledovaným procesem, kde každá vyrobená přístrojová deska nese čárový kód s náležitými výrobními informacemi. Tyto informace jsou nezbytné pro dodávku správné varianty přístrojové desky, které zákazník instaluje na montážní lince do určených vozidel. Identifikace dílu je nutná i pro případ zranění osob ve vozidle způsobeného špatným vystřelením airbagového polštáře během dopravní nehody, kde je možné podle výrobních dat zkontrolovat celý proces výroby přístrojové desky a najít případné odchylky od standartní výroby. Přístrojové desky se vyrábí v různých variantách a stupních výbavy, proto je ve všech operacích skenován výrobní štítek, který udává operátorovi jaké díly má při montáži použít [7].

2.2.2 Dveřní výplně

Dalším výrobním sortimentem vyráběným v kooperaci s podnikem v Libáňi jsou dveřní výplně (viz obr. 3) pro vůz Škoda Superb. Dveřní výplně jsou složeny z 5 - ti hlavních částí a to z podokenního dílu, loketní opěry, inzertu, rámu a kapsy. Jednotlivé komponenty jsou vyráběny v různých barevných provedení a stupních výbavy. Do podniku v Lipovce je dodávána převážná část dílů už jako hotové výrobky, které jsou na montážní lince svařeny a smontovány dle požadavků zákazníka [7].

Obr. 3 Dveřní výplň

2.3 Popis současného stavu výroby přístrojové desky

Níže bude popsán současný stav výroby přístrojové desky, který je tvořen několika technologiemi, jež významně ovlivňují kvalitu finálních vlastností výrobku.

2.3.1 Technologie sušení

Nosná část přístrojové desky je vyráběna ze směsi dvou granulátů obsahující skelná vlákna. Používané granuláty patří do skupiny nepolárních plastů. Nepolární plasty neabsorbují vodu do své mezimolekulární struktury, přesto je však vzhledem k povrchové vlhkosti, kde je voda vázána přilnavostí k povrchu materiálu vlivem dlouhodobého vystavení plastů atmosférickému vzduchu, nutné granulát vysušit od veškeré vlhkosti. K vysušení granulátu je využíváno sušení horkým vzduchem v sušárně. Tento typ sušárny zajišťuje kontinuální sušící proces bez výkonového omezení. Sušárnu je možné instalovat

přímo na stroj nebo vedle stroje. V podniku je sušárna (viz obr. 4) umístěna mimo výrobní prostory [7], [14].

Obr. 4 Sušící zařízení

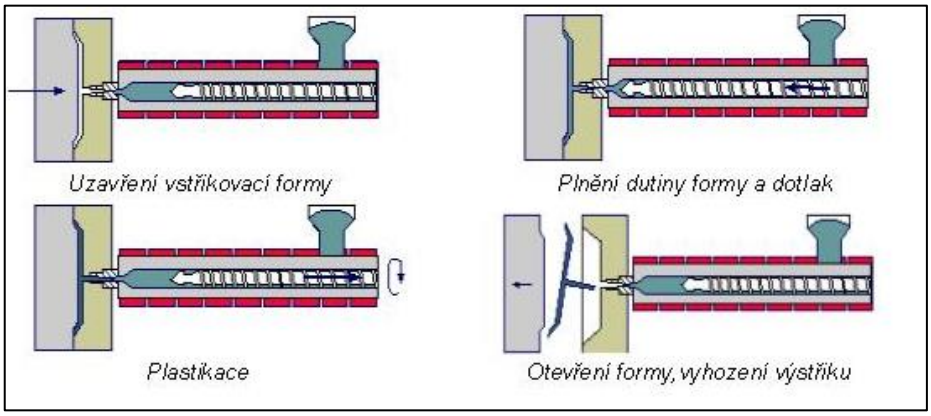
2.3.2 Technologie vstřikování

Vysušená směs granulátu je přivedena pomocí pneumatické dopravy na přídavné zařízení vstřikovacího stroje. Přídavným zařízením se rozumí míchací zařízení obsahující váhu, které dávkuje v určitém poměru přivedenou směs granulátu do komory šneku vstřikovacího stroje. Materiály používané na výrobu nosiče přístrojové desky nesou označení Stamax 60YM240 a PP 612MK10E Provisional od firmy SABIC. Materiály Stamax 60YM240 a PP 612MK10E jsou do komory šneku přiváděny v poměru 67:33. Materiál Stamax 60YM240 je kompozitní materiál, kde jsou skelná vlákna chemicky navázána na polypropylenovou matrici. Tento materiál byl speciálně vyvinut pro ředění s homopolymery. Materiál PP 612MK10E je vysoce viskózní polypropylen vhodný pro ředění s materiály s vyššími mechanickými vlastnostmi [7], [14], [16].

Technologie vstřikování je způsob výroby plastových dílů, při kterém je plastifikovaná hmota z tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde dojde k ztuhnutí hmoty ve finální výrobek. Vstřikovací proces je složen z několika fází. První fází je přísun granulátu do násypky, z níž dochází k odběru pracovní částí stroje, nejčastěji šnekem, hmoty do tavící komory. V tavící komoře je za pomocí tepla a tření plast přeměněn na taveninu. Roztavená dávka je následně

vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a vytvoří její tvar. V další fázi nastává dotlaková fáze, ve které dochází ke kompenzaci smrštění a rozměrových změn vznikajících během tuhnutí výrobku. Teplo přivedené do taveniny je odváděno ve formě, kde ochlazením dojde ke ztuhnutí výrobku. Po tomto ději dojde k otevření formy a hotový výrobek je odebrán z dutiny formy. Celý vstřikovací proces probíhá v těchto 4 fázích (viz obr. 5) [14]:

- uzavření formy, přisunutí tavící komory k formě,
- plnění dutiny formy taveninou plastu a fáze dotlaku,
- dávkování (plastifikace nové dávky),
- otevření formy, vyhození výlisku.



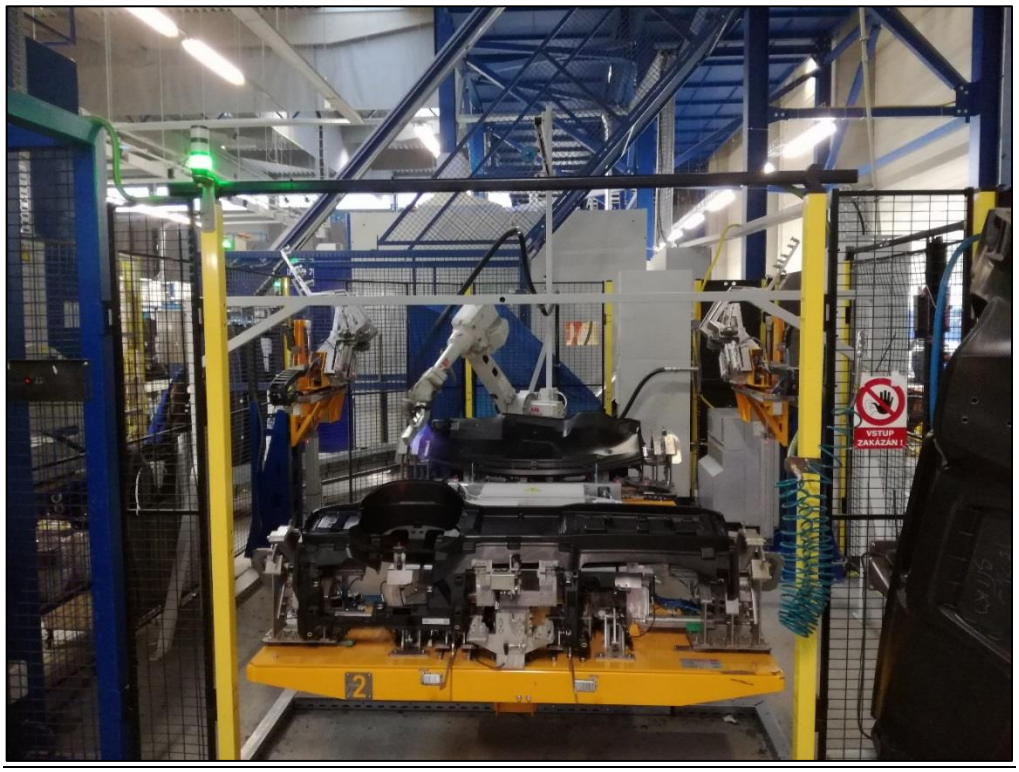
Obr. 5 Proces vstřikování [14]

Vstřikování přístrojové desky je prováděno na vstřikovacím stroji od firmy ENGEL s uzavírací silou 32000 kN. Po vystříknutí nosiče přístrojové desky dojde k jeho odběru z formy pomocí manipulačního robotu. Robot provede následně montáž nýtů do přístrojové desky a kontrolu dobrého zastříknutí síťky pro airbag pomocí kamerového systému. Přístrojová deska je robotem přesunuta na pásový dopravník, ze kterého je poté odebrána a zavěšena na dopravník. Důležitou součástí procesu je tzv. vyzrání nosiče. Jedná se o uložení vystříknutého nosiče po dobu 4 hodin na dopravník. Důvodem je zajištění stabilizace rozměrů nosiče před další výrobní operací [7].

2.3.3 Technologie ožehu

Po vyzrání nosiče přístrojové desky je provedena další technologická operace tzv. ožehnutí povrchu přístrojové desky. Ožehnutí přístrojové desky je prováděno

za účelem zvýšení povrchového napětí a zdrsnění povrchu, z důvodu zvýšení přilnavosti nanesené pěnové směsi. Ožehnutí je prováděno pomocí plamenu směsi zemního plynu a vzduchu v poměru 7:1. Kontrolu přilnavosti provádíme pomocí fixu Quicktest 40. Povrchové napětí kapaliny obsažené ve fixu je přibližně 40 mN/m. Jestliže je povrchové napětí pod hodnotu 40 mN/m bude se kapalina nanesená na povrchu dílce shlukovat do malých kapiček. Pokud je povrchové napětí na díle shodné nebo větší než 40 mN/m je nanesená vrstva kapaliny plynule rozetřena na povrchu dílce. Tato operace je prováděna pomocí robotu vybaveného technologickou hlavicí pro ožehnutí přístrojové desky (viz obr. 6) [6], [7], [14].



Obr. 6 Ožehnutí přístrojové desky

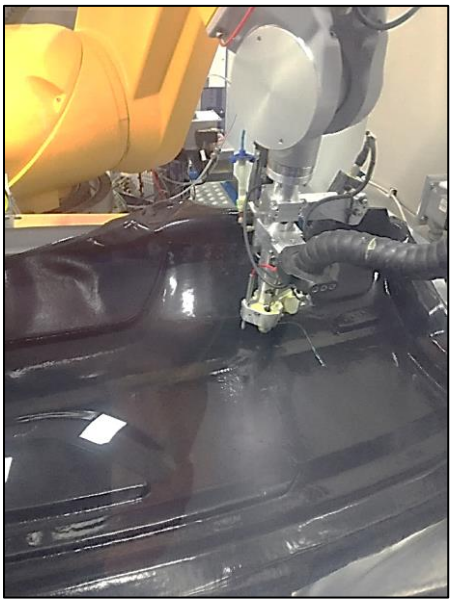
2.3.4 Technologie slushování

Technologie slush je speciální způsob výroby, který slouží k výrobě měkčených umělých kůží. Principem této technologie je nasypání materiálu ve formě prášku do uzavřené, vyhřáté formy, která se otáčí kolem jedné, nebo více os. Ve formě dojde k roztavení materiálu a pomocí odstředivé síly je materiál směřován do negativu dutiny formy. Po ochlazení materiálu vznikne ve formě rovnoměrná vrstva ztuhlého materiálu v celém profilu (viz obr. 7) [7], [14].

Obr. 7 Slush forma

2.3.5 Technologie scoring

Principem technologie scoring je naříznutí tenké vrstvy na pohledové části přístrojové desky (viz obr. 8), pomocí speciálního nože ovládaného robotem. Naříznutí umělé kůže provádíme z důvodu zeslabení tloušťky materiálu v oblasti airbagu za účelem zajištění bezpečného a cíleného vystřelení airbagu z přístrojové desky. Břit nože je smáčen v separačním roztoku, který má dvě funkce. První funkcí roztoku je oddělit proříznuté části od sebe, aby nedošlo k jejich spojení. Druhou funkcí je vizuální kontrola průřezu, kterou vyhodnocuje speciální kamera na základě detekce UV záření. Robot je vybaven speciálním senzorem, který odměřuje hloubku řezu každé 4 milisekundy. Pokud naměřené hodnoty celkové a zbytkové tloušťky kůže nevyhovují předepsaným parametrům, je tato kůže proříznuta skrz celou tloušťku. Důvodem je vyřazení neshodného výrobku operátorem, který není schopen pomocí svého zraku kvalitativně vyhodnotit díl [5], [7].



Obr. 8 Naříznutí umělé kůže

2.3.6 Technologie ohřevu

Technologie ohřevu slouží ke stabilizaci rozměru nosné a pohledové části přístrojové desky před operací reakčního vstřikování. Nosná i pohledová část jsou po dobu jedné hodiny vyhřívány na teplotu 50 °C. Tato operace je prováděna z důvodu stabilizace teplot na povrchu obou částí komponent, která urychluje chemickou reakci v další technologické operaci pěnění. Dalším důvodem je lepší založení PVC kůže do dutiny formy, tím se snižuje procentuální výskyt vyrobených zmetků [7].

2.3.7 Technologie RIM

Technologie reakčního vstřikování je založena na principu vstříknutí kapalné směsi do uzavřené dutiny formy, kde proběhne polymerace materiálu a vytvrzení přivedených složek. K přípravě směsi jsou použity dvě složky a to isokyanát a polyol, které jsou skladovány odděleně. Tyto složky se smíchají v míchací hlavě zařízení v určitém poměru a následně se vstříkne do dutiny (viz obr. 9) mezi nosnou a pohledovou část přístrojové desky. Po uzavření formy dojde k reakci přivedené směsi a vytvrzení pěnové vrstvy. Tato technologie nese značné výhody, která přináší výrobu dílu bez vnitřního pnutí, dodatečných deformací a propadlin i pro rozdílné tloušťky stěny. Při vypěnění přístrojové desky je nejprve vložena do spodní části formy pohledová a do vrchní části nosná část (viz obr. 10). V dalším kroku proběhne přívod nízkoviskózní směsi pomocí technologické hlavice robotu na pohledovou část přístrojové desky. Po aplikaci dávky do příslušných oblastí dojde k uzavření formy, která je pro urychlení

reakce temperována. Po ukončení procesu probíhá kontrola struktury pěny, která nesmí obsahovat vzduchové bubliny, pomocí speciální kamery [5], [7], [14].

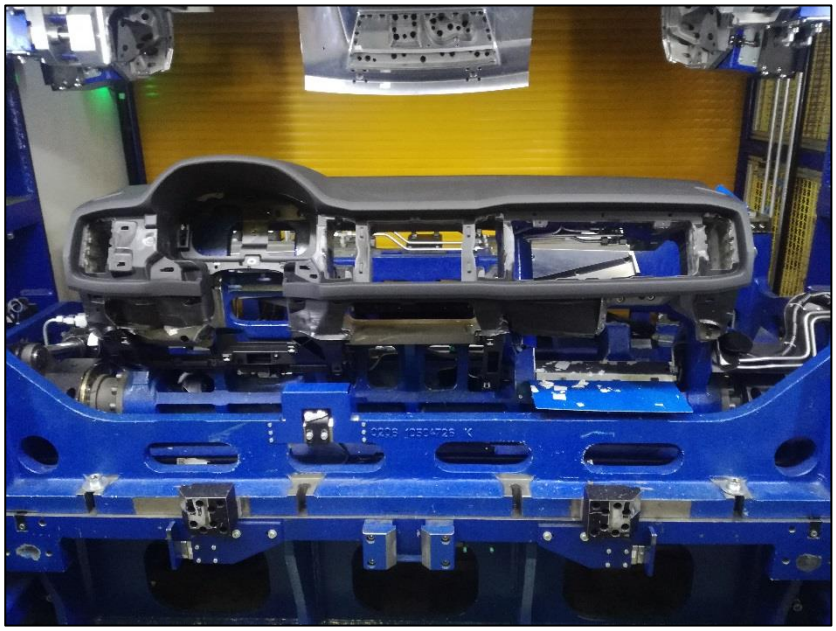
Obr. 9 Dutina pěnicí formy

Obr. 10 Založené díly ve formě

2.3.8 Technologie prostřihu

Technologie prostřihu slouží k odstranění větších tvarových ploch na přístrojové desce, kde pomocí střižných nástrojů dochází k odstranění přebytečného materiálu. První fází v procesu stříhání je zafixování přístrojové desky do tvarového lože (viz obr. 11). Ve druhé fázi dochází k pohybu střižných nástrojů, které odstraňují přebytečný materiál ve vybraných oblastech (viz obr. 12). Použití této technologie významně zkracujeme strojní čas na frézovacích stanicích, které nemusí frézovat již vystřižené kontury [7].

Obr. 11 Zafixování přístrojové desky do tvarového lože

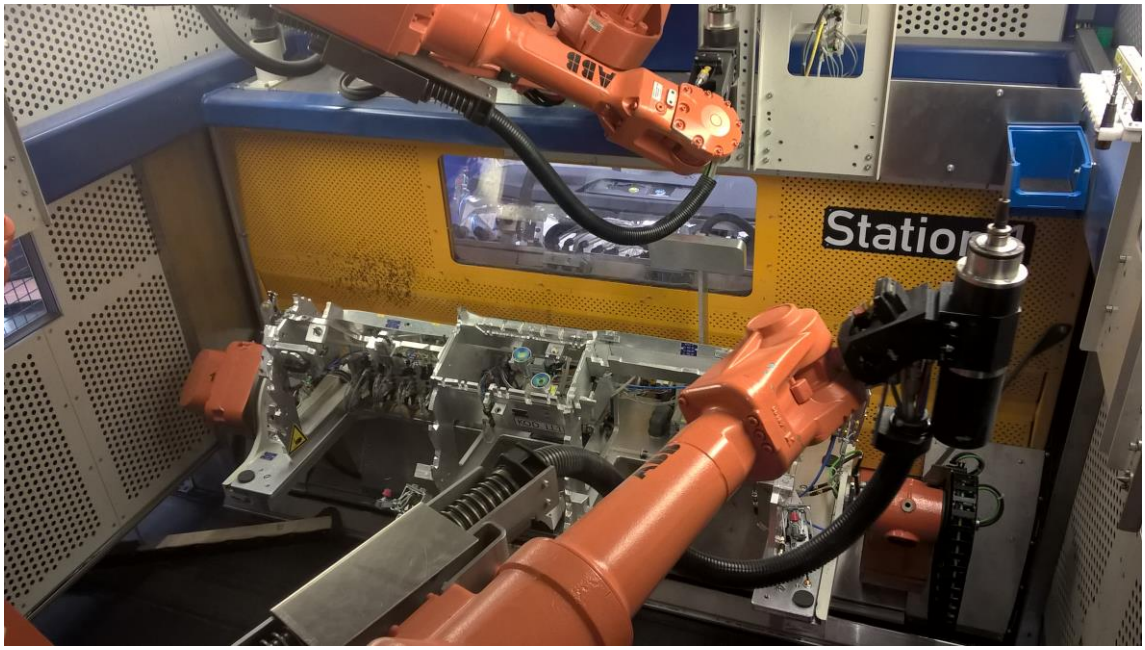


Obr. 12 Přístrojová deska po prostřihu materiálu

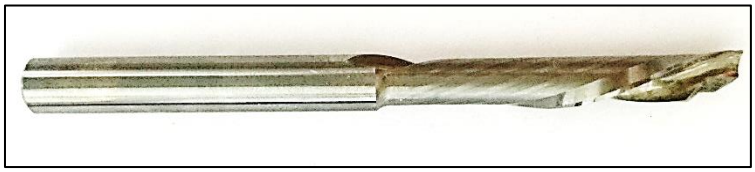
2.3.9 Technologie frézování

Technologie frézování slouží k obrábění rovinných nebo tvarových ploch vícebřitým nástrojem, kde hlavní řezný pohyb (rotační) vykonává nástroj (fréza) a vedlejší řezný pohyb vykonává stroj (posuv, přísuv). V našem případě zde hlavní řezný a vedlejší pohyb koná nástroj (robot vybavený frézou) a obrobek nevykonává žádný pohyb. Frézováním přístrojové desky je docílen konečný rozměrový stav, důležitý pro zástavbu do samotného vozidla. Tento proces je prováděn ve specializované buňce, kde dochází k obrábění pomocí tří robotických center současně (viz obr. 13). Robotické hlavice frézují konturu přístrojové desky rychlostí v_f = 60 - 150 mm.s^{-1} při otáčkách vřetene n = 20000 ot/min. Nástrojem je speciální jednobřitá fréza vyrobena ze slinutých karbidů (viz obr. 14). Výměny fréz jsou prováděny v pravidelném intervalu po 16 hodinách. Přístrojová deska je obráběna nesousledným frézováním, které vykazuje lepší kvalitu povrchu, při sousledném frézování dochází k vytrhávání materiálu z již obrobeného povrchu. Při nesousledném frézování je materiál odebírán z minima do maxima, kdy dochází k odvodu vzniklého tepla především odebranou třískou. Chladicím médiem je vzhledem k vlastnostem použitých plastických hmot používáno stlačeného vzduchu, který snižuje teplotu v místě řezu a odstraňuje vzniklé třísky z oblasti řezu. Důležitou zásadou při frézování přístrojových desek je použití dostatečně vyzrálých dílů vstupujících do procesu frézování z procesu pěnění. Pokud není díl dostatečně vychladlý, dochází zde k delaminaci materiálu na nosiči přístrojové desky

a také k vytrhávání pěnové vrstvy, což způsobuje propady na viditelné části dílu [3], [8], [9], [12], [18].



Obr. 13 Robotické pracoviště

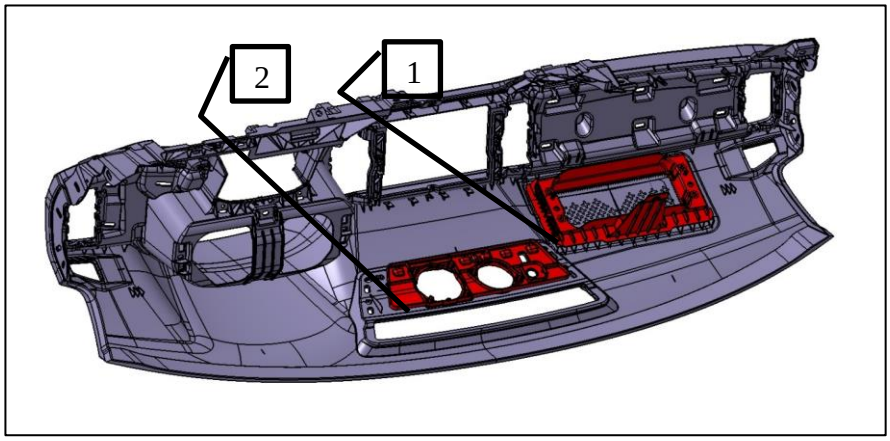


Obr. 14 Jednobřitá fréza

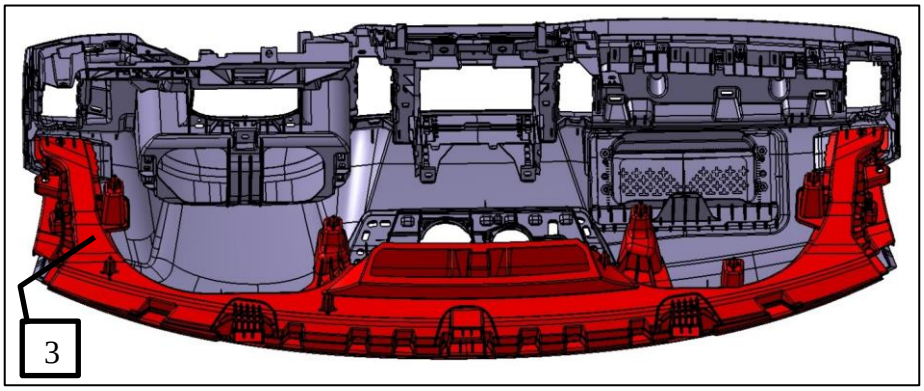
2.3.10 Technologie vibračního svařování

Technologie vibračního svařování funguje na principu vzájemného spojení dílů pomocí kmitavého pohybu ve spojovací rovině za působení svařovacího tlaku. Mechanická energie kmitů je v důsledku vzájemného tření dílů přeměněna na tepelnou energii, která je využita na roztavení svařovacích žeber materiálu. Následným působením tlaku dojde ke svaření dílů. Po dokončení procesu frézování jsou pomocí vibračního svařování implementovány další komponenty. Svařování těchto komponent je uskutečněno ve dvou krocích. V prvním svařovacím kroku je do svařovacího stroje namontována komponenta **1 - airbagový kanál** s komponentou **2 - držák reproduktoru**, které jsou následně svařeny k přístrojové desce (viz obr. 15). Po tomto kroku následuje svařování pomocí ultrazvuku, které je popsáno v kapitole 2. 3. 11. Ve druhém svařovacím kroku je do svařovacího stroje namontován díl **3 - vzduchový kanál** a následně přivařen

k podsestavě přístrojové desky (viz obr. 16). Po tomto kroku je přístrojová deska předána k druhému kroku ultrazvukového svařování [7], [14].



Obr. 15 Montáž Airbagového kanálu a Držáku reproduktoru do přístrojové desky

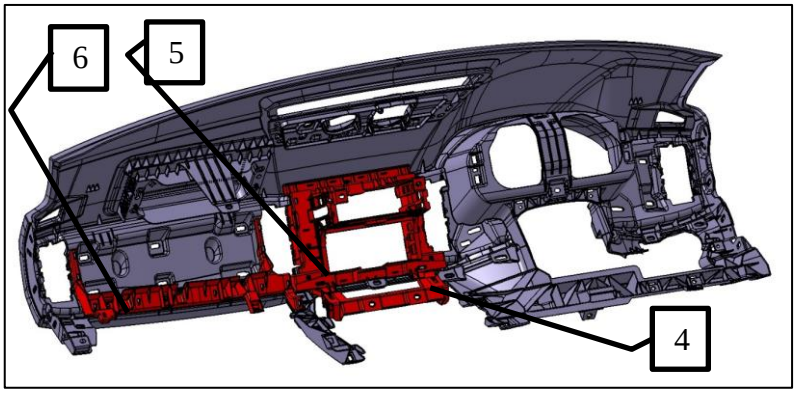


Obr. 16 Montáž vzduchového kanálu do přístrojové desky

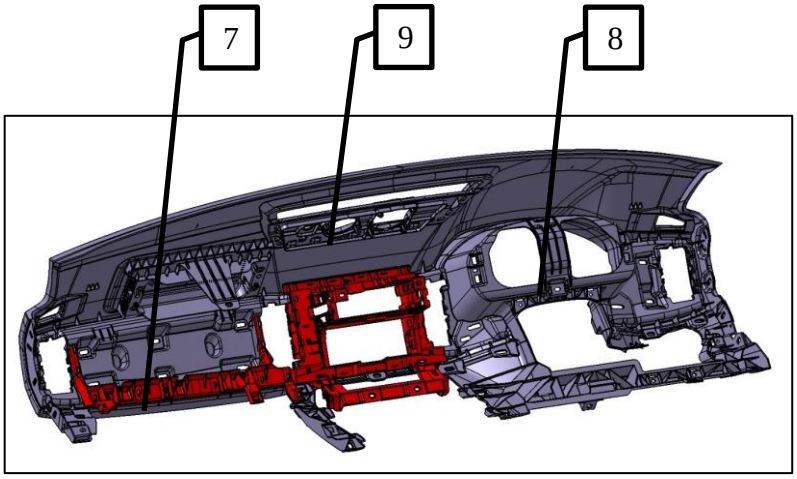
2.3.11 Technologie ultrazvukového svařování

Technologie ultrazvukového svařování je založena na principu kmitavého pohybu sonotrody v oblasti ultrazvuku (frekvence vyšší než 20 kHz), které se přenáší na jednu ze svařovaných součástí. Ultrazvukové kmity způsobují vzájemné tření stykových ploch, které se mění v teplo způsobující natavení materiálu a působením malého tlaku dochází ke svaření dílů. Tato metoda svařování má vzhledem ke svým vlastnostem velké výhody v sériové výrobě, mezi které patří vysoká stabilita, čisté sváry, nízká spotřeba energie, krátké výrobní časy a malý odpad [7], [14].

Svařování komponent pomocí ultrazvuku probíhá ve dvou svařovacích krocích. První krok je uskutečněn po svařovacím kroku vibrační technologií, kde je do svařovacího lože založena podsestava přístrojové desky. Do desky jsou následně namontovány díly **4 - výztuha střední**, **5 - nosič přístrojů a 6 - výztuha otvoru schránky spolujezdce horní** (viz obr. 17). V další fázi operace dochází k samotnému svaření komponent k přístrojové desce, kde pomocí sonotrod je materiál tvarován do tvaru nýtu, který vytvoří mezi díly pevný spoj. Svařování pomocí ultrazvuku je dále použito po druhém kroku vibračního svařování, kde jsou zamontovány díly **7 - vedení vzduchu boční L**, **8 - vedení vzduchu boční P** a **9 - mezikus topení zadní** (viz obr. 18) [7], [14].



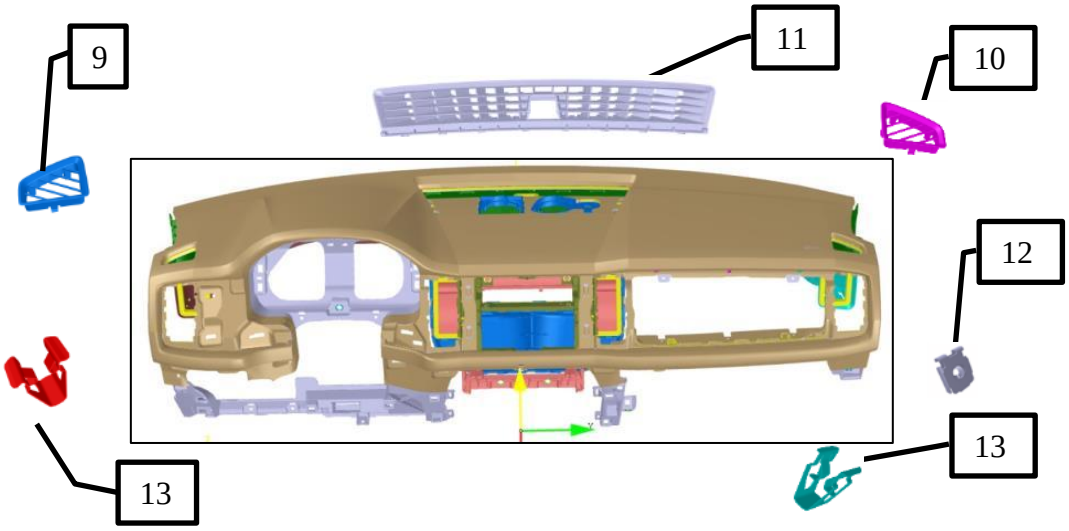
Obr. 17 Svařování komponent – první svařovací krok



Obr. 18 Svařování komponent – druhý svařovací krok

2.3.12 Montáž přístrojové desky

Konečnou operací výroby přístrojové desky je montáž dílčích komponent. Do přístrojové desky je namontována **9 - tryska odmrazovací boční L**, **10 - tryska odmrazovací P**, **11 - tryska odmrazovací střední**, **12 - tryska odmrazovací střední, matice N** a **13 - sponka** (viz obr. 19). Montážní stůl je vybaven systémem čidel, které zamezují prostupnost neúplného výrobku na montážní linku ve Škoda Auto. Po dokončení montáže komponent je přístrojová deska připravena k expedici do firmy Škoda Auto, podnik Kvasiny [7], [14].



Obr. 19 Kompletace přístrojové desky

2.4 Popis současné problematiky obrábění přístrojových desek

Obrábění přístrojových desek je prováděno na dvou frézovacích linkách, kde probíhá výroba přístrojových desek pro automobily Seat Ateca, Škoda Kodiaq a Karoq. Každá frézovací stanice je navržena pro dvě frézovací lože, kde na jednom loži probíhá samotné obrábění a současně na druhém loži probíhá příprava nebo-li založení dílu do frézovacího lože. Přístrojové desky jsou vyráběny ve variantách levé a pravé řízení, pro které se frézovací lože odlišují svojí geometrií. Z kapacitních důvodů jsou pro jeden typ přístrojové desky použity dvě lože, která nejsou úplně geometricky totožná. Každé toto lože má vytvořený vlastní frézovací program, kde posloupnost jednotlivých drah je vyvolána totožně, ale nastavená trajektorie řezu se mírně odlišuje. Každá stanice

v současné době nese 10 frézovacích programů, přizpůsobených dle typu vozu a stupně výbavy.

Velkým problémem je zajištění stability zakládání přístrojové desky do frézovacího lože. V prvé řadě je nutné zajistit vždy stejnou polohu přístrojové desky při každém založení. K tomu musí být správně přizpůsobené lože a stanovený přesný postup založení dílu. Přístrojové desky jsou vyráběny z kompozitních materiálů, u kterých velké upínací síly způsobují deformaci materiálu v dané oblasti. Z těchto důvodů je pravidlem upínat součást ve více bodech s menšími silami, které nezpůsobují velké deformace. V našem případě je upínání přístrojových desek prováděno pomocí vakuových přísavek a mechanických upínek. Každé lože je také vybaveno optickými a dotykovými senzory, které mají za úkol odesílat signál do stroje o správném upnutí dílu ve všech bodech. Pokud není sepnuté jediné čidlo, tak nedojde ke spuštění výrobního cyklu [12], [17], [18].

Dalším významným problémem je nekonstantní zatěžování jednotlivých nástrojů v závislosti na zvoleném typu programu, kde se odlišují vzdálenosti jednotlivých drah vykonávané robotem v závislosti na počtu opracovaných kusů dle požadavků na výrobu zákazníkem. Z těchto důvodů byla stanovená konstantní doba výměny všech nástrojů po 16 hodinách strojního času. Po překročení této stanovené doby se v různém časovém horizontu začínají vyskytovat vady na přístrojové desce. V našem případě jde především o delaminaci, kterou se rozumí odtrhávání jednotlivých částic z povrchu materiálu. Vytrhávání těchto části způsobuje rozměrovou nestabilitu a nevzhledný povrch obrobku, což nesplňuje požadavky zákazníka na jakost finálního výrobku. Pro obrábění přístrojových desek je používáno jednobřité frézy vyrobené ze slinutých karbidů, které dosahují lepších výsledků než rychlořezné oceli. Pro obrábění kompozitních materiálů obsahující skelná vlákna je vhodné volit slinuté karbidy s jemnozrnnou strukturou, která dosahují vyšší tvrdosti a tím i vyšší odolnost proti opotřebení. Vzhledem k vlastnostem plastických materiálů je nutné dostatečné chlazení nástroje i místa řezu. Chlazení vodou nebo kapalnou emulzí je z důvodu nasákavosti termoplastických a pěnových hmot problematické. Proto je v našem případě nástroj chlazen proudem stlačeného vzduchu. Proud stlačeného vzduchu má i funkci čistící, kde jsou jeho pomocí z povrchu nástroje odstraněny prachové částice obrobeného materiálu. Frézovací stanice je vybavena ventilací ionizovaného vzduchu, z důvodu vybití statického náboje na všech vzniklých třískách, které vlivem elektrických sil ulpívají na povrchu přístrojové desky. Tyto čisticí

mechanismy jsou velmi důležité, protože bez nich by nedocházelo k dostatečně rychlému odvodu tepla z místa řezu [3], [7], [9], [12], [14], [17], [18].

Pro dosažení lepší kvality obráběného povrchu je používáno nesousledného frézování, při kterém není směr rotace frézy a posuvu identický. Použitím sousledného frézování dochází k vytrhávání částic z povrchu materiálu. Pro dosažení kvalitního povrchu je zvolena pracovní rychlost posuvu frézování v rozmezí v_f = 60 - 150 mm.s^{-1} a otáčky vřetene n = 20 000 ot/min. Pokud volíme frézování s malým posuvem, může docházet k podrývání vláken, naopak při volbě větších posuvů dochází ke vzniku značného tepla, kde může materiál jeho vlivem degradovat. Konstrukce frézy zahrnuje po svém obvodu vytvořené drážky, které plní funkci lepšího odvodu vzniklého prachu a třísky z místa řezu. Frézy neobsahující tento konstrukční prvek měly tendenci k zanášení pracovní plochy, což vedlo ke vzniku vyšších teplot v místě řezu. Výhodou těchto fréz je možnost frézovat za vysokých řezných a posuvových rychlostí [3], [7], [9], [12], [14], [17], [18].

Cílem diplomové práce je navrhnout nový řezný nástroj s vyšší životností. Nejvhodnějším typem pro tyto účely budou vybrány povlakované frézy doporučené výrobcem, které vynikají především vysokou tvrdostí a schopností odvádět teplo. Tyto klíčové vlastnosti zajišťují vysokou odolnost proti abrazivním účinkům skelných vláken a rychlý odvod tepla z místa řezu, což je předpokladem pro vysokou kvalitu obrobeného povrchu a dlouhodobou trvanlivost břitu nástroje [3], [7], [9], [12], [14], [17], [18].

3 Metodika pro experimentální část

Následující kapitoly se zabývají popisem strojů, nástrojů a měřicích přístrojů použitých pro experimentální část diplomové práce. Dále je popsána metodika a způsob vyhodnocení vlivu řezných materiálů na jakost obrobeného povrchu přístrojové desky.

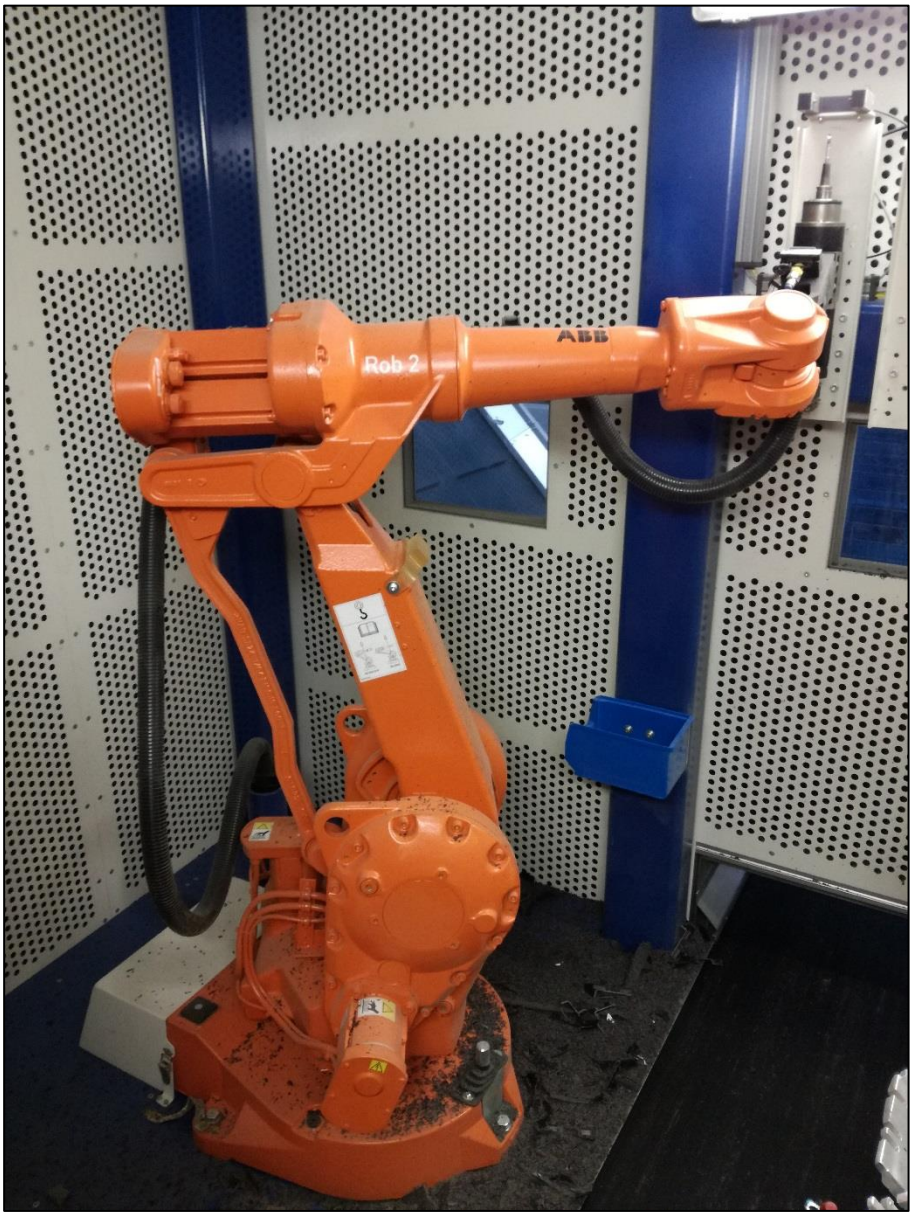
3.1 Specifikace výrobního a měřicího zařízení

Frézovací stanice (viz obr. 20) vyrobena firmou Frimo je vybavena celkem 3 - mi roboty, které jsou osazeny frézovacími vřeteny. Stanice je dále vybavena naklápěcím a otočným mechanismem. Stroj je navržen pro dvě frézovací lože tzn., že na jednom loži dochází k frézování přístrojové desky a na druhém loži v průběhu frézování k založení druhého dílu do frézovacího lože. Stroj je vybaven pásovým dopravníkem, který plní funkci odvodu materiálu z kabiny, kde probíhá frézování. Kabina je z bezpečnostních důvodu uzavřena, tak aby nedocházelo k uvolnění prachových částic do ovzduší. Konstrukce je navržena tak, aby bylo možné na frézovací stanici měnit libovolně frézovací lože jednotlivých přístrojových desek, neboť rozlišujeme varianty pro levé a pravé řízení a dále dle typu jednotlivých projektů Škoda Kodiaq, Karoq a Seat Ateca [5].

Obr. 20 Frézovací stanice

3.1.1 Roboti frézovacího zařízení

Frézovací stanice je osazena dvěma roboty ABB IRB 2400/16 (viz obr. 21) a jedním robotem ABB IRB 2600/20. Jedná se o rychlé, výkonné a silné průmyslové 6tiosé roboty, které vynikají především svojí přesností dráhového řízení a opakovatelnosti polohy ±0,3mm. Roboti dosahují v jednotlivých osách rychlostí od v = 150 až do 450 m/s. Maximální nosnost jednoho robotu je 20 kg. Roboti jsou vybaveni detekci kolize, při jejíž detekci dojde k automatickému zastavení robotu [1].



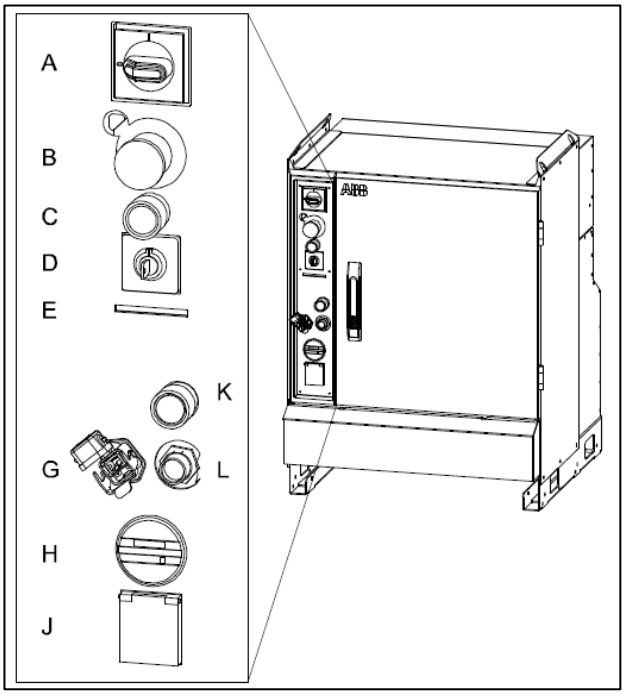
Obr. 21 Robot ABB IRB 2400/16

Každý robot je řízen vlastním řídicím systémem IRC5 s Flexapendantem, který patří do 5té generační řady vyvinuté firmou ABB. Výhodou tohoto řídicího systému

je funkce Multimove, která umožnuje koordinovaný pohyb až 4 robotů zároveň. Řadič se skládá ze dvou modulů, a to z řídícího a pohybového. Řídící modul IRC 5 se skládá z těchto částí: ovládací panel, řídící jednotka, komunikační jednotka, I/O modul, zobrazovací jednotka, pohonná jednotka a chladicí jednotka [1].

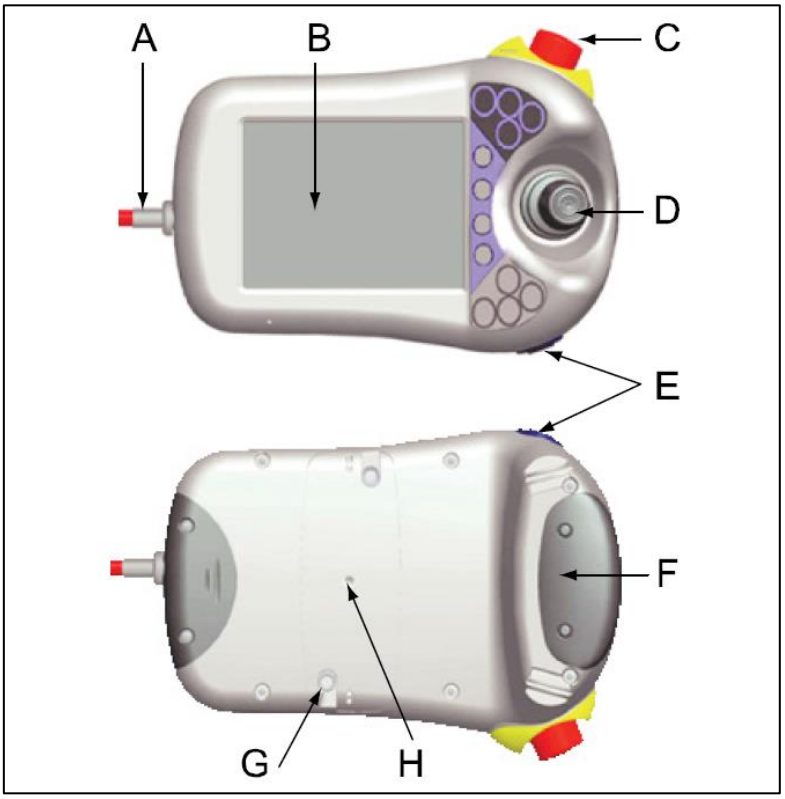
Hlavními prvky ovládacího panelu (viz obr. 22) jsou: hlavní vypínač (A), nouzové zastavení (B), tlačítko pro aktivaci motorů (C), přepínač režimu (D), indikátory LED bezpečnostního řetězce (E), port USB (F), servisní port pro počítač PC (G), počítadlo doby provozu (H), servisní zásuvka 115/230V, hot plug tlačítko (K), konektor pro připojení flexpendantu (L) [1].

Řídicí systém robotu může vykonávat práci ve třech režimech. Prvním pracovním režimem je automatický, kde robot vykonává pohybové úkony dle nadefinovaného programu s nastavenými rychlostmi pro jednotlivé body. Druhý režim je manuální režim, ve kterém pohybujeme robotem pomocí flexpendentu se sníženou rychlostí. Tento režim je výhodný pro odladění dráhy robotu v dané aplikaci nebo pro učení jednotlivých pozic při tvorbě nového programu. Třetí režim je opět manuální, který se odlišuje od druhého režimu možností projet jednotlivé body v naprogramované trajektorii se zvýšenou rychlostí [17].



Obr. 22 Ovládací panel řídicího systému IRC5 [1]

Řídicí systém IRC5 je standardně vybaven flexpendantem (viz obr. 23), který tvoří hlavní komunikační vazbu mezi programátorem a robotem. Flexpendant je vybaven konektorem (A), dotykovým displejem (B), tlačítkem nouzového vypínače (C), pákovým ovladačem (D), USB portem (E), aktivačním zařízením (F), dotykovým perem (G), resetovacím tlačítkem (F). Pomocí flexpendantu, můžeme vytvořit trajektorii programu, po které se daný robot pohybuje nebo přímo ovládat jednotlivé osy robotu v ručním režimu [1].



Obr. 23 Ovládací panel řídicího systému IRC5 [1]

3.1.2 Frézovací vřeteno

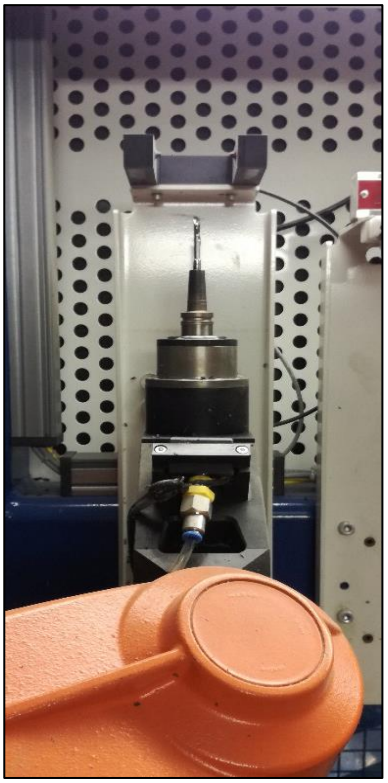
Každý robot je osazen vřetenem HF-Eco 80 VA29 (viz obr. 24). Pro ovládání vřetena potřebujeme vhodný měnič kmitočtu, který je speciálně přizpůsoben charakteristikám elektrického motoru vřetena. Díky tomu máme možnost nastavit požadovanou rychlost vřetena. Mezi frekvenčním měničem a vřetenem potřebujeme kabel s konektorem, který odpovídá použitému druhu vřetene. Abychom se vyhnuli interferenčním frekvencím na čidlech, potřebujeme kabel, který je tvořen několika štíty. K ovládání vřetena potřebujeme vodní chlazení, které drží vřeteno při konstantní teplotě 20 ° C. Tlak vody by neměl přesáhnout hodnotu 0,3 MPa. Průtok musí být vyšší než 1,5

litru/min. Při výměně nástrojů je zapotřebí připojení stlačeného vzduchu, tak aby nedošlo k proniknutí nečistot do upínacího prvku vřetene, a tak byla zajištěna hladká výměna nástroje. Během výroby by měl být zajištěn konstantní tlak vzduchu, který musí být vždy suchý a zbavený oleje, tak aby nedocházelo ke znehodnocení dílu [10].

Obr. 24 Vřeteno HF-Eco 80 VA29

3.1.3 Měřící stanice a zásobník frézy

Měřící stanice uvnitř robotické kabiny slouží k automatickému měření a kontrolování délky a průměru frézy. Měření probíhá pomocí senzoru CCD (viz obr. 25). Pokud naměřená data odpovídají předepsané geometrii frézy, obdrží robot signál od řídicího systému povolení pokračovat ve výrobním programu. Neodpovídá-li geometrie frézy předepsaným délkovým parametrům je fréza automaticky odložena do boxu s poškozenými nástroji. Nastane-li tento případ, je pro každého robota ve frézovací kabině připraven zásobník s náhradními frézami (viz obr. 26), ze kterého si robot odebere novou frézu. Zásobníky jsou vybaveny indukčními senzory, které detekují přítomnost frézy v zásobníku. Senzory vysílají signál do řídicího systému robota, který přesně odebere frézu ze zásobníku [5], [7].



Obr. 25 Laserové odměřování CCD

Obr. 26 Zásobník fréz

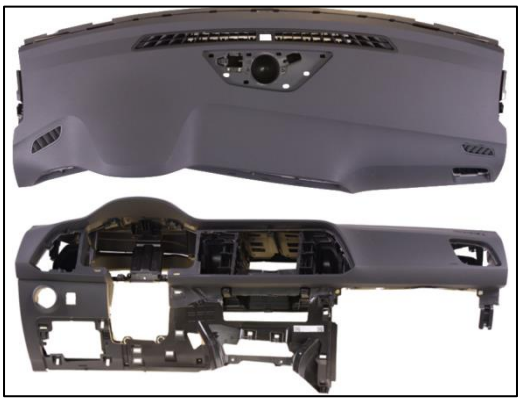
3.1.4 Stereomikroskop Leica M80

Stereomikroskop Leica M80 (viz obr. 27) slouží k vyhodnocení bezpečnostních charakteristik přístrojové desky. Tento stereomikroskop byl použit k vyhodnocení opotřebení břitu nástroje v rámci experimentální části diplomové práce. Stereomikroskop má zoomovací poměr 8:1 s rozsahem celkového zvětšení 7,5x – 60x a je vybaven okuláry s nastavitelnou dioptrickou korekcí. Stereomikroskop Leica M80 je osazen digitální kamerou Leica MC120 HD, která je vybavena měřicím softwarovým modulem LAS interactive measurement. Tento modul je schopen měřit vzdálenosti, obvody, plochy, úhly atd. v uloženém obrázku. Software je schopen vizualizovat naměřené parametry a statisticky vyhodnotit [13].

Obr. 27 Stereomikroskop Leica M80

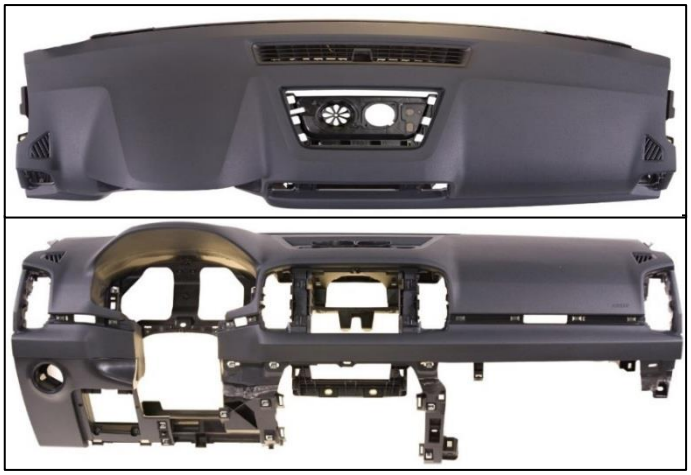
3.2 Obráběný polotovar pro experiment

Přístrojové desky jsou pro projekty Seat Ateca (viz obr. 28), Škoda Kodiaq (viz obr. 29) a Karoq (viz obr. 30) vyráběny identickými technologiemi, proto je materiálové složení u těchto dílů totožné. Přístrojové desky jsou složeny ze tří hlavních materiálových složek. První složkou je polypropylenová matrice vyztužena skelnými vlákny. Tato komponenta je vyráběna technologií vstřikování a je to hlavní nosná část přístrojové desky. Polypropylenova matrice je míchána ze dvou polymerů ve formě granulátu s označením Stamax 60YM240 a PP 612MK10E Provisional od firmy SABIC v poměru 67:33. Nosná část přístrojové desky vyztužená skelnými vlákny má vyšší materiálové vlastnosti jako je tvrdost, pevnost v tahu atd., díky tomu je břit nástroje nejvíce namáhán při obrábění této složky [12], [14], [16].



Obr. 28 Přístrojová deska Seat Ateca

Obr. 29 Přístrojová deska Škoda Kodiaq



Obr. 30 Přístrojová deska Škoda Karoq

Druhou složkou je polyuretanová směs vzniklá chemickou reakcí dvou složek a to isokyanátu a polyolu. Pěnová vrstva (viz obr. 31) je vytvářena technologií reakčního vstřikování, kde ve formě kapalné směsi dvou složek je nanesena rovnoměrná vrstva mezi PVC kůži a nosič přístrojové desky [7].

Obr. 31 Pěnová vrstva

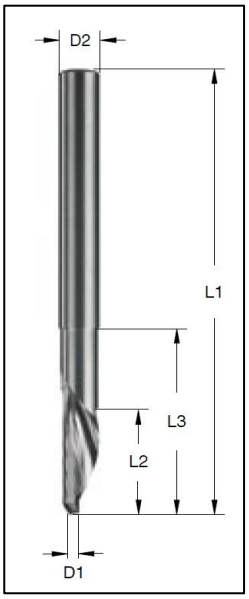
Třetí materiálovou složkou je měkčená vrstva PVC tzv. kůže (viz obr. 32), která tvoří pohledovou část přístrojové desky ve vozidle. Tato kůže je vyráběna technologií slush, kde je směs měkčeného PVC ve formě prášku plastifikována v temperované formě a je tvarována do negativu formy pomocí odstředivé síly, následně je hmota ochlazena [7].

Obr. 32 Pohledová část přístrojové desky

Přístrojové desky se geometricky odlišují podle typu projektu. Z hlediska obrábění to znamená, že doba frézovacího nástroje v záběru je odlišná podle typu projektu a počtu vyrobené dávky pro všechny roboty. Opotřebení nástroje je tedy úměrné času nástroje v záběru a počtům výrobních cyklů [7].

3.3 Volba řezných nástrojů

Pro frézování přístrojových desek je v současné době použito jednobřité pravotočivé tlačné frézy vyrobené ze slinutých karbidů od výrobce HUFSMIED (viz obr. č. 33). Tato fréza nese katalogové označení 111SHXL06, která spadá do nové generace vyvinutých nástrojů s označením SHARP- LINE. Rozměry tohoto typu frézy naleznete v tabulce 1. Nástroje této generace byly vyvinuty pro dosažení nejvyšší rychlosti otáčení a jejich použitím lze dosáhnout nejlepších povrchových vlastností díky extrémně ostré hraně. Geometrie zpětného chodu je navržena tak, aby nedocházelo ke vzniku vibracím, tím se zvyšuje životnost vysokofrekvenčních vřeten [8].



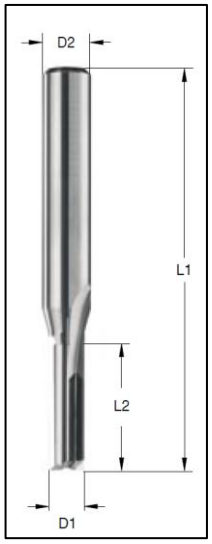
Označení nástroje	D1 [mm]	D2/h6 [mm]	L2 [mm]	L1+2 [mm]	λ [°]	γ [°]
111SHXL06	6	6	40	80	- 25	28

Tab. 1 Rozměry frézy 111SHXL06

Obr. 33 Fréza 111SHXL06 [8]

Pro řešení diplomové práce byly k realizaci experimentu navrhnuty frézy s označením 111SHLXS06-S005-TL5, 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue, 100L060060-TL5, 100L060060-ICE-X-blue. Rozměry frézovacího nástroje s označením 100L060060 naleznete v tabulce 2. Fréza s označením 111SHLXS06-S005-TL5 a 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue je geometricky identická s frézou 111SHXL06. Na povrch frézy s označením TL 5 je nanesena vrstva TiAlN. Fréza označena ICE X Blue je patentovaná fyzikální úprava nástroje, která se vyznačuje výrazným zvýšením životnosti. Výrobce nástroje o této fyzikální úpravě nástroje neposkytnul žádné informace. Frézy označené 100L060060-TL5, 100L060060-ICE-X-blue (viz obr. 34) jsou dvoubřité pravotočivé frézy, na které je nanesen povlak TL5 a ICE–X-blue [8].

Nástroje označené TL 5 mají na svém povrchu metodou PVD nanesen povlak TiAlN, který patří v současné době k nejpoužívanějším povlakům v oblasti vysoce výkonného obrábění. Tento povlak je hlavně využíván pro obrábění abrazivních materiálů jako je např. litina v našem případě je abrazivní materiál polypropylen vyztužený skelnými vlákny. Povlak TiAlN je na nástroj nanesen metodou PVD o tloušťce 1 – 4 μm. Předností tohoto povlaku je jeho vysoká mikrotvrdost (3000 HV) a jeho maximální pracovní teplota (800 °C) [9].



Označení nástroje	D1 [mm]	D2/h6 [mm]	L2 [mm]	L1+2 [mm]	λ [°]	γ [°]
100L060060	6	6	35	75	0	20

Tab. 2 Rozměry frézy 100L060060

Obr. 34 Fréza 100L0600 [8]

3.4 Volba řezných podmínek

Při volbě řezných podmínek zobrazené v tabulce 3 bylo vycházeno ze zkušeností získaných z předchozích projektů výroby přístrojových desek. Pro dosažení kvalitního řezu bylo zvoleno nesousledného frézování, u kterého nedochází k vytrhání vláken z matrice nosné části. Vhledem k použitým nástrojům byly zvoleny otáčky vřetene zvoleny n = 20000 ot /min, rychlost pracovního posuvu v_f = 60 mm.s^{-1} . Při volbě vyšší rychlosti posuvu dochází ke vzniku vysokého tepla v místě řezu, které má za následek degradaci materiálu. Naopak při nižší posuvné rychlosti docházelo k podrývání vláken. Hloubka záběru a_p se může pohybovat v rozmezí 10 – 15 mm a závisí na tloušťce materiálu dané pěnovou vrstvou.

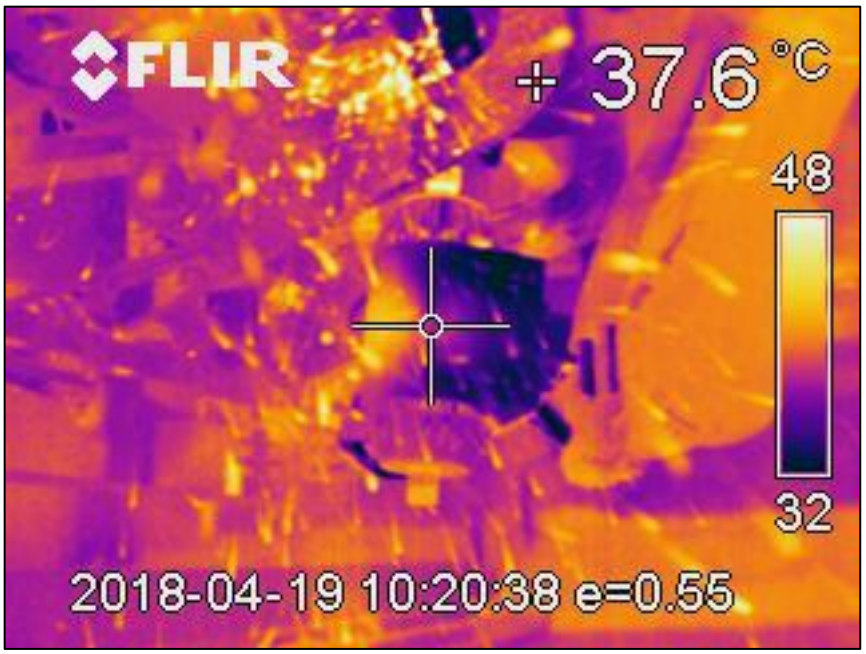
	n [ot/min]	v_f [mm/s]	a_p [mm]
Seat Ateca	20 000	60	10 - 15
Škoda Kodiaq	20 000	60	10 - 15
Škoda Karoq	20 000	60	10 - 15

Tab. 3 Zvolené řezné podmínky

3.5 Měřicí zařízení pro snímání teplot při obrábění

Teplota v procesu frézování přístrojové desky byla zjišťována pomocí termokamery FLIR E320. Teplotní rozsah použití pro tento typ kamery se pohybuje od -

20°C do 400°C. Z pořízených snímků bylo zjištěno, že největší množství tepla je především odvedeno třískou, díky nízké tepelné vodivosti obráběných materiálů (viz obr. 35). Teplota odvedených třísek a na povrchu nástroje dosahovala přibližně 48°C (viz obr. 35). Teplota obrobeného materiálu v procesu frézování dosahovala průměrné hodnoty 37,6°C (viz obr. 35). Vzhledem k materiálovým vlastnostem přístrojové desky nedochází vlivem tepla k deformaci materiálu ani ke změně struktury obráběné plochy [7], [14], [18].



Obr. 35 Teplota v průběhu frézování

3.6 Měřicí zařízení pro měření trvanlivosti nástroje

Trvanlivost nástroje byla hodnocena na základě vzniku vzhledových vad, ke kterým docházelo v průběhu frézování. Během velkého opotřebení břitu docházelo k vytrhávání materiálu z matrice obráběného kompozitu a ke zhoršení geometrické přesnosti frézovaných kontur. Při výskytu těchto defektů byl povrch nástroje zkoumán pod mikroskopem Leica M80, který je podrobně popsán v kapitole 3.1.4.

3.7 Statistické zpracování dat

K vyhodnocení naměřených dat poslouží zpracované tabulky a grafy naměřených hodnot v programu MS EXCEL. Z těchto tabulek statisticky zpracujeme naměřená data pomocí aritmetického průměru $\bar{x}$, který určíme jako podíl součtu naměřených hodnot T_i z každého měření a celkového počtu provedených měření n podle rovnice (3).

Abychom v procesu zabránili možnému výskytu výrobků neodpovídající jakosti povrchu, použijeme pro určení mezní trvanlivosti pravidla tří sigma. Pravidlo tří sigma nám říká, že hodnoty v statistickém souboru by se měli vyskytovat do tří směrodatných odchylek od aritmetického průměru. Pokud tedy odečteme od aritmetického průměru $\bar{x}$ naměřených trvanlivostí tři směrodatné odchylky σ dle rovnice (4), je pravděpodobnost dle Gaussova normálního rozdělení výskytu výrobku neodpovídající požadavkům kvality obrobené plochy přibližně 1%. Mezní trvanlivost tedy vypočteme dle rovnice (5). Pro aplikaci získaných dat do procesu frézování použijeme rovnici (6). Dle požadavků zákazníka známe předběžné počty přístrojových desek, které se budou vyrábět. Z naměřených časů, kdy je nástroj v záběru a počtu těchto výrobků dostaneme čas, ve kterém bude nástroj v záběru. Tento čas nesmí překročit hodnotu stanovené mezní trvanlivosti. Dle získaných výsledků mezní trvanlivosti, lze pak v praxi aproximovat do programu robotu přesnou výměnu nástroje, dle předem nadefinovaných hodnot počtu vyráběných dílů a časem jednotlivých nástrojů ve fázi řezání [4].

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{n} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma \quad (5)$$

$$T = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \quad (6)$$

3.8 Realizace experimentu

Experimentální část bude realizována ve firmě ANTOLIN LIBAN, podnik Lipovka na frézovací stanici od firmy Frimo. V rámci řešení této práce bude z hlediska trvanlivosti řezného nástroje porovnáno pět druhů řezných nástrojů.

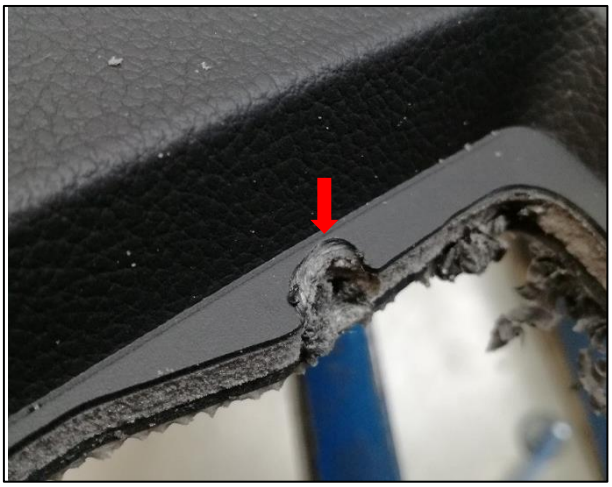
Před zahájením experimentální části je nutné frézu upnout do kuželu, který se slouží k upnutí nástroje na frézovací vřeteno robotu. Při upnutí frézy do tohoto kuželu je nutné zajistit požadovanou délku vyložení nástroje vůči souřadnému systému robot nástroj. Nastavení délky správného vyložení nástroje je provedeno pomocí kalibru.

Frézovací stanice je vybavena laserovým odměřováním délky nástroje. Měření a kontrola správné délky nástroje probíhá vždy před začátkem výrobního cyklu a také po jeho dokončení, neboť při frézování může dojít ke zlomení nástroje. Takto znehodnocený nástroj by znamenal nedofrézované kontury na díle, což nevyhovuje požadavkům zákazníka na kvalitu výrobku. Dále je nutné provést vizuální kontrolu nástroje, jestli nedošlo k porušení celistvosti ostří nebo jiné závadě.

Při zahájení experimentu je zapotřebí zaznamenat čas a datum, kdy byl nástroj vložen do vřetena a také jeho vyjmutí při zjištění výskytu nevyhovujícího výrobku. Tyto časové údaje jsou důležité pro přesné dohledání informací o počtu a typech vyrobených přístrojových desek. Informace o výrobku jsou v každé výrobní operaci zaznamenávány pomocí počítačového programu Orchestrátor od firmy SnT, ve kterém dohledáme přesný počet a typ vyrobených dílů. V průběhu experimentu byla v procesu nastavena pravidelná kontrola kvality obrobené plochy přístrojových desek každé dvě hodiny.

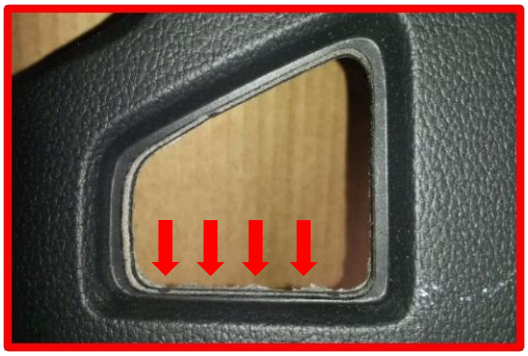
3.9 Hodnocení experimentu

Opotřebení řezného materiálu byla hodnocena na základě výskytu materiálových nebo geometrických vad, které vznikly v průběhu frézování. Materiálové vady lze specifikovat výskytem otřepů na nosné části (viz obr. 37), vytrháváním pěnového materiálu z nefrézované části výrobku (viz obr. 36) a odtrhávání materiálu vzhledové části výrobku (viz obr. 36). Geometrické vady specifikujeme výskytem nepřesného ofrézování linie nebo tvaru kontury. Správně ofrézovaná linie kontury (viz obr. 38) nejeví známky výskytu různých výstupků ani vytrhnutých částic z materiálu, jako je tomu u špatně ofrézované kontury (viz obr. 39).



Obr. 36 Materiálové vytrhnutí pěnové a vzhledové části

Obr. 37 Otřepy nosné části přístrojové desky



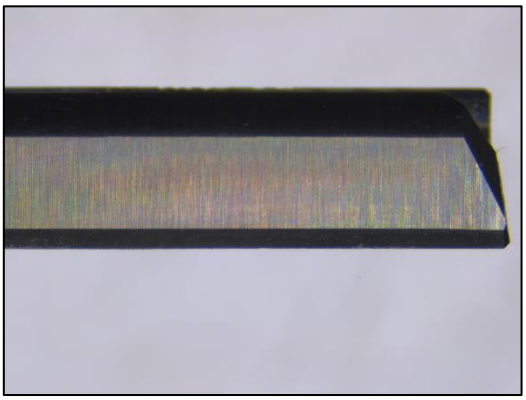
Obr. 38 Správně ofrézovaná linie kontury

Obr. 39 Spatně ofrézovaná linie kontury

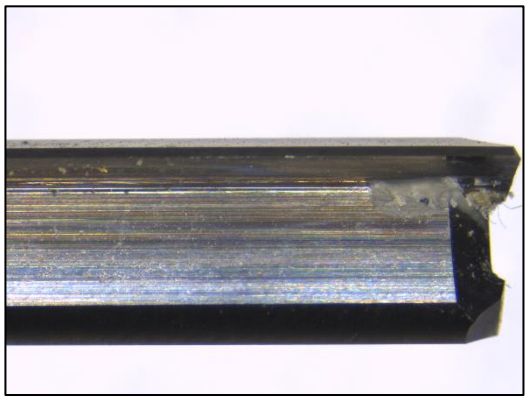
Při zjištění výskytu výrobku s jedním z uvedených defektů je frézovací nástroj vyměněn a podroben analýze. Pro zjištění charakteru opotřebení je nástroj zkoumán pod mikroskopem Leica M80. Nástroj upneme do přípravku a vložíme pod stereomikroskop. Následně provedeme vyfocení břitu nástroje v pozici 1 (viz obr. 40) a pozici 2 (viz obr. 41) pro jednobřité provedení. Pro dvoubřité nástroje pořídíme opět dva snímky v pozici 1 (viz obr. 42) a pozici 2 (viz obr. 43). Po vyhodnocení získaných snímků je stanoven charakter opotřebení nástrojového materiálu.

Obr. 40 Poz. 1 pro jednobřitý nástroj

Obr. 41 Poz. 2 pro jednobřitý nástroj



Obr. 42 Poz. 1 pro dvoubřitý nástroj



Obr. 43 Poz. 2 pro dvoubřitý nástroj

Trvanlivost nástroje je stanovena dle rovnice (6), která vychází z počtu a typu vyrobených dílů a času, ve kterém je nástroj v záběru pro jednotlivé projekty uvedené v tabulce 4. Získané hodnoty jsou statisticky zpracovány ve formě tabulek a grafů.

Program	**S prostřihem**	**Bez prostřihu**
Projekt	**stojní čas [s]**	
Ateca LHD t_1	12	x
Ateca RHD t_2	x	80
Kodiaq LHD t_3	45	x
Kodiaq RHD t_4	x	109
Karoq LHD t_5	26	x
Karoq RHD t_6	x	112

Tab. 4 Doba záběru nástroje v jednom pracovním cyklu

4 Experimentální část

Experimentální část diplomové práce se zabývá zkoumáním vlivu řezných materiálů na proces frézování přístrojových desek ve firmě ANTOLIN LIBAN s.r.o. Předmětem experimentu bylo zjišťování vlivu materiálu řezného nástroje na jeho trvanlivost za konstantních řezných podmínek.

4.1 Hodnocení vlivu řezného nástroje

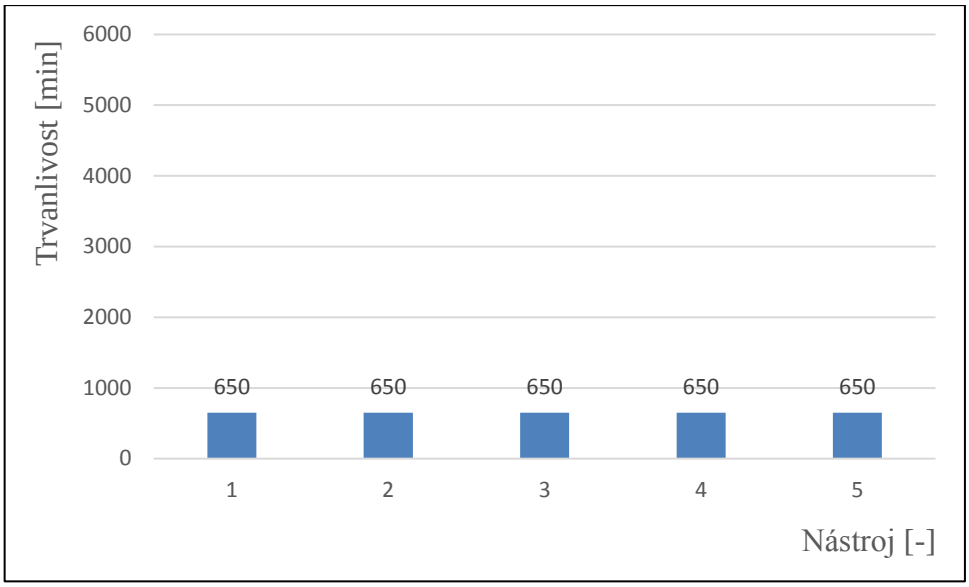
Vyhodnocení vlivu řezného nástroje na jakost obrobeného povrchu kompozitního materiálu bylo vyhodnoceno ve formě tabulek a grafů. Porovnání vlivu řezného materiálu na trvanlivost nástroje bylo uskutečněno na základě jakosti obrobeného povrchu. Pro vyhodnocení diplomové práce byly použity tyto řezné nástroje 111SHXL06, 111SHXL06-S005-TL5, 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue, 100L060060-TL5, 100L060060-ICE-X-Blue.

4.2 Nástroj 111SHXL06

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce č. 5. Získané hodnoty trvanlivostí $T_{1..5}$ pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu 1. Trvanlivost $T_{1..5}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti počtu vyrobených kusů $N_{1..6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$. Doba záběru nástroje pro jednotlivé projekty je zobrazena v tabulce č. 5.

Nástroj 111SHXL06 současný stav							
	Ateca LHD N_1	Ateca RHD N_2	Kodiaq LHD N_3	Kodiaq RHD N_4	Karoq LHD N_5	Karoq RHD N_6	
Nástroj	Počet kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	100	838	56	650
2.	600	200	300	12	0	0	650
3.	0	0	400	101	389	0	650
4.	0	0	384	0	500	77	650
5.	370	90	456	61	0	0	650

Tab. 5 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06



Graf 1 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 650 \ (3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 0 \ \ (4)$$

$$T_{1\ldots n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \ (6)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 650 - (0) = 650 \ min \ \ (5)$$

Ze získaných výrobních údajů bylo zjištěno, že trvanlivost nástroje 111SHXL06 dosahuje, za současného stavu 650 min. Při kontrole poslední obrobené přístrojové desky nebyly na obrobeném povrchu nalezeny žádné vady. Na základě pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80, nebyly na břitu nástroje nalezeny výrazné známky opotřebení břitu (viz obr. 44, 45).

Obr. 44 Fréza 111SHXL06 poz. 1

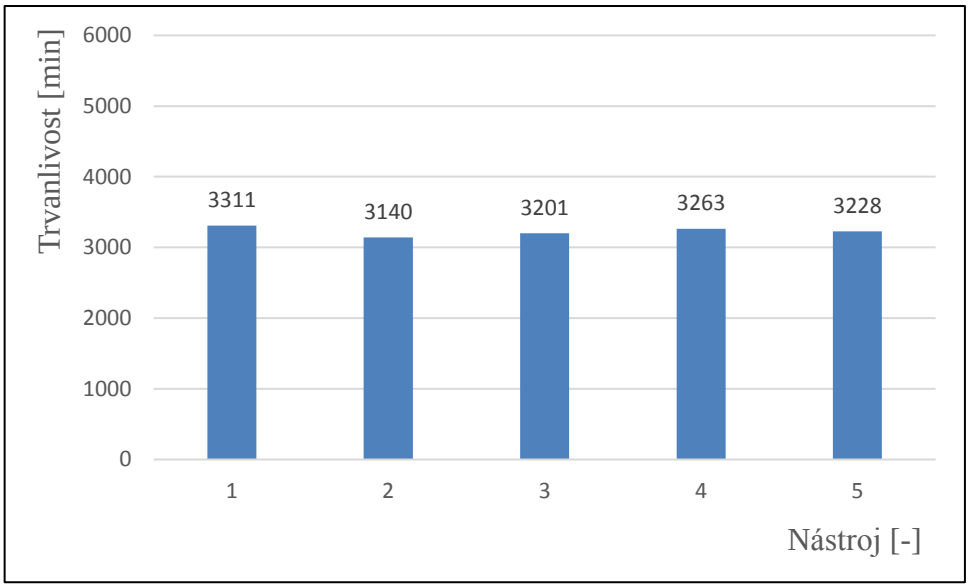
Obr. 45 Fréza 111SHXL06 poz. 2

4.3 Nástroj 111SHXL06 po optimalizaci

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce č. 6. Získané hodnoty trvanlivostí $T_{1..5}$, pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu 2. Trvanlivost $T_{1..5,}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti na počtu vyrobených kusů $N_{1..6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$.

Nástroj 111SHXL06 po optimalizaci							
	Ateca LHD N_1	Ateca RHD N_2	Kodiaq LHD N_3	Kodiaq RHD N_4	Karoq LHD N_5	Karoq RHD N_6	
Nástroj	Počet kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	450	2433	771	3311
2.	0	0	0	512	2510	601	3140
3.	2335	474	2448	149	0	0	3201
4.	1872	406	2284	349	0	0	3263
5.	0	0	0	522	2173	717	3228

Tab. 6 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 po optimalizaci



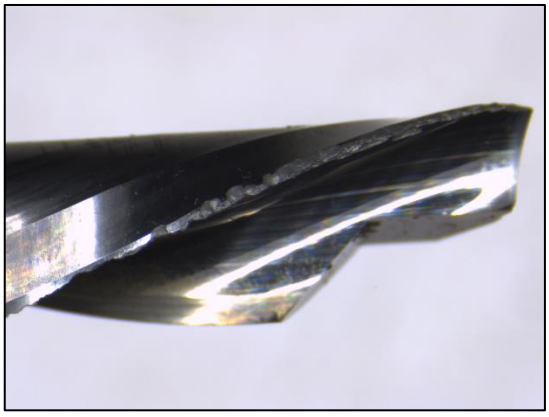
Graf 2 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 po optimalizaci

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 3228{,}6 \quad (3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 57{,}7 \quad (4)$$

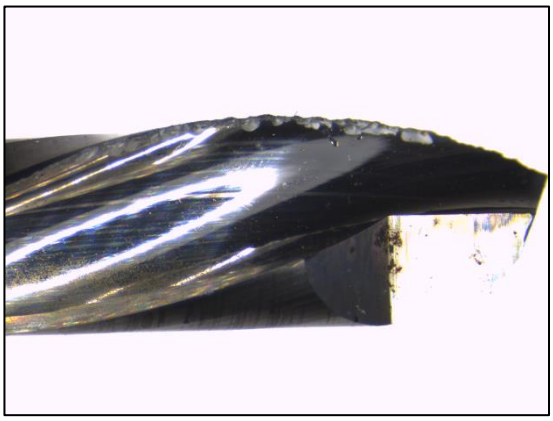
$$T_{1...n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \quad (6)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 3228{,}6 - (3 \times 57{,}7) = 3055{,}5\ min \quad (5)$$

Z naměřených hodnot byla stanovena mezní trvanlivost nástroje 111SHXL06 po optimalizaci na 3055,5 min. Z pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80 bylo zjištěno, že na břitu nástroje dochází k otupení nástroje vlivem abrazivního tření (viz obr. 46, 47). V okolí břitu nástroje docházelo k vydrolení materiálu v rozmezí 300 – 450 µm od řezné hrany, což mělo za následek vzniku vad v podobě otřepů na nosné části a vytrhávání materiálu v pěnové části přístrojové desky.



Obr. 46 Fréza 111SHXL06 poz. 1



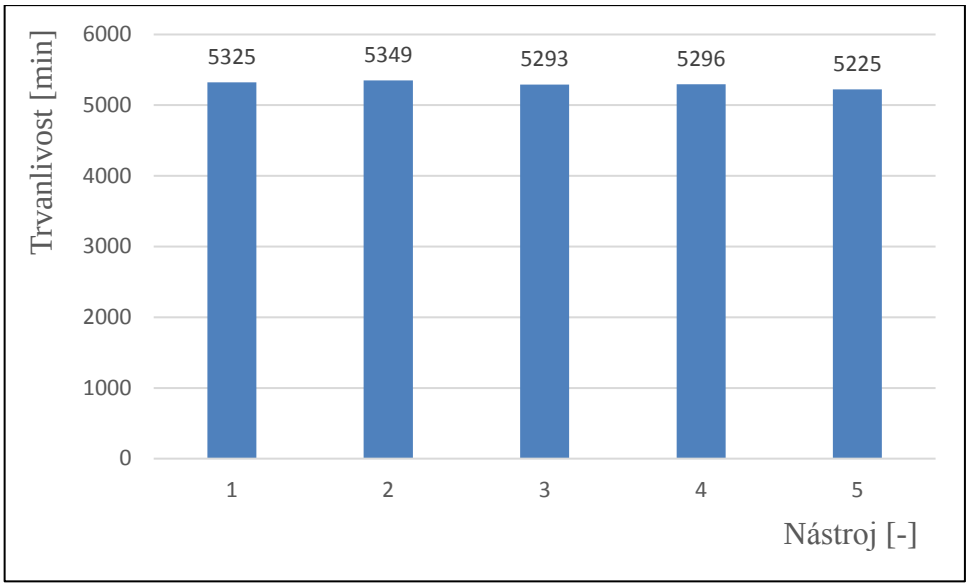
Obr. 47 Fréza 111SHXL06 poz. 2

4.4 Nástroj 111SHLXS06-S005-TL5

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce č. 7. Získané hodnoty trvanlivostí $T_{1...5}$ pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu 3. Trvanlivost $T_{1...5}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti na počtu vyrobených kusů $N_{1...6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$.

Nástroj 111SHLXS06-S005-TL5							
	Ateca LHD N_1	Ateca RHD N_2	Kodiaq LHD N_3	Kodiaq RHD N_4	Karoq LHD N_5	Karoq RHD N_6	
Nástroj	Počet vyrobených kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	828	4035	1105	5315
2.	3881	741	4202	239	0	0	5349
3.	4831	816	4318	0	0	0	5293
4.	0	0	0	881	4553	923	5296
5.	0	0	198	597	3954	1221	5225

Tab. 7 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06-S005-TL5



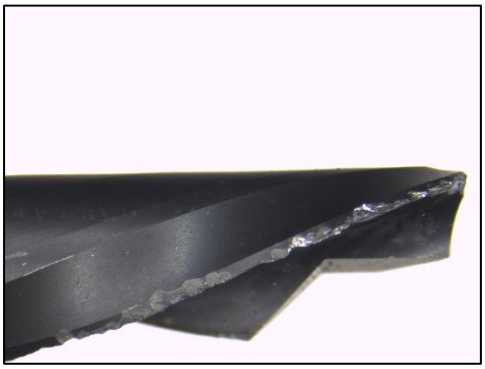
Graf 3 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06-S005-TL5

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 5297{,}6 \quad (3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 46{,}6 \quad (4)$$

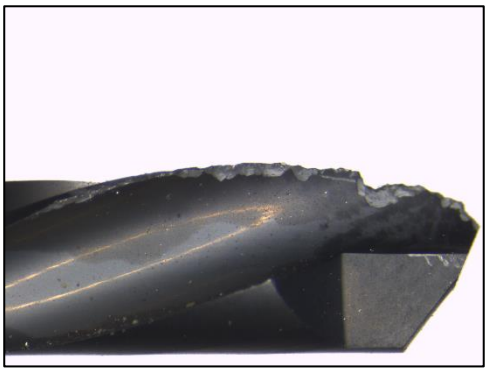
$$T_{1\ldots n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \quad (5)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 638{,}4 - (3 \times 6{,}6) = 5157{,}8\, min \quad (6)$$

Z naměřených hodnot byla stanovena mezní trvanlivost nástroje 111SHXL06-S005-TL5 na 5157,8 min. Z pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80 bylo zjištěno, že na břitu nástroje dochází k otupení nástroje vlivem abrazivního tření (viz obr. 48, 49). V okolí břitu nástroje docházelo k vydrolení materiálu v rozmezí 490 – 863 µm od řezné hrany. U tohoto nástroje se vyskytovaly z převážné části vady jako u nástroje 111SHXL06 a to především v podobě otřepů na nosné části a vytrhávání materiálu pěnové části.



Obr. 48 Fréza 111SHXL06-S005-TL5



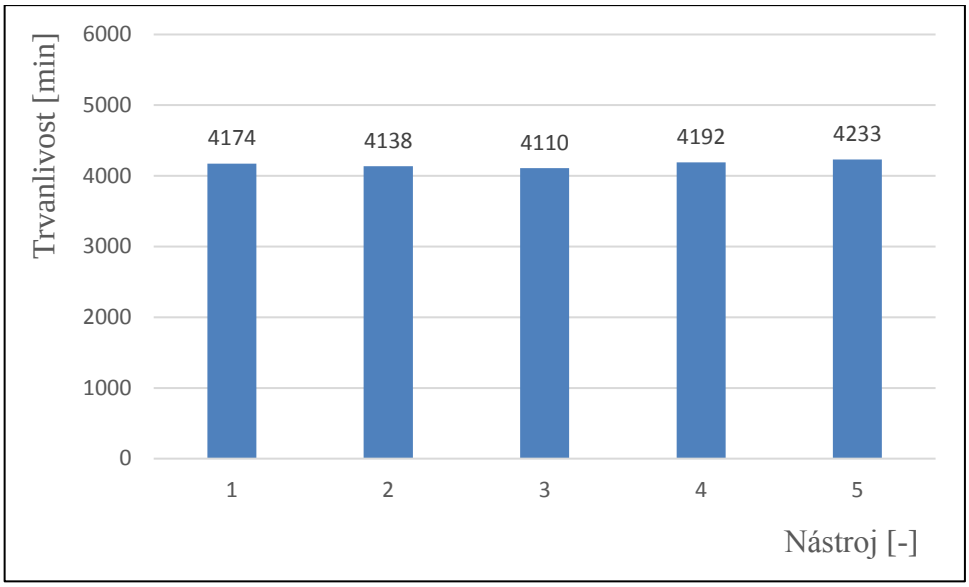
Obr. 49 Fréza 111SHXL06-S005-TL5

4.5 Nástroj 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce č. 8. Naměřené hodnoty trvanlivostí $T_{1..5}$ pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu č. 4. Trvanlivost $T_{1..5}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti na počtu vyrobených kusů $N_{1..6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$.

Nástroj 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue							
	Ateca LHD N1	Ateca RHD N2	Kodiaq LHD N3	Kodiaq RHD N4	Karoq LHD N5	Karoq RHD N6	
Nástroj	Počet vyrobených kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	688	3004	869	4174
2.	3055	684	3486	0	0	0	4138
3.	3203	620	3524	0	0	0	4110
4.	0	0	0	642	3307	853	4192
5.	0	0	0	734	3134	821	4233

Tab. 8 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue



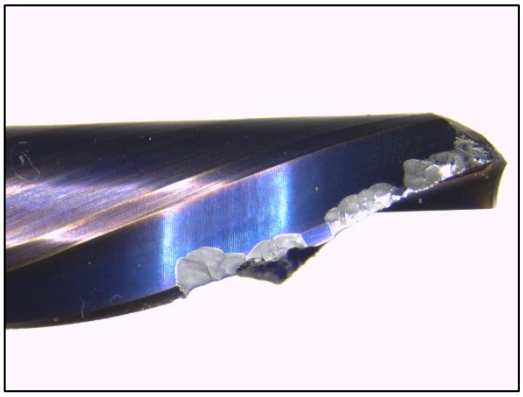
Graf 4 Trvanlivost nástrojů 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue

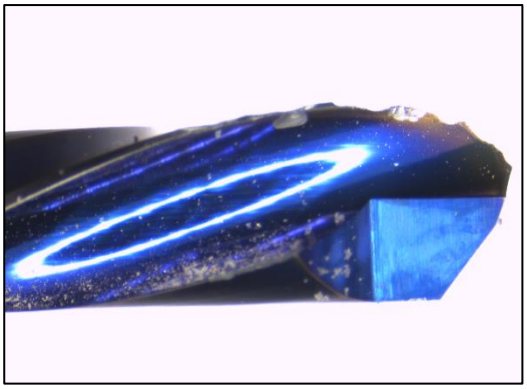
$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 4169{,}4 \quad (3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 47{,}7 \quad (4)$$

$$T_{1\ldots n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \; (6)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 4169{,}4 - (3 \times 47{,}7) = 4024{,}3\, min \quad (5)$$

Z naměřených hodnot byla stanovena mezní trvanlivost nástroje 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue na 4024,3 min. Z pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80 bylo zjištěno, že na břitu nástroje dochází k otupení nástroje vlivem abrazivního tření (viz obr. 50, 51). V okolí břitu nástroje docházelo k vydrolení materiálu v rozmezí 500 – 963 µm od řezné hrany. Použitím tohoto nástroje nejčastěji docházelo ke vzniku otřepům nosné části a také k výskytu nerovnoměrně ofrézované geometrii v linii řezu.





Obr. 50 Fréza 111SHXLS06-ICE-X-Blue

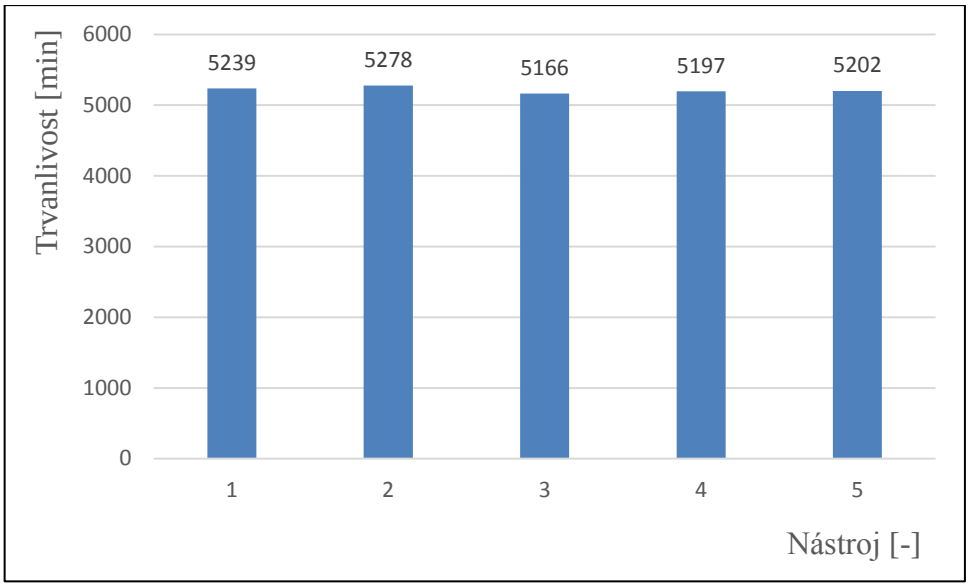
Obr. 51 Fréza 111SHXLS06- ICE-X-Blue

4.6 Nástroj 100L060060-TL5

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce 9. Naměřené hodnoty trvanlivostí $T_{1..5}$ pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu 5. Trvanlivost $T_{1..5}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti na počtu vyrobených kusů $N_{1..6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$.

Nástroj 100L060060-TL5							
	Ateca LHD N_1	Ateca RHD N_2	Kodiaq LHD N_3	Kodiaq RHD N_4	Karoq LHD N_5	Karoq RHD N_6	
Nástroj	Počet kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	899	4710	1259	5239
2.	10	300	600	0	0	0	5278
3.	0	0	0	40	500	258	5166
4.	300	250	384	0	0	0	5197
5.	0	0	50	380	400	150	5202

Tab. 9 Trvanlivost nástrojů 100L060060-TL5



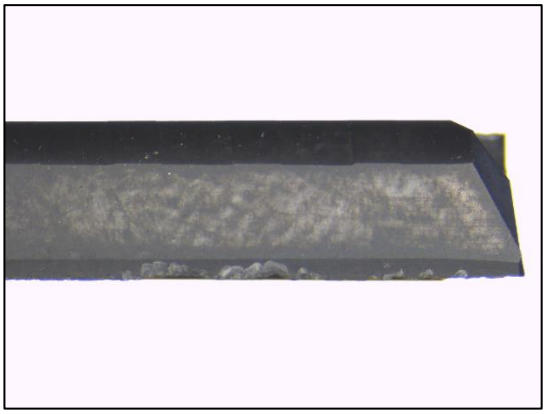
Graf 5 Trvanlivost nástrojů 100L060060-TL5

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 5216{,}4 \ (3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 43{,}1 \ \ (4)$$

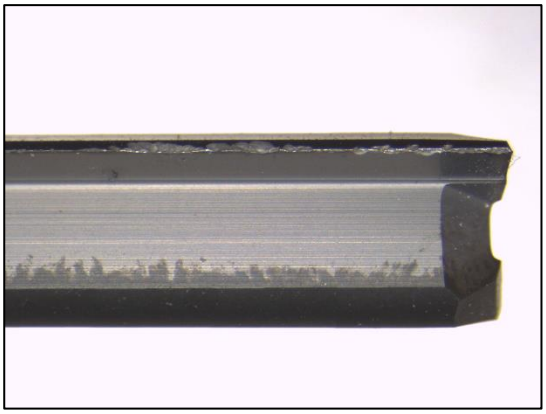
$$T_{1\ldots n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \ (6)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 5216{,}4 - (3 \times 43{,}1) = 5087{,}1 \ min \ \ (5)$$

Z naměřených hodnot byla stanovena mezní trvanlivost nástroje 100L060060-TL5 na 5087,1 min. Z pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80 bylo zjištěno, že na břitu nástroje dochází k otupení nástroje vlivem abrazivního tření (viz obr. 52, 53). V okolí břitu nástroje docházelo k vydrolení materiálu v rozmezí 390 – 493 µm od řezné hrany. Použitím tohoto nástroje nejčastěji docházelo k vytrhávání materiálu z pohledové části přístrojové desky.



Obr. 52 Fréza 100L060060-TL5



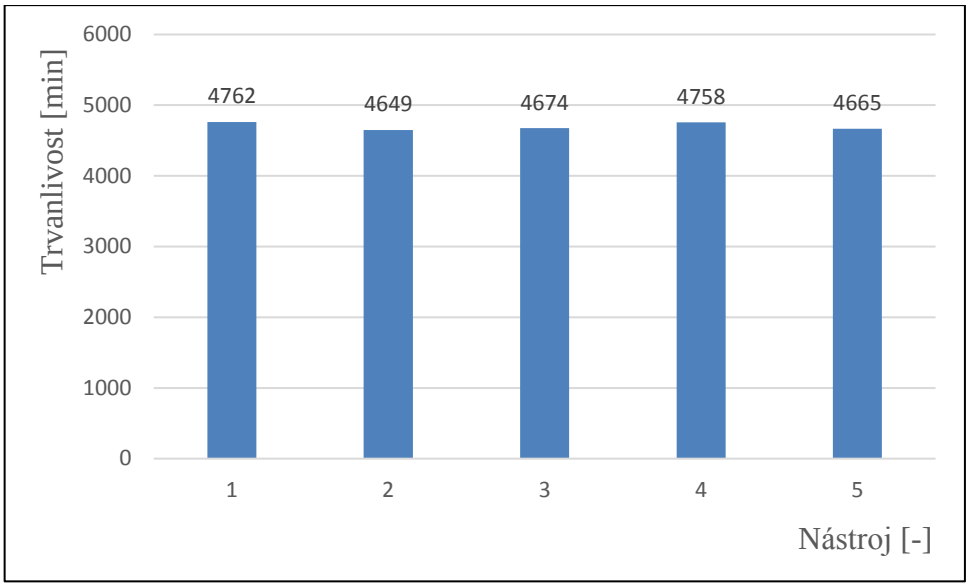
Obr. 53 Fréza 100L060060-TL5

4.7 Nástroj 100L060060-ICE-X-Blue

Naměřené hodnoty trvanlivosti a počty opracovaných dílů $N_{1...6}$ pro jednotlivé projekty naleznete v tabulce 10. Naměřené hodnoty trvanlivostí $T_{1..5}$ pro jednotlivé testované nástroje naleznete v grafu 6. Trvanlivost $T_{1..5}$ nástroje stanovíme dle rovnice 5, která vychází ze závislosti na počtu vyrobených kusů $N_{1..6}$ a doby záběru nástroje $t_{1..6}$.

Nástroj 100L060060–ICE-X-Blue							
	Ateca LHD N_1	Ateca RHD N_2	Kodiaq LHD N_3	Kodiaq RHD N_4	Karoq LHD N_5	Karoq RHD N_6	
Nástroj	Počet kusů [N]						$T_{1..n}$ [min]
1.	0	0	0	806	3859	871	4762
2.	3805	815	3736	0	0	0	4649
3.	3946	724	3893	0	0	0	4674
4.	0	0	0	780	3783	912	4758
5.	3934	765	3812	0	0	0	4665

Tab. 10 Trvanlivost nástrojů 100L060060-ICE-X-Blue



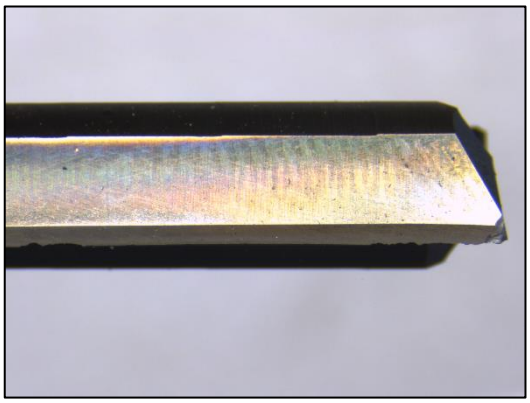
Graf 6 Trvanlivost nástrojů 100L060060–ICE-X-Blue

$$\bar{x} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{N} = 4701{,}6(3) \qquad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2} = 54{,}1 \quad (4)$$

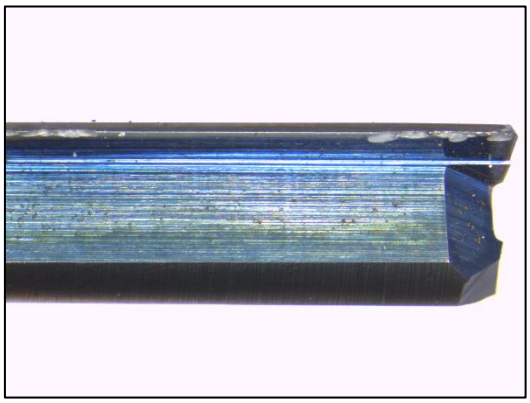
$$T_{1\ldots n} = N_{1.}t_1 + N_2t_2 + N_3t_3 + N_4t_4 + N_5t_5 + N_6t_6 \leq T_{mez} \; (6)$$

$$T_{mez} = \bar{x} - 3\sigma = 4701{,}6 - (3 \times 54{,}1) = 4539{,}3\, min \quad (5)$$

Z naměřených hodnot byla stanovena mezní trvanlivost nástroje 100L060060–ICE-X-Blue na 4539,3 min. Z pořízených snímků na stereomikroskopu Leica M80 bylo zjištěno, že na břitu nástroje dochází k otupení nástroje vlivem abrazivního tření (viz obr. 54, 55). V okolí břitu nástroje docházelo k vydrolení materiálu v rozmezí 230 – 320 µm od řezné hrany. Použitím tohoto nástroje docházelo ke vzniku vady stejně jako u nástroje 100L060060-TL5 k vytrhávání materiálu z pohledové části přístrojové desky.



Obr. 54 Fréza 100L060060–ICE-X-Blue



Obr. 55 Fréza 100L060060–ICE-X-Blue

4.8 Ekonomické zhodnocení použitých řezných nástrojů

4.8.1 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06 před optimalizací

K dosažení ekonomického zhodnocení nástroje s označením 111SHXL06 bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce 11 naleznete plánovaný **objem výroby Q** pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_1** dle současného stavu podle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_1** na pořízení nástrojů pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_1** a **pořizovací ceny nástroje P_{N1}** dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_1 naleznete v tabulce 12.

Fréza - 111SHXL06 před optimalizací			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [min]**	**Spotřeba fréz $F_1 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	25
Ateca RHD	9990	13320	21
Kodiaq LHD	103018	77263,5	119
Kodiaq RHD	21100	38331	59
Karoq LHD	85454	37030	57
Karoq RHD	17502	32670,4	51
Celkem	317896	214781,3	332

Tab. 11 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroje	P_1	10292 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N1}	31 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_1	332 ks

Tab. 12 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_1

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \quad (7)$$

$$P_1 = P_{N1} \times F_1 \ (6)$$
$$P_1 = 31 \times 349 \ (6)$$
$$P_1 = 10292€ \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 332 ks frézovacích nástrojů F_1 s označením 111SHXL06. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N1} by celkové pořizovací náklady P_1 činily částku 10292€.

4.8.2 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06 po optimalizaci

Pro ekonomického zhodnocení nástrojů s označením 111SHXL06 po optimalizaci, bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce 13 naleznete plánovaný **objem výroby Q** pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_2** po optimalizaci procesu s označením 111SHXL06 dle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_2** na pořízení nástrojů pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_2** a **pořizovací ceny nástroje P_{N2}** dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_2 naleznete v tabulce 14.

Fréza - 111SHXL06 po optimalizací			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [min]**	**Spotřeba fréz $F_2 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	6
Ateca RHD	9990	13320	5
Kodiaq LHD	103018	77263,5	26
Kodiaq RHD	21100	38331	13
Karoq LHD	85454	37030	13
Karoq RHD	17502	32670,4	11
Celkem	317896	214781,3	74

Tab. 13 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroj	P_2	2294 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N2}	31 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_2	74 ks

Tab. 14 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_2

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \quad (7)$$

$$P_2 = P_{N2} \times F_2 \ (6)$$

$$P_2 = 31 \times 74 \ (6)$$

$$P_2 = 2294€ \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 74 ks frézovacích nástrojů F_2 s označením 111SHXL06 po optimalizaci. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N2} by celkové pořizovací náklady P_2 činily částku 2294€.

4.8.3 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06-S005-TL5

Pro ekonomického zhodnocení nástrojů s označením 111SHXL06-S005-TL5 bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce č. 15 naleznete plánovaný **objem výroby Q** pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_3** dle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_3** na pořízení nástrojů pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_3** a **pořizovací ceny**

nástroje P_{N3} dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_3 naleznete v tabulce č. 16.

Fréza - 111SHLXS06-S005-TL5			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [s]**	**Spotřeba fréz $F_3 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	4
Ateca RHD	9990	13320	3
Kodiaq LHD	103018	77263,5	15
Kodiaq RHD	21100	38331	8
Karoq LHD	85454	37030	7
Karoq RHD	17502	32670,4	7
Celkem	317896	214781,3	44

Tab. 15 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroj	P_3	2129,6 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N3}	48,4 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_3	44 ks

Tab. 16 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_3

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \quad (7)$$

$$P_3 = P_{N3} \times F_3 \ (6)$$

$$P_3 = 48{,}4 \times 44 \ (6)$$

$$P_3 = 2129{,}6 \text{ €} \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 44 ks frézovacích nástrojů F_3 s označením 111SHXL06-S005-TL5. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N3} by celkové pořizovací náklady P_3 činily částku 2129,6€.

4.8.4 Plánovaná spotřeba fréz 111SHXL06-S005-ICE-X-Blue

Pro ekonomického zhodnocení nástrojů s označením 111SHXL06-S005-ICE-X-Blue bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce č. 17 naleznete plánovaný **objem výroby Q** pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_4** dle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_4** na pořízení nástrojů

pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_4** a **pořizovací ceny nástroje P_{N4}** dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_4 naleznete v tabulce č. 18.

Fréza - 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [min]**	**Spotřeba fréz $F_4 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	5
Ateca RHD	9990	13320	4
Kodiaq LHD	103018	77263,5	20
Kodiaq RHD	21100	38331	10
Karoq LHD	85454	37030	10
Karoq RHD	17502	32670,4	9
Celkem	317896	214781,3	58

Tab. 17 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroj	P_4	2708,6 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N4}	46,7 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_4	58 ks

Tab. 18 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_4

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \quad (7)$$

$$P_4 = P_4 \times F_4 \ (6)$$

$$P_4 = 46{,}7 \times 58 \ (6)$$

$$P_4 = 2708{,}6 \ € \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 58 ks frézovacích nástrojů F_4 s označením 111SHXL06-ICE-X-Blue. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N4} by celkové pořizovací náklady P_4 činily částku 2708,6€.

4.8.5 Plánovaná spotřeba fréz 100L060060-TL5

Pro ekonomického zhodnocení nástrojů s označením 100L060060-TL5 bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce č. 19 naleznete plánovaný

objem výroby Q pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_5** dle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_5** na pořízení nástrojů pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_5** a **pořizovací ceny nástroje P_{N5}** dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_5 naleznete v tabulce č. 20.

Fréza - 100L060060-TL5			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [min]**	**Spotřeba fréz $F_5 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	3
Ateca RHD	9990	13320	3
Kodiaq LHD	103018	77263,5	16
Kodiaq RHD	21100	38331	8
Karoq LHD	85454	37030	8
Karoq RHD	17502	32670,4	7
Celkem	317896	214781,3	45

Tab. 19 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroj	P_5	2299,5 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N5}	51,1 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_5	45 ks

Tab. 20 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_5

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \quad (7)$$

$$P_5 = P_1 \times F_5 \ (6)$$

$$P_5 = 51{,}1 \times 45 \ (6)$$

$$P_5 = 2299{,}5 \ € \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 45 ks frézovacích nástrojů F_5 s označením 100L060060-TL5. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N5} by celkové pořizovací náklady P_5 činily částku 2299,5€.

4.8.6 Plánovaná spotřeba fréz 100L060060-ICE-X-Blue

Pro ekonomického zhodnocení nástrojů s označením 100L060060-ICE-X-Blue bylo nutné spočítat celkovou spotřebu fréz na plánované objemy výrobních dávek

požadovaných zákazníkem po celou dobu projektu. V tabulce č. 21 naleznete plánovaný **objem výroby Q** pro rok 2018. Ze zjištěných dat byla vypočtena spotřeba **frézovacích nástrojů F_6** dle rovnice 7. Rovnice 6 vyjadřuje **celkové náklady P_6** na pořízení nástrojů pro rok 2018, které se skládají z celkového počtu **použitých fréz F_6** a **pořizovací ceny nástroje P_{N6}** dle rovnice 6**.** Cenovou kalkulaci celkových nákladů na předpokládané množství frézovacích nástrojů F_6 naleznete v tabulce č. 22.

Fréza - 100L060060-ICE-X-Blue			
Projekt	**Objem výroby [Q]**	**doba nástroje v záběru T [min]**	**Spotřeba fréz $F_6 = T/T_{mez}$**
Ateca LHD	80832	16166,4	4
Ateca RHD	9990	13320	3
Kodiaq LHD	103018	77263,5	18
Kodiaq RHD	21100	38331	9
Karoq LHD	85454	37030	9
Karoq RHD	17502	32670,4	8
Celkem	317896	214781,3	51

Tab. 21 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018

Celkové náklady na nástroj	P_6	2657,1 €
Pořizovací cena 1ks nástroje	P_{N6}	52,1 €
Plánová spotřeba nástrojů	F_6	51 ks

Tab. 22 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_6

$$T = Q_{1.}t_1 + Q_2t_2 + Q_3t_3 + Q_4t_4 + Q_5t_5 + Q_6t_6 \ \ (7)$$

$$P_6 = P_6 \times F_6 \ (6)$$

$$P_6 = 52{,}1 \ \times 51 \ \ (6)$$

$$P_6 = 2657{,}1 \ € \ (6)$$

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že by na výrobu přístrojových desek pro rok 2018 bylo spotřebováno 51 ks frézovacích nástrojů F_5 s označením 100L060060-ICE-X-Blue. Při aktuální ceně frézovacího nástroje P_{N6} by celkové pořizovací náklady P_6 činily částku 2657,1 €.

5 Diskuze výsledků

Cílem této diplomové práce bylo zvýšit trvanlivost frézovacích nástrojů a tím snížit celkové náklady na frézovací nástroje po celou dobu projektu. V rámci tohoto řešení byla v prvé části provedena analýza současného stavu.

Na základě získaných a vypočtených dat byla pozornost věnována optimalizaci procesu frézování s cílem co nejvíce snížit mzdové náklady na pořízení nástrojů.

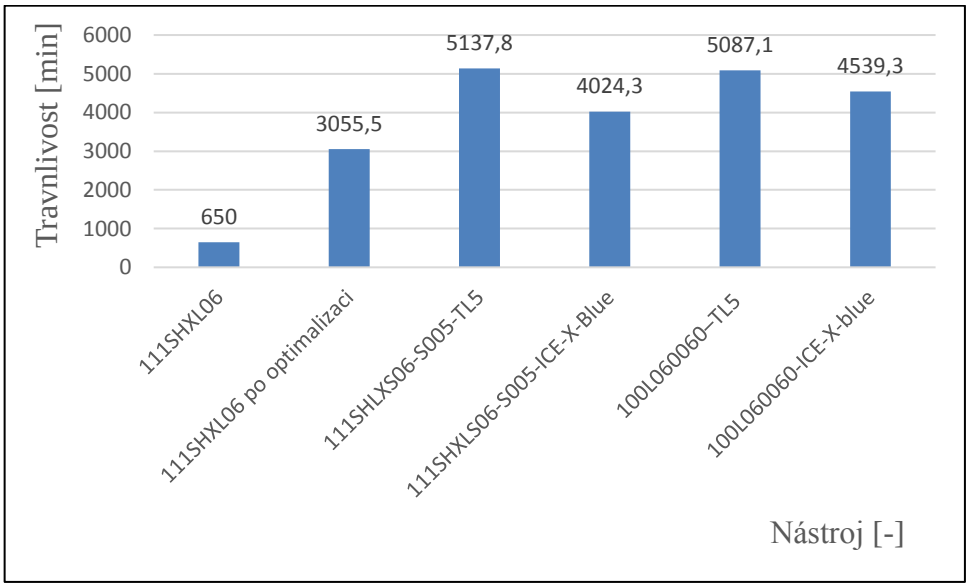
Hlavním cílem bylo zjistit optimální trvanlivost nástroje a vyzkoušet nové nástrojové materiály pro frézování přístrojových desek ve firmě ANTOLIN LIBAN s ohledem na jakost obrobeného povrchu a požadavkům zákazníka na kvalitu výrobku.

Výroba přístrojových desek probíhá v několika výrobních operací. Tyto operace jsou podrobně popsány v teoretické části diplomové práce.

Experimentální část diplomové práce se zabývá zkoumáním vlivu řezného materiálu na trvanlivost nástroje v rámci frézování přístrojové desky. Získaná data byla vyhodnocena na základě opotřebení břitu nástroje a kvality obrobeného povrchu. Metodika sběru dat a stanovení hodnotících kritérií pro určení optimální trvanlivosti řezného nástroje je podrobně popsána v kapitole 3.

Na základě zkušeností z předchozích projektů byli nástroje zkoumány za konstantních řezných podmínek. Při těchto řezných podmínkách nedochází k deformaci materiálu vlivem vzniklého tepla, ani k mechanickému poškození obráběného povrchu přístrojové desky. Při uvedení výrobku do sériové výroby byla na základě zkušeností z předchozích projektů stanovena optimální trvanlivost nástroje 111SHXL06 na 650 minut. Při zkoumání opotřebení řezného nástroje po uplynutí této doby bylo zjištěno, že břit nástroje nejeví téměř žádné známky opotřebení. Z těchto důvodů byl současně používaný nástroj podroben testu jeho trvanlivosti. V tomto testu se ukázalo, že nástroj mnohokrát překračuje dobu trvanlivosti, než bylo stanoveno na počátku sériové výroby. Tato skutečnost poukazuje na fakt, že v nedávné době byla do procesu zavedena střihadla, které významně zkrátila dobu nástroje v procesu řezání. Volba nástrojů byla vybrána na základě doporučení výrobcem nástrojů firmou HUFSMIED. Ze získaných dat bylo zjištěno, že materiál řezných nástrojů je nejvíce opotřeben v části, která obrábí nosnou komponentu přístrojové desky. Tato část jeví z použitých materiálů nejvyšší materiálové vlastnosti. Jedná se o polypropylen vyztužený skelnými vlákny, které silně působí abrazivně na břit řezného nástroje. Ze získaných dat dosáhl nejlepšího výsledku nástroj s označením 111SHXLS06-S005-TL5, který dosáhnul

trvanlivosti 5137,8 min. Porovnání získaných výsledků trvanlivosti pro jednotlivé typy nástrojů, naleznete v grafu 7. Z výsledků je zajímavé, že současně používaný nástroj dosáhnul v procentuálním vyjádření delší trvanlivosti o 370 %. Pro objektivní porovnání trvanlivosti nástrojů budeme uvažovat skutečnou hodnotu trvanlivosti 3055,5 min nástroje 111SHXL06, při které vykazuje známky opotřebení a není schopen zajistit požadovanou jakost obrobeného povrchu. V tabulce č. 23 naleznete procentuální porovnání naměřených dat pro jednotlivé nástroje. Z tabulky je patrné, že nejlepšího výsledku dosáhl již zmiňovaný nástroj 111SHXL06-S005-TL5, který vykazoval o 68% vyšší trvanlivost než současně používaný nástroj. Vzhledem k dosaženým výsledkům lze předpokládat, že vybraný povlak TiAlN se jeví pro danou aplikaci jako nejvhodnější volba. Nejhoršího zlepšení dosáhnul nástroj 111SHXL06-S005-ICE-X-Blue v porovnání se současně používaným typem se jedná v procentuálním vyjádření o 31% zvýšení trvanlivosti nástroje. Tento nástroj má patentovanou povrchovou úpravu, o které výrobce neposkytnul žádné údaje. V průběhu experimentu bylo u tohoto nástroje nejvíce viditelné opotřebení řezné hrany břitu, které dosahovalo až 900 µm. Pokud mezi sebou porovnáme jednobřité a dvoubřité nástroje, můžeme si z grafu povšimnout podobnosti v dosažení výsledků, kde byly použité stejné povrchové úpravy. V průběhu experimentu se nejčastěji u jednobřitých fréz projevovala materiálová vada na díle. Nejvíce docházelo ke tvorbě otřepů nosné části přístrojové desky. Opotřebení dvoubřitých fréz se nejvíce projevovalo v pohledové části přístrojové desky, kde docházelo k vytrhávání materiálu.

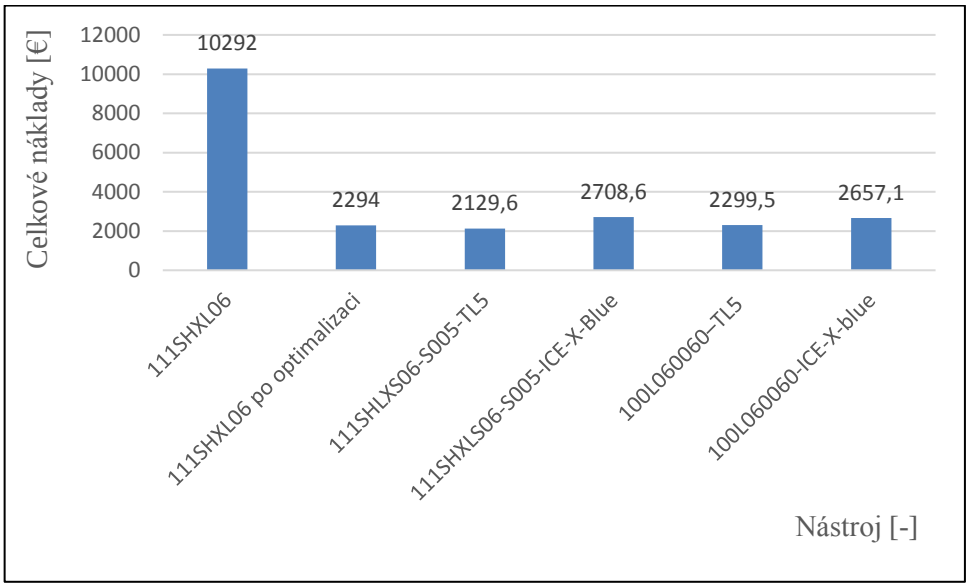


Graf 7 Trvanlivost vybraných nástrojů

Nástroj	Trvanlivost [min]	Zlepšení [%]
111SHXL06 po optimalizaci	3055,5	0
111SHLXS06-S005-TL5	5137,8	68
111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue	4024,3	31
100L060060–TL5	5087,1	66
100L060060-ICE-X-blue	4539,3	48

Tab. 23 Trvanlivosti použitých nástrojů

Nejdůležitější části diplomové práce je shrnout získané výsledky jednotlivých nástrojů a provést jejich ekonomické porovnání. Ze získaných výsledků trvanlivostí pro jednotlivé nástroje jsme na základě předpokládaných objemů výroby vozů stanovili přibližnou spotřebu frézovacích nástrojů pro rok 2018. Celkové náklady na pořízení jednotlivých nástrojů pro vybraný typ robota naleznete v grafu 8. Nejlepších výsledků bylo zaznamenáno u nástroje 111SHXL06-S005-TL5, kde bylo dosaženo finanční úspory v hodnotě 8162,4 €, oproti současně používanému nástroji 111SHXL06. Finanční úspory pro jednotlivé nástroje v porovnání se současným stavem naleznete v tabulce 24.

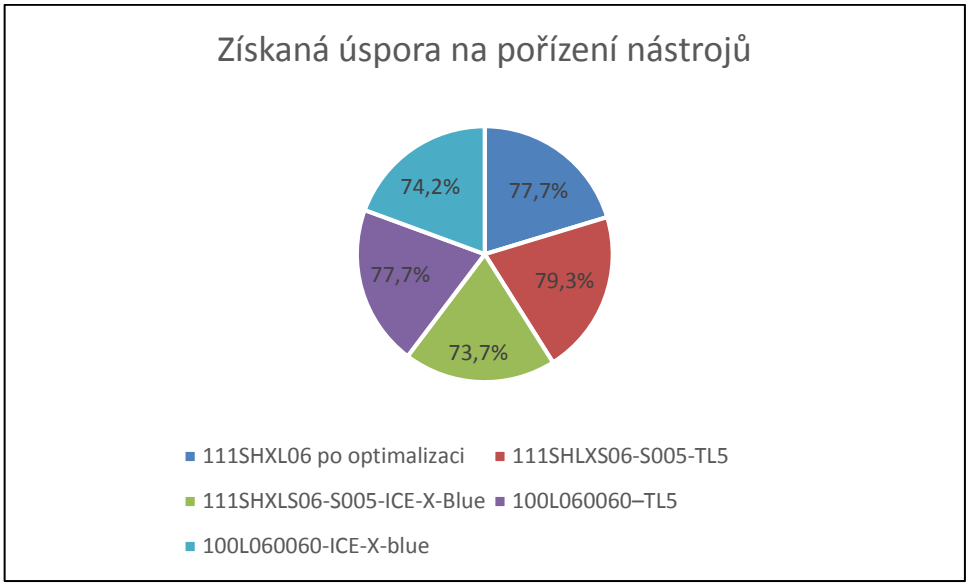


Graf 8 Celkové náklady pro jednotlivé nástroje pro rok 2018

Nástroj	Finanční úspora [€]
111SHXL06	0
111SHXL06 po optimalizaci	7998
111SHLXS06-S005-TL5	8162,4
111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue	7583,4
100L060060–TL5	7992,5
100L060060-ICE-X-blue	7634,9

Tab. 24 Finanční úspora

Ze získaných výsledků se jeví jako nejlepším řešením zavést do procesu nový nástroj s označením 111SHXLS06-S005-TL5, který dosáhl nejvyšší finanční úspory a vyhovoval kvalitě obrobeného povrchu. Porovnáním se současným stavem bylo dosaženo snížení nákladů v procentuálním zastoupení o 79,3 %. Pokud bereme v úvahu celkovou dobu výroby, na kterou byla zakázka získaná, můžeme se současnými požadavky výrobce očekávat finanční úsporu u jednoho robotu ve výši 57136,8 €. Přehled celkových nákladů na spotřebu jednotlivých nástrojů naleznete v grafu 8. Procentuální vyjádření finanční úspory na pořízení testovaných nástrojů naleznete v grafu 9.



Graf 9 Celkové náklady pro jednotlivé nástroje pro rok 2018

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo snížit celkové náklady na pořízení frézovacích nástrojů ve firmě ANTOLIN LIBAN. Na základě doporučení výrobcem fréz firmou HUSFSMIED bylo vybráno několik nástrojů s odlišným materiálovým složením a geometrií nástroje. Teoretická část této práce byla věnována popisu celého procesu výroby přístrojových desek.

V úvodu této práce bylo nejprve nutné analyzovat současný stav frézování přístrojových desek a provést optimalizaci procesu. Na základě specifických požadavků zákazníka byla stanovena metodika vyhodnocování, kterou byla zjištěna optimální trvanlivost frézovacích nástrojů. Testování bylo podrobeno několik druhů vybraných frézovacích nástrojů.

Nejdůležitější částí diplomové práce je navrhnout frézovací nástroj s nejvyšší trvanlivostí, provést jeho rozbor a následně ekonomicky zhodnotit.

Z naměřených výsledků a následných výpočtů uvedených v zhodnocení nástroje lze poukázat na toto:

1. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u frézy s označením 111SHXL06-S005-TL5, kde bylo dosaženo nejvyšší trvanlivosti nástroje a finanční úspory v hodnotě 8162 € pro rok 2018.
2. Slinuté karbidy v kombinaci s vhodně zvoleným povlakem mají pozitivní vliv na trvanlivost nástroje.
3. Největší vliv na opotřebení řezného nástroje má nosná část přístrojové desky obsahující skelná vlákna.

Hlavním přínosem této práce bylo snížení pořizovacích nákladů na nástroj. Získané poznatky budou aplikovány ve specifikaci strojů a nástrojů v první fázi přípravy nových projektů ve firmě ANTOLIN LIBAN. Předmětem dalšího výzkumu bude s ohledem na nový nástroj analýza vlivu řezných podmínek na trvanlivost nástroje.

Seznam použité literatury

[1] ABB, *IRB 2400: Industrial robot*. [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2400

[2] BILÍK, O. Obrábění II. (1.Díl): *Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.

[3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.;NOVÁKOVÁ , J.;PETŘKOVSKÁ, L.. *Technologie II – 2.díl. Ostrava :VŠB -TU- Ostrava,2008* . 122 s. ISBN 978-80-248-1641-8.

[4] ČSN ISO 8688.1 *Testovanie trvanlivosti pri frézovánie*. Nové Zámky: VUNAR, 1993.

[5] FRIMO Lotte GmbH, *Podnikový katalog*, [online], [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: http://www.frimo.com/cs/

[6] GAMIN s.r.o., *Technický list,* [online], [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.gamin.cz/

[7] GRUPO ANTOLIN s.r.o., *Podnikový prospekt* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.grupoantolin.com/

[8] HUFSCHMIED GmbH., *Katalog nástrojů* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.hufschmied.net/

[9] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing s.r.o, 2008. 235 s. ISBN: 8025422502

[10] IMT GmbH., *Podnikový prospekt*, [online], [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: http://www.imt.de/

[11] KOCMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.

[12] KROUPA, T. *Obrábění kompozitních materiálů: Diplomová práce.* Západočeská univerzita v Plzni 2014. 77s. [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/15058/1/DP_kveten23.5_zaloha.pdf

[13] LEICA GmbH, *Podnikový katalog*, [online], [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: https://www.leicamicrosystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20M80/Brochures/Leica_M50-M60-M80_Brochure_IND_EN.pdf

[14] LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1.

[15] MÁDL, J., JERSÁK, J., HOLEŠOVSKÝ, F., kol. *Jakost obráběných povrchů*. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 179 s. ISBN 80-7044-539-4.

[16] SABIC GmbH., *Materiálové listy*, [online], [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://www.sabic.com/

[17] SANDVIK Coromant, Sandviken: *Příručka obrábění*: *kniha pro praktiky*. Překlad Miroslav Kudela.-.vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6.

[18] SCHORNÍK, V. *Frézování rovinných ploch a drážek při obrábění kompozitního materiálu: Bakalářská práce.* Západočeská univerzita v Plzni 2013. 46s. [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/9325/1/Vaclav%20Schornik%20%20bakalarska%20prace.pdf

[19] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s. ISBN -.

Seznam obrázků

Obr. 1 Přístojová deska Kodiaq 13
Obr. 2 Průřez přístrojové desky 13
Obr. 3 Dveřní výplň 14
Obr. 4 Sušící zařízení 15
Obr. 5 Proces vstřikování 16
Obr. 6 Ožehnutí přístrojové desky 17
Obr. 7 Slush forma 18
Obr. 8 Naříznutí umělé kůže 19
Obr. 9 Dutina pěnicí formy, Obr. 10 Založené díly ve formě 20
Obr. 11 Zafixování přístrojové desky do tvarového lože 20
Obr. 12 Přístrojová deska po prostřihu materiálu 21
Obr. 13 Robotické pracoviště 22
Obr. 14 Jednobřitá fréza 22
Obr. 15 Montáž Airbagového kanálu a Držáku reproduktoru do přístrojové desky 23
Obr. 16 Montáž vzduchového kanálu do přístrojové desky 23
Obr. 17 Svařování komponent – první svařovací krok 24
Obr. 18 Svařování komponent – druhý svařovací krok 24
Obr. 19 Kompletace přístrojové desky 25
Obr. 20 Frézovací stanice 28
Obr. 21 Robot ABB IRB 2400/16 29
Obr. 22 Ovládací panel řídicího systému IRC5 30
Obr. 23 Ovládací panel řídicího systému IRC5 31
Obr. 24 Vřeteno HF-Eco 80 VA29 32
Obr. 25 Laserové odměřování CCD, Obr. 26 Zásobník fréz 33
Obr. 27 Stereomikroskop Leica M80 34
Obr. 28 Přístrojová deska Seat Ateca, Obr. 29 Přístrojová deska Škoda Kodiaq 34
Obr. 30 Přístrojová deska Škoda Karoq 35
Obr. 31 Pěnová vrstva 35
Obr. 32 Pohledová část přístrojové desky 36
Obr. 33 Fréza 111SHXL06 37
Obr. 34 Fréza 100L0600 38
Obr. 35 Teplota v průběhu frézování 39

Obr. 36 Materiálové vytrhnutí pěnové a vzhledové části 42
Obr. 37 Otřepy nosné části přístrojové desky..... 42
Obr. 38 Správně ofrézovaná linie kontury, Obr. 39 Spatně ofrézovaná linie kontury ... 42
Obr. 40 Poz. 1 pro jednobřitý nástroj, Obr. 41 Poz. 2 pro jednobřitý nástroj 43
Obr. 42 Poz. 1 pro dvoubřitý nástroj, Obr. 43 Poz. 2 pro dvoubřitý nástroj 43
Obr. 44 Fréza 111SHXL06 poz. 1, Obr. 45 Fréza 111SHXL06 poz. 2..... 45
Obr. 46 Fréza 111SHXL06 poz. 1, Obr. 47 Fréza 111SHXL06 poz. 2..... 47
Obr. 48 Fréza 111SHXL06-S005-TL5, Obr. 49 Fréza 111SHXL06-S005-TL5..... 49
Obr. 50 Fréza 111SHXLS06-ICE-X-Blue, Obr. 51 Fréza 111SHXLS06- ICE-X-Blue .. 51
Obr. 52 Fréza 100L060060-TL5, Obr. 53 Fréza 100L060060-TL5..... 53
Obr. 54 Fréza 100L060060–ICE-X-Blue, Obr. 55 Fréza 100L060060–ICE-X-Blue..... 55

Seznam tabulek

Tab. 1 Rozměry frézy 111SHXL06 37
Tab. 2 Rozměry frézy 100L060060 38
Tab. 3 Zvolené řezné podmínky 38
Tab. 4 Doba záběru nástroje v jednom pracovním cyklu 43
Tab. 5 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 44
Tab. 6 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 po optimalizaci 46
Tab. 7 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06-S005-TL5 47
Tab. 8 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue 49
Tab. 9 Trvanlivost nástrojů 100L060060-TL5 51
Tab. 10 Trvanlivost nástrojů 100L060060–TL5 53
Tab. 11 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 55
Tab. 12 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_1 56
Tab. 13 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 57
Tab. 14 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_2 57
Tab. 15 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 58
Tab. 16 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_3 58
Tab. 17 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 59
Tab. 18 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_4 59
Tab. 19 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 60
Tab. 22 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_5 60
Tab. 21 Současná spotřeba fréz na plánované objemy pro rok 2018 61
Tab. 22 Cenová kalkulace na plánovanou spotřebu nástrojů F_6 61
Tab. 23 Trvanlivosti použitých nástrojů 64
Tab. 23 Finanční úspora 65

Seznam grafů

Graf 1 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 45
Graf 2 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06 po optimalizaci 46
Graf 3 Trvanlivost nástrojů 111SHXL06-S005-TL5 48
Graf 4 Trvanlivost nástrojů 111SHXLS06-S005-ICE-X-Blue 50
Graf 5 Trvanlivost nástrojů 100L060060-TL5 52
Graf 6 Trvanlivost nástrojů 100L060060–ICE-X-Blue 54
Graf 7 Trvanlivost vybraných nástrojů 63
Graf 8 Celkové náklady pro jednotlivé nástroje pro rok 2018 64
Graf 9 Celkové náklady pro jednotlivé nástroje pro rok 2018 65