



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OPTIMALIZACE ŘEZNÉHO PROCESU PRO OBRÁBĚNÍ  
HLINÍKOVÉHO PROFILU NA CNC OBRÁBĚCÍM CENTRU**

OPTIMIZATION OF CUTTING PROCESS FOR MACHINING OF ALUMINIUM PROFILE ON CNC CENTRE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Ondřej Král**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Ondřej Král**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

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

## **Optimalizace řezného procesu pro obrábění hliníkového profilu na CNC obráběcím centru**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Diplomová práce je zaměřena na obrábění hliníkových profilů, především se jedná o výběr vhodných řezných nástrojů a jejich aplikaci na CNC obráběcím centru.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Charakteristika obráběného dílu.
2. Hliníkové slitiny a jejich využití.
3. Charakteristika řezných materiálů pro obrábění hliníkových slitin.
4. Návrh řezných nástrojů.
5. Techniko-ekonomické zhodnocení.

### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

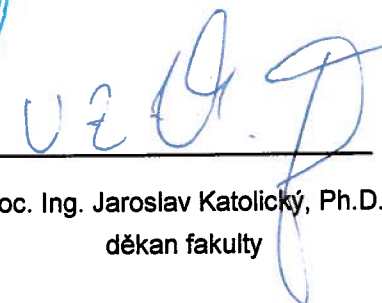
HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 31. 10. 2018



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem vhodných nástrojů pro frézování profilů z hliníkových slitin, určených ke konstrukci otvorových výplní a jejich aplikací na CNC obráběcí centrum pro zvýšení efektivity řezného procesu. V první části práce je uvedeno představení společnosti a pracovišť výroby hliníkových konstrukcí. Dále jsou uvedeny typizované výrobky sloužící pro identifikaci zkušebního profilu, který je součástí experimentálního ověření. Součástí práce je charakteristika hliníkových slitin a nástrojové materiály vhodné pro jejich obrábění. V druhé části práce je uvedena analýza současného stavu, návrh nových řezných nástrojů a jejich aplikace do procesu výroby. Technicko-ekonomické zhodnocení v závěru práce pojednává o časových i ekonomických úsporách aplikovaného návrhu.

### Klíčová slova

Hliníkové slitiny, nástroje, CNC obráběcí centrum, frézování, slinuté karbidy, HSS, profily

## ABSTRACT

This master's thesis deals with the suggestion of suitable tools for milling aluminum alloys profiles for the construction of aperture fillings and their application to a CNC machining center for increasing the efficiency of the cutting process. The first part of the thesis is focused on the description of the company and the workplace of production of aluminum alloys constructions. The following pages contain description of standardized products, which are used to identify the test profile that is part of the experimental verification. Next part of this thesis is characteristic of aluminum alloys and tool materials suitable for their machining. Second part of this work contains an analysis of the current state, suggestion of new cutting tools and their application to the production process. At the end of this thesis there is the technical-economic evaluation that deals with the time and economic savings of the applied design.

### Key words

Aluminum alloys, tools, CNC machining center, milling, sintered carbides, HSS, profiles

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRÁL, O. *Optimalizace řezného procesu pro obrábění hliníkového profilu na CNC obráběcím centru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 90 s. Vedoucí diplomové práce. Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Optimalizace řezného procesu pro obrábění hliníkového profilu na CNC obráběcím centru** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Ondřej Král

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a vstřícný přístup při zpracování diplomové práce. Děkuji také vedení společnosti SULKO za poskytnutí možnosti zpracování této práce a Ing. Petrovi Závodnému a Ing. Petrovi Fišnarovi za jejich podporu při realizaci. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za jejich psychickou podporu po celou dobu mého studia.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	9
1 CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉHO DÍLU .....	10
1.1 Popis společnosti.....	10
1.2 Divize hliníkových konstrukcí .....	10
1.3 THP pracoviště.....	11
1.4 Výroba hliníkových konstrukcí.....	11
1.4.1 Vstupní sklad profilů .....	12
1.4.2 Dvoukotoučová pokosová pila Elumatec DG 244.....	13
1.4.3 Obráběcí centrum SBZ 140 .....	14
1.4.4 Příprava.....	17
1.4.5 Kování.....	18
1.4.6 Osazování těsnění a lišt.....	19
1.4.7 Výstupní kontrola .....	20
1.4.8 Sklad kování .....	20
1.4.9 Expedice.....	21
1.5 Typizace prvků.....	21
1.5.1 Hliníkové dveře.....	22
1.5.2 Hliníková okna.....	24
1.5.3 Zdvíže posuvné dveře .....	25
1.5.4 Fasádní systémy .....	26
1.5.5 Protipožární prvky .....	27
1.6 Profilové série .....	28
1.7 Popis obráběného dílu .....	30
2 HLINÍKOVÉ SLITINY A JEJICH VYUŽITÍ .....	32
2.1 Neželezné kovy a jejich slitiny .....	32
2.1.1 Rozdělení slitin neželezných kovů .....	32
2.2 Slitiny hliníku.....	33
2.2.1 Slitiny hliníku vhodné pro tváření .....	34
2.2.2 Slitiny hliníku vhodné pro odlévání.....	35
2.3 Technologické vlastnosti hliníkových slitin: .....	36

2.3.1	Obrobitelnost .....	36
2.3.2	Tvárnost .....	36
2.3.3	Svařitelnost .....	37
2.4	Mechanické vlastnosti hliníkových slitin .....	38
2.5	Chemické složení slitin hliníku .....	38
2.6	Tepelné zpracování hliníkových slitin .....	39
2.7	Označení hliníkových slitin.....	40
2.8	Využití hliníkových slitin.....	40
2.8.1	Hliníkové slitiny v dopravním průmyslu .....	41
2.8.2	Hliníkové slitiny ve stavebnictví .....	42
2.8.3	Hliníkové slitiny ve strojírenství.....	42
3	CHARAKTERISTIKA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ PRO OBRÁBĚNÍ AL SLITIN .	43
3.1	Obrobitelnost materiálu.....	43
3.2	Trvanlivost nástroje.....	45
3.3	Řezivost nástroje .....	46
3.4	Nástrojové materiály .....	47
3.4.1	Rychlořezné nástrojové oceli (HSS).....	48
3.4.2	Slinuté karbidy (SK) .....	49
3.4.3	Polykrystalický diamant (PD).....	51
3.5	Procesní kapaliny pro obrábění AL slitin.....	52
4	NÁVRH VHODNÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ .....	53
4.1	Původní skladba nástrojů .....	53
4.2	Návrh nových řezných nástrojů .....	56
4.2.1	Řezné nástroje společnosti Elumatec.....	56
4.2.2	Řezné nástroje společnosti BO-IMPORT .....	57
4.2.3	Řezné nástroje společnosti K-TOOLS.....	57
4.2.4	Řezné nástroje společnosti Dormer Pramet .....	58
4.3	Aplikace nových řezných nástrojů .....	58
4.4	Experimentální verifikace .....	60
4.4.1	Technologické postupy .....	60
4.4.2	Výpočet strojních časů frézování.....	63
4.4.3	Porovnání kvality obrobeného povrchu .....	71
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	73
5.1	Náklady na provoz CNC obráběcího centra.....	73
5.2	Pracovní náklady .....	74



5.2.1	Náklady na strojní práci .....	74
5.2.2	Náklady na vedlejší práci .....	75
5.2.3	Shrnutí pracovních nákladů .....	75
5.3	Náklady na nástroje .....	75
5.3.1	Trvanlivost nástrojů .....	76
5.3.2	Podíl čistého času frézování .....	76
5.3.3	Počet obrobených kusů během jedné trvanlivosti .....	77
5.3.4	Náklady na nástroj a jeho výměnu .....	77
5.4	Celkové operační náklady .....	78
5.4.1	Operační náklady obrábění na CNC stroji na jeden kus .....	79
5.4.2	Operační náklady obrábění na CNC stroji při sériové výrobě .....	80
ZÁVĚR .....		82
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....		83
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....		86

## ÚVOD

Pro zvýšení pravděpodobnosti úspěchu společnosti a udržení konkurenceschopnosti na trhu, je nutné se vyrovnat se stále se zvyšujícími požadavky zákazníků. V současné době jsou společnosti čím dál více zaměřeny na zvyšování produktivity výrobního procesu a snižování výrobních časů s orientací na vysokou kvalitu produktu. Záměrem je dodání kvalitních výrobků v co nejkratším čase. Zvyšováním počtu vyrobených produktů během co nejkratšího časového intervalu stoupá efektivita výrobního procesu, čímž je zvyšován také zisk společnosti. Mezi další záměry patří snižování výrobních nákladů se zárukou vysoké kvality výrobků.

Diplomová práce je zpracována ve společnosti SULKO se sídlem v Zábřehu, zabývající se výrobou plastových a hliníkových otvorových výplní. Mezi nejčastěji konstruované prvky patří dveře, okna, zdvižně posuvné dveře či fasádní systémy. Cílem práce je zvýšení produktivity řezného procesu na CNC obráběcím centru ve výrobě hliníkových konstrukcí. Součástí výroby jsou tři sklady a pět výkonných pracovišť, z nichž bylo CNC obráběcí centrum identifikováno jako úzké místo výroby. Na daném pracovišti není maximálně využit strojní potenciál týkající se řezného procesu při frézování otvorů v profilových tyčích z hliníkových slitin. Jedním z důvodů je využívání jednoho nástroje z HSS oceli na většinu frézovacích operací. Frézované otvory slouží ke složení konstrukce a pro osazení funkčních prvků kování.

Návrhem vhodných řezných nástrojů a jejich aplikací je možné zvýšení efektivity řezného procesu. Předpokladem přínosů je vyšší produktivita práce CNC obráběcího centra, zkrácení strojních časů procesu frézování, zvýšení kvality hran frézovaných otvorů, trvanlivosti nástrojů a snížení počtu výměn nástrojů společně se snížením spotřeby řezných kapalin. Snížením kvality obrobenech hran je možné ušetření manuálních činností v pozdějším stádiu výroby.

Pro identifikaci ekonomických i časových úspor v souvislosti s navrženou skladbou nástrojů, slouží zkušební profil z hliníkové slitiny určený pro výrobu dveří, jejichž výskyt je ve výrobě hliníkových konstrukcí nejčastější. Frézovací operace jsou zaměřeny na otvory s nejčtetnějším výskytem u dveří z profilů hliníkových slitin.

# 1 CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉHO DÍLU

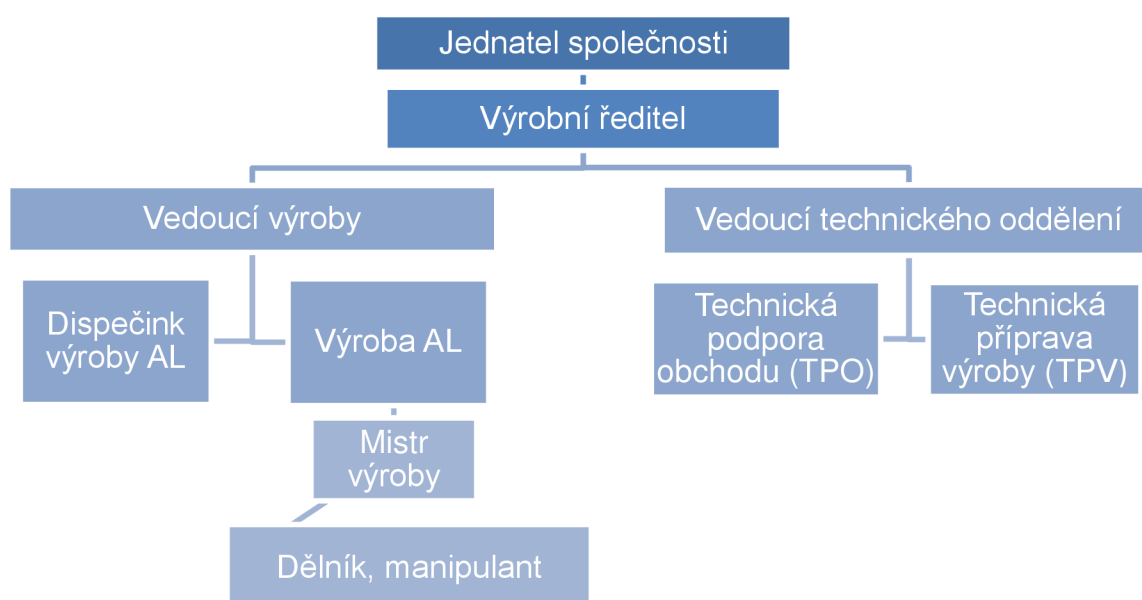
Před popisem obráběného dílu, je nejdříve představena společnost SULKO a výroba hliníkových konstrukcí. Následuje popis výrobků a využívané profilové série ve výrobě. Na závěr této kapitoly je charakterizován obráběný profil a příslušné frézované otvory.

## 1.1 Popis společnosti

Společnost SULKO byla založena panem Liborem Suchánkem roku 1993. Od tohoto roku se společnost zabývá výrobou plastových oken s výrobou umístěnou v Rovensku. Roku 1997 byla výroba přestěhována do Zábřehu, kde byla o rok později vybudována moderní linka pro výrobu plastových oken. V roce 2000 se společnost zařadila mezi pět největších výrobců se specializací na výrobu oken. Další výrobní halu vybudovala společnost v roce 2001. V roce 2005 společnost expandovala a došlo k rozšíření sortimentu o hliníková okna a dveře (dále jen výroba AL). Dalším rozšířením o výrobní kapacity a výrobní linku došlo roku 2007. V roce 2013 došlo ke stěhování a společnost SULKO byla přemístěna do nových výrobních prostorů v Zábřehu. Výrobní prostory a kapacity divize hliníkových konstrukcí byly rozšířeny v roce 2015 a zároveň byl zvýšen objem výroby [1].

## 1.2 Divize hliníkových konstrukcí

Výroba AL je zaměřena na výrobu konstrukcí z profilů hliníkových slitin. Organizační struktura, týkající se divize hliníkových konstrukcí je zobrazena na obr. 1.1. Pro plynulý chod výroby je nutné zajištění dostatečného počtu pracovníků. Mimo výrobní pracovníky se pak jedná také o technickohospodářské (THP) pracovníky.



Obr. 1.1 Organizační struktura divize AL [2].

### 1.3 THP pracoviště

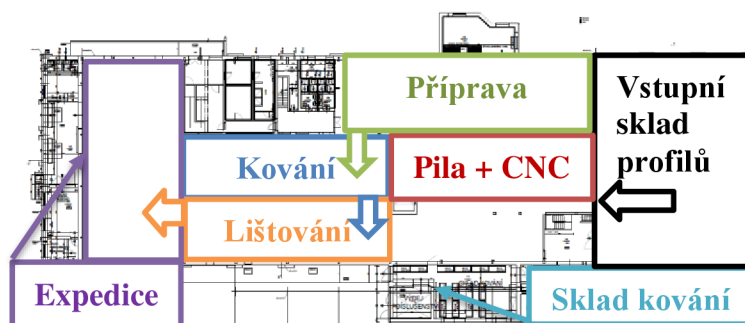
Oddělením odpovědným za plynulý chod výroby je dispečink výroby AL. Mezi další povinnosti spadá komunikace napříč celou společností, tisk a předávání výrobních dokumentací výrobě společně s poskytováním informací o standardních i nestandardních stavech, které mohou ovlivnit chod výroby. Pracovníky dispečinku výroby AL jsou obstarávány materiálové zásoby pro výrobu AL prostřednictvím objednávek materiálu. Vytížení výroby je řízeno kapacitním plánováním výroby. V závislosti na potvrzené termíny subdodávek materiálu jsou stanovovány výrobní termíny a termíny dokončení výroby.

Výrobní proces je výrazně ovlivněn kvalitou podkladů od technického oddělení AL, které je složeno ze dvou pracovišť. Technická podpora obchodu (TPO) zajišťuje konstrukční provedení výrobků v souladu se zadávací dokumentací u jednotlivých projektů a tvorbu cenových kalkulací. U návrhu konstrukce je nezbytné, aby byly splněny veškeré statické podmínky, bezpečnostní normy a výsledná konstrukce odpovídala zadání projektu a katalogovému řešení dodavatele systému.

Druhou částí technického oddělení je technická příprava výroby (TPV). Úkolem oddělení TPV je příprava konstrukčního řešení pro výrobu a následná kontrola vyrobitelnosti. Pod činností TPV spadá zpracování výrobních dokumentací, seznamů pro jednotlivé výrobní sklady určené k vyskladnění materiálu do výroby, vytvoření podkladů pro materiálové zásobení výroby, kontrola ekonomických aspektů výroby konstrukcí a správného technického řešení, dle předepsaných konstrukčních postupů a katalogových předpisů dodavatele systému. Mezi další činnosti oddělení TPV patří příprava obráběcích programů pro pokosovou pilu a CNC obráběcí centrum [3].

### 1.4 Výroba hliníkových konstrukcí

Výroba hliníkových konstrukcí je umístěna v Zábřehu, v areálu společnosti SULKO. Jednotlivá výrobní pracoviště jsou řazena dle technologického toku materiálu. Výroba je označována jako malosériová, v některých případech i jako kusová. Vstupní materiál pro výrobu v podobě AL profilů je postupně nadělen, obroben na CNC obráběcím centru, poté následuje tvorba konstrukcí prostřednictvím skládání profilů. Složené konstrukce jsou dále osazeny kováním, těsněním, případně dalšími komponenty. Finální konstrukce je zkontrolována výstupní kontrolou, zabalena, uložena na paletu a expedována. Plán výroby AL je zobrazen na obr. 1.2. Za kvalitu a průběh zakázky výrobou je zodpovědnou osobou mistr výroby.

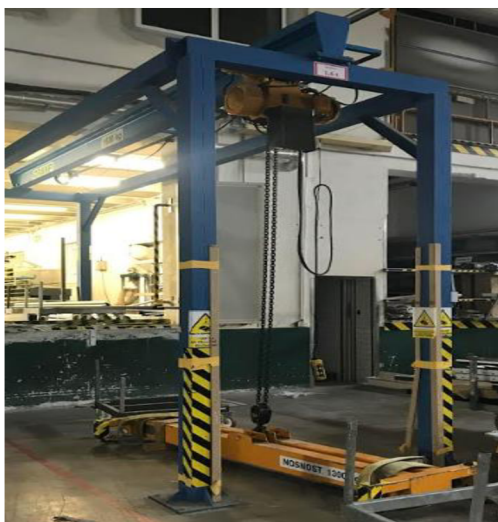


Obr. 1.2 Schéma výroby AL [2].

### 1.4.1 Vstupní sklad profilů

Proces výroby AL konstrukcí má svůj začátek ve vstupním skladu AL profilů. Profily jsou od dodavatele dováženy v pravidelných týdenních intervalech. Standardní profilové tyče jsou délky 6,8 m. Pracovník skladu kontroluje stav fyzicky dodaného materiálu dle přiloženého dodacího listu. Před objednávkou materiálu, jsou dle připravených objednávkových souborů kontrolovány profily, které nebyly využity v předchozích zakázkách. Jedná se o profily, které nebyly na pile zpracovány v celé své délce.

Hlavní povinností pracovníka skladu je doprava materiálu do výroby za pomoci zdvihadla (obr. 1.3), dle výrobního seznamu zakázek. Profily jsou připraveny na palety dle optimalizačního listu (viz obr. 1.4). Před uložením profilu na paletu musí být u každého profilu zkontrolována jeho kvalita, aby bylo zabráněno výrobě neshodného kusu. Profilové tyče musí být polepené krycí páskou z pohledových stran, aby nedocházelo k poškození během výrobního procesu. Páska na profilu zůstává nalepená po celou dobu procesu výroby, až do finální montáže prvku na stavbě.



Obr. 1.3 Zdvihadlo.

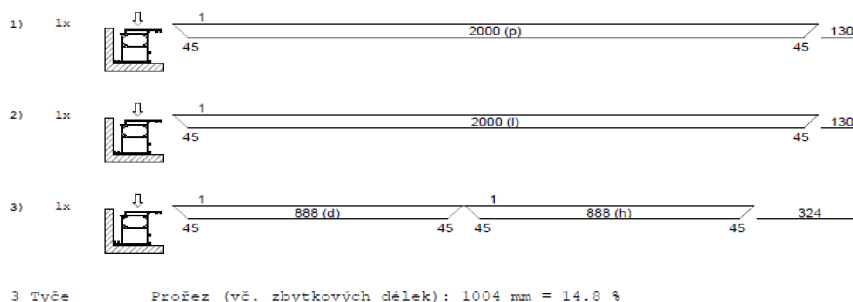
#### Optimalizace

Zpracovatel: admin

Strana : 1  
Datum : 3/28/2019  
Čas : 15:27  
Projekt Náz: test\_nastroje  
Složka: admin\

Přířezové a úhlové nastavení odpovídá nastavení pily DG244.

Aluprof K518114 2260-8, Křídlo dveří 72 mm, -8 RAL 7016, Řádek datové věty pro pilu = 1:  
Délka tyče: 2260 mm Výška průřezu: 93 mm



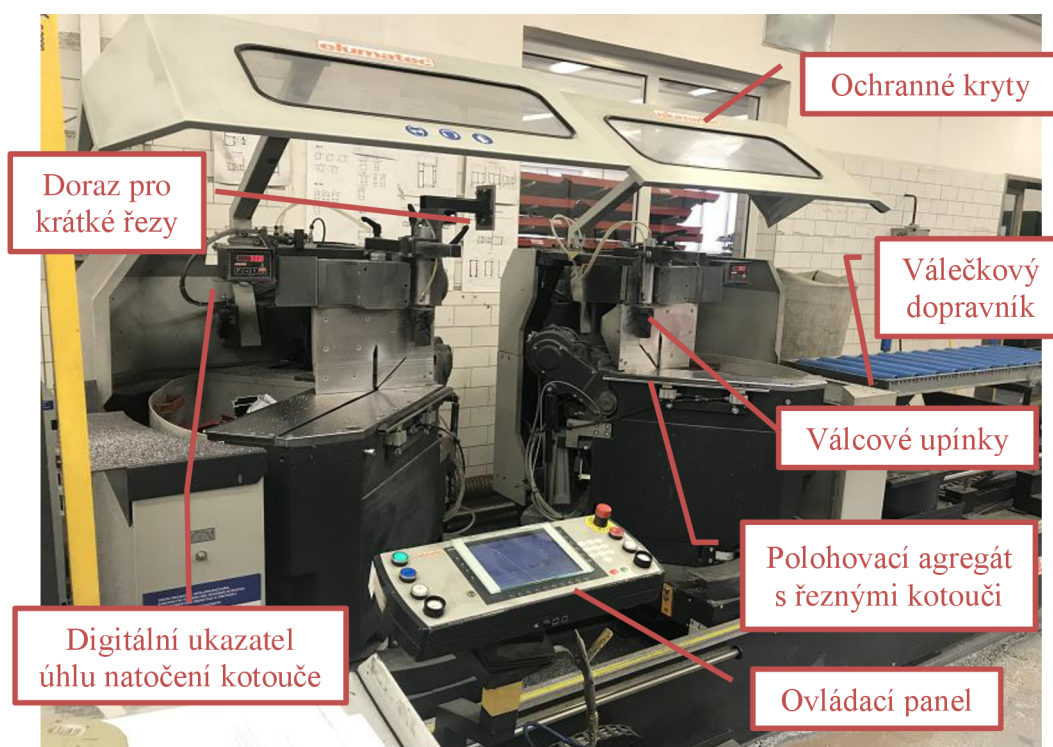
Obr. 1.4 Náhled optimalizačního listu [2].

### 1.4.2 Dvukotoučová pokosová pila Elumatec DG 244

K dělení profilových tyčí je k dispozici dvukotoučová pokosová pila Elumatec DG 244. Dělení profilů probíhá dle připraveného programu od oddělení TPV. Řez na pile je proveden pomocí dvou řezných kotoučů, umožňující automatického nastavení úhlu řezu. Technická data pily jsou zobrazena v tab. 1.1 [4]. Nejčastějším druhem dělení profilu jsou řezy pod úhlem 45 ° a 90 °. Součástí pily je válečkový dopravník umožňující posun profilové tyče k řezným kotoučům. Pila je obsluhována ovládacím panelem. Pro krátké řezy, které není možné vykonat na dvou kotoučích zároveň, je k dispozici doraz. Popis pily je zobrazen na obr. 1.5.

Tab. 1.1 Technické parametry dvukotoučové pokosové pily SBZ 140 [4].

Vlastnosti	Elumatec DG 244
Minimální řezná délka (90 ° a 45°)	375 mm
Pneumatický rozsah otáčení řezných kotoučů	Směrem dovnitř 90 ° - 45 °
Manuální rozsah otáčení řezných kotoučů	Směrem dovnitř až 22,5 ° Směrem ven až: 140 °
Průměr pilového kotouče	550 mm
Rychlost pilového kotouče	2 250 min <sup>-1</sup>
Zdroj napájení	230/400 V, 50 Hz
Výkon motoru	4 kW
Přívod stlačeného vzduchu	7 bar
Spotřeba vzduchu na pracovní cyklus	Bez postřiku: 40 l S postřikem: 64 l



Obr. 1.5 Popis pracovní stanice pily.

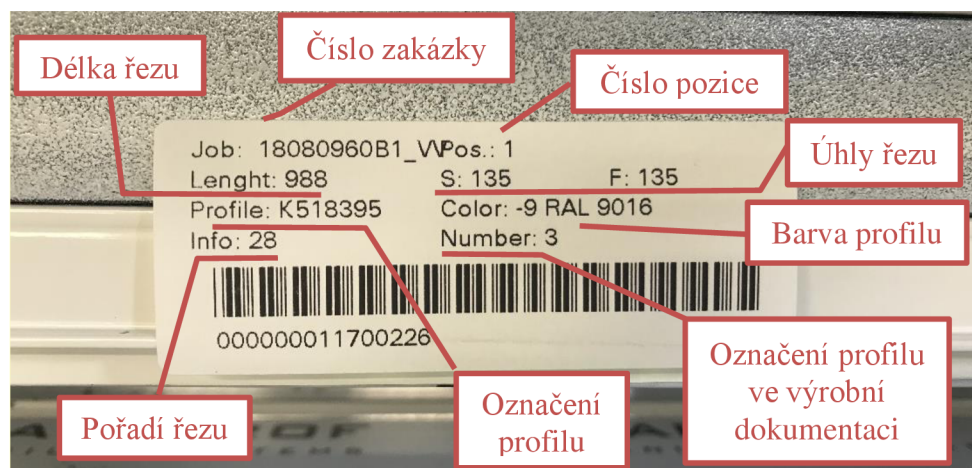
Profily připravené na paletě jsou uloženy dle pořadí v nářezové optimalizaci, pro snadnější manipulaci pro obsluhu stroje. Profilová tyč je upnuta pomocí automatických válcových upínek (obr. 1.6). Ochranný kryt slouží k ochraně obsluhy před případnými úlomky. Vytištěná etiketa po dokončeném řezu slouží k identifikaci profilu. Profily určené k frézování na CNC obráběcím centru jsou označeny etiketou s čárovým kódem. U profilů s etiketou bez čárového kódu není přiřazeno žádné frézování. Nařezané a identifikované profily jsou uloženy do pojízdného zakladače (obr. 1.7), sloužící pro přepravu profilů po výrobních prostorech. Na obr. 1.8 je popsán identifikační štítek.



Obr. 1.6 Upnutý profil při průběhu řezu.



Obr. 1.7 Pojízdný zakladač pro nařezané profily.



Obr. 1.8 Popis identifikačního štítku.

### 1.4.3 Obráběcí centrum SBZ 140

Na čtyřosém vertikálním CNC obráběcím centru Elumatec SBZ 140 (viz obr. 1.9) je obráběna většina otvorů, usnadňující práci na dalších pracovištích výroby. Obráběcí centrum má k dispozici dvě pracovní stanice umožňující kyvadlový pracovní postup. Při průběhu frézování kusu na jedné pracovní stanici, je možná příprava dalšího kusu na druhé pracovní stanici. Pro frézování dlouhého kusu (až do délky 7,6 m) je možné upnutí profilové tyče přes obě pracovní stanice. Technické parametry jsou zobrazeny v tab. 1.2 [4].



Obr. 1.9 CNC obráběcí centrum.

Tab. 1.2 Technické parametry CNC obráběcího stroje [4].

Vlastnosti	Elumatec SBZ 140
Maximální délka obráběného dílce	7 600 mm
Maximální rychlost pohybu osy X	65 m/min
Maximální rychlost pohybu osy Y	60 m/min
Maximální rychlost pohybu osy Z	60 m/min
Úhel natočení A-osy	0 °-180 °
Maximální otáčky vřetena	24 000 min <sup>-1</sup>
Výkon vřetena	11 kW
Přívod stlačeného vzduchu	7 bar
Zdroj napájení	400 V, 50 Hz, 63A

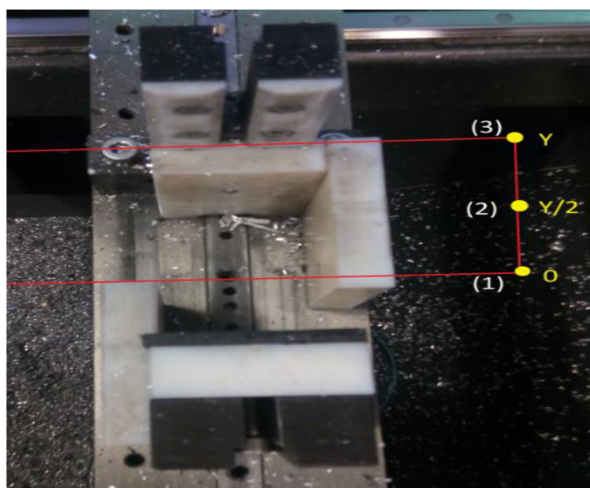
K operacím frézování a vrtání je v hlavním zásobníku k dispozici celkem 8 nástrojů. Dále je možné využití vedlejšího nástrojového zásobníku, umístěného u základní polohy stroje. Tento zásobník obsahuje méně často využívané nástroje. Pro ochranu a zamezení přístupu osob během chodu stroje, jsou k dispozici světelné závory, které je nutné pro spuštění frézovací operace aktivovat nožním pedálem. Proces frézování je ovládán a spouštěn za pomoci PC propojeného s obráběcím centrem. Technologický postup pro pracovníka CNC obráběcího centra zobrazen v tab. 1.3.



Tab. 1.3 Technologický postup obsluhy CNC obráběcího centra.

č.	Pracoviště	Popis práce	Nástroj
1	SBZ 140	Načíst CNC program z identifikační etikety Zvolit pracovní stanic Zvolit kontrolní bod pro měření délky profilu	Čtečka čárových kódů PC
2	SBZ 140	Spustit automatické rozmístění upínek dle délky profilu Upnout profil pomocí upínek	Pogumovaná palička
3	OTK	Kontrola správného upnutí (kolmost, dorazové plochy, uchopení) Kontrola načteného profilu Spustit světelnou závoru Kontrola délky profilu $\pm 1$ mm Četnost 10 %	Měřicí zařízení SBZ 140
4	SBZ 140	Spustit CNC program Frézovat definované otvory	Nástroj dle druhu operace
5	SBZ 140	Uvolnit upínky, otočit profil o $180^\circ$ , upnout profil Spustit program frézování Frézovat definované otvory	Pogumovaná palička Nástroj dle druhu operace
6	SBZ 140	Uvolnit upínky, vyjmout profil Očistit od třísek	Stlačený vzduch
7	OTK	Vizuálně zkontrolovat, četnost 100 % Založit do pojízdného regálu	

Pro měření délky profilu je nutná volba umístění měřicího senzoru. Měření délky profilu probíhá na ose X. Pro samotné měření je nutná volba umístění měřicího senzoru na ose Y. Na výběr je ze tří možností, v závislosti na umístění nejvzdálenějšího bodu. Jednotlivé volby umístění měřicího čidla jsou zobrazeny na obr. 1.10. V případě, že není nutné měření délky profilu, je možná volba možnosti (0), tedy žádné měření.



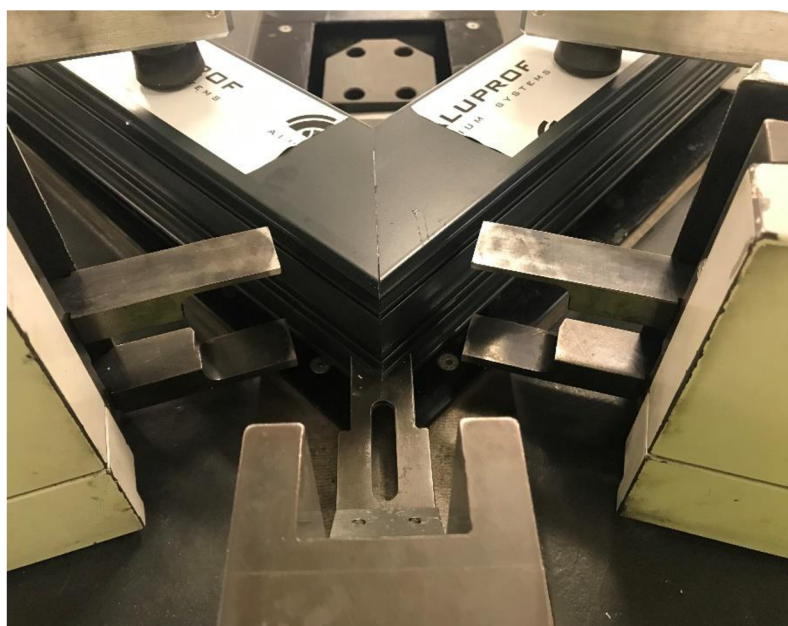
Obr. 1.10 Zobrazení možností umístění volby měření.

#### 1.4.4 Příprava

Tvorba konstrukcí probíhá na pracovišti přípravy a spočívá ve spojování dělených profilů. Při skládání profilů se pracovník řídí výrobní dokumentací a identifikačními štítky. Pro spojování profilů jsou v současné době využívány dva různé způsoby. Prvním způsobem je lisování rohů, kdy jsou využívány dělené profily pod úhlem 45 °. Profily jsou spojovány pomocí dvousložkového lepidla určeného ke spojování hliníkových profilů a vložek z hliníkové slitiny. Vlastnosti využívaných lepidel jsou zobrazeny v tab. 1.4 [5, 6]. Tvar, velikost a umístění vložek se liší dle jednotlivých profilových sérií. Spojení konstrukce probíhá pomocí tlačných nožů, které jsou součástí rohového lisu. Náhled tvorby spoje je zobrazen na obr. 1.11. Veškeré řezné hrany musí být před spojením chemicky ošetřeny. Poskládané hliníkové konstrukce jsou očištěny a uloženy na předem určená místa, kde jsou dle technologických předpisů ponechány po nutnou dobu vedoucí k vytvoření fixního nerozebíratelného spoje.

Tab. 1.4 Srovnání vlastností lepidel určených pro spojování hliníkových konstrukcí [5, 6].

Vlastnosti	Typ 1	Typ 2
Hustota	cca 1,52 g/cm <sup>3</sup>	cca 1,51 g/cm <sup>3</sup>
Tvrdość Shore	85 Shore D	85 Shore D
Viskozita (při 20 °C)	nízkoviskózní	nízkoviskózní
Poměr mixování složek lepidla (A:B)	1:1	1:1
Doba zpracovatelnosti po aplikaci lepidla	cca 60 min	cca 5 min
Doba dosažení provozní pevnosti	cca 6 hod	cca 20 min
Doba vytvrzování do 75 % finální pevnosti	cca 24 hod	cca 3 hod
Doba vytvrzování do finální pevnosti	cca 7 dní	cca 1 den
Minimální pracovní teplota	Od +7 °C	Od +7 °C



Obr. 1.11 Připravená konstrukce k lisování.

Dalším druhem tvorby konstrukcí je spojování profilů dělených kolmým řezem (na 90 °). Jednotlivé profily jsou vzájemně připojeny pomocí zádržných spojek. Náhled spoje je zobrazen na obr. 1.12. Veškeré mezery a drážky mezi spojkou a profilem musí být dostatečně izolovány. V případě, že je jedna strana profilu delší, je nutné ofrézování profilu, které probíhá na vyřezávací pile (obr. 1.13). Řez probíhá dvěma řeznými kotouči (vodorovný a svislý), u kterých je možné nastavení úhlu jejich natočení. Šířka ofrézovaného profilu je závislá na zvoleném profilovém systému. Na pracovišti přípravy jsou dále do komor profilů vkládány izolační materiály, výztužné profily či další komponenty, jejichž vložení po spojení konstrukcí není po složení konstrukce možné.



Obr. 1.13 Princip osazení profilů dělených na 90 °.



Obr. 1.12 Vyřezávací pila Elumatec AKS 134.

#### 1.4.5 Kování

Na následujícím pracovišti jsou konstrukce osazeny kováním. Všechny potřebné informace jsou pracovníkovi k dispozici ve výrobní dokumentaci. Před začátkem procesu osazování kování je nutná kontrola všech komponent kování, vizuální kontrola vzhledu konstrukce a odstranění otřepů u vyfrézovaných otvorů pomocí ručního odjehlovače. Každý pracovník má přiřazen svůj vozík určený pro skladování nářadí (viz obr. 1.14).



Obr. 1.14 Vozík na nástroje pro pracoviště kování.

U vstupních dveří (dále jen VD) jsou mezi standardní druhy kování řazeny komponenty jako např. zámek (1bodový nebo vícebodový), protikusy zámku, dveřní závěsy povrchové či skryté, povrchové garnitury (klika/klika, koule/klika), zámková vložka, práh, podkladový profil, případně „štulpová“ rozvora u VD s dvěma křídly. U okenních prvků je nejčastěji osazováno celoobvodové kování, povrchové či skryté závěsy, klika a podkladový profil. V některých případech jsou na prvky osazovány doplňkové profily. AL prvky jsou vyznačovány svou variabilitou a z tohoto důvodu je možné osazení stejného prvku různými druhy kování.

#### 1.4.6 Osazování těsnění a lišt

Výroba prvku je dokončena, jakmile je osazena těsněním a lištami. Osazování těsnění a lišt probíhá v blízkosti pracoviště kování. Prvky jsou uloženy na kovových podpěrách (viz obr. 1.15) a přístup k nim mají jak pracovníci kování, tak pracovníci lištování. Ve výrobní dokumentaci jsou k dispozici informace týkající se použitého druhu těsnění u konstrukce. Standardní těsnění je uloženo na pojízdných otočných zásobnících (obr. 1.16). Těsnění je možné osadit obvodově, tzn. těsnění v jednom kuse po celém obvodu prvku. Případně je těsnění osazováno jednotlivě na strany konstrukce a seříznuté části jsou spojovány vulkanizačním lepidlem. Způsob osazení těsnění a jeho druh musí být striktně v souladu s předpisy dodavatele systému.



Obr. 1.15 Kovové podpěry pro stabilizaci prvku.



Obr. 1.16 Pojízdné zásobníky s těsněním.

Zasklívací lišty jsou určeny k osazení po vložení skla do konstrukce. Ve většině případů jsou osazovány z interiéru. Ve výrobě jsou lišty nařezány dle skutečného rozměru konstrukce. Princip měření délky řezu spočívá v měření průhledu konstrukce bez osazených zasklívacích lišt, ke kterému je využívána elektronická měřicí tyč (obr. 1.17). Naměřené hodnoty jsou uchovávány v uložení měřicí tyče a následně přeneseny do ovládacího zařízení pily pro zasklívací lišty, kde je obsluhou proveden řez. Následujícím krokem je osazení lišty do konstrukce. Pro přepravu jsou lišty zajištěny lepicí páskou.



Obr. 1.17 Elektronická měřicí tyč.

#### 1.4.7 Výstupní kontrola

Před expedicí musí být u všech prvků provedena výstupní kontrola. Vizuálně jsou kontrolovány všechny pohledové části prvku, spoje prvku a lišt, těsnění, barva prvku a příslušenství, certifikovaná označení a případná další označení. Z funkčního hlediska je kontrolována správnost konstrukce dle výrobní dokumentace. Dále jsou zkoušeny všechny funkční části kování, elektronické prvky či atypické komponenty. Kontrolována je i výrobní dokumentace, kde je nutné, aby byl proveden záznam u všech mezioperačních kontrol. Případnou vadu je nezbytné bez prodlení odstranit. Zkontrolovaný prvek je zabalen balicí fólií a povrchové kování je chráněno pomocí pěnových vložek. Zabalený prvek je spolu s ostatními prvky uložen na paletu, případně skly a expedován. Odpovědnou osobou za výstupní kontrolu je mistr výroby a jím pověřený zástupci.

#### 1.4.8 Sklad kování

Tento sklad je určen pro skladování komponent pro pracoviště kování. Komponenty objednané na konkrétní zakázky jsou dodávány od subdodavatelů v pravidelných intervalech. Kování k zakázkám je ukládáno do plastových nádob označených číslem zakázky (obr. 1.18). Nádoby s kování jsou přeneseny na pracoviště kování. Před objednáním materiálu k zakázkám jsou kontrolovány skladové zásoby. Pracovník skladu kování má na starost hlídání skladových zásob režijního materiálu a jeho doplňování. Na stavbu je zaslán společně s prvky také příbalový materiál. Krabice příbalu zobrazena na obr. 1.19. Materiál na pracoviště kování i příbalový materiál je připravován dle skladových seznamů vytvořených oddělením TPV AL.



Obr. 1.18 Materiál pro pracoviště kování.



Obr. 1.19 Příbalový materiál.

### 1.4.9 Expedice

Na pracovišti expedice jsou skladovány všechny prvky určené k převozu na stavbu. V naplánovaném termínu expedice jsou palety s prvky naloženy na přepravní vůz a expedovány na příslušnou stavbu. Je nutné zajištění bezpečného uložení prvků na paletě. Důležité je také zajištění kompletnosti zakázky, tedy aby byla zajištěna expedice správného počtu prvků, skel, výplní a příbalového materiálu. Paleta s naloženými prvky je zobrazena na obr. 1.20.

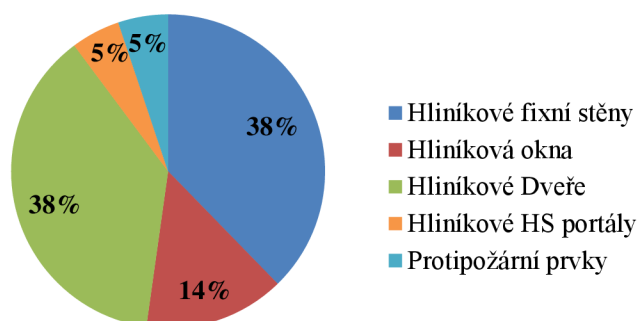


Obr. 1.20 Expediční paleta s prvky.

Na expedici je dále umístěno pracoviště pro tvorbu plných výplní. Jedná se o výplně, které jsou složeny z kombinace hliníkových plechů a desky z extrudovaného polystyrenu. Dělení plechů probíhá na tabulových nůžkách, dle nářezové optimalizace plechů připravené oddělením TPV. Formátované plechy jsou nalepeny na obě strany samolepící desky z extrudovaného polystyrenu.

### 1.5 Typizace prvků

V této podkapitole jsou popsány typy konstrukcí, konstruované z profilů hliníkových slitin. Jedná se zejména o dveře, okna, fixní stěny, zdvižně-posuvné prvky či protipožární prvky nebo fasádní systémy. Přibližné grafické vyjádření zastoupení typů prvků ve výrobě lze pozorovat na obr. 1.21. Z vyjádření lze pozorovat, že největší část výroby tvoří právě vstupní dveře a fixní stěny (typ oken).

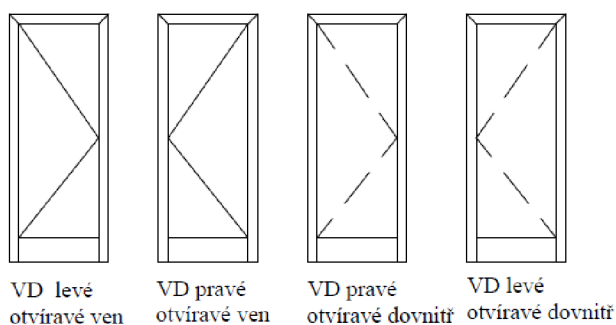


Obr. 1.21 Grafické vyjádření typu prvků ve výrobě AL.

Výhodou hliníkových prvků je zejména pevnost jejich konstrukce, vzhled, odolnost, dlouhá životnost, vysoká kvalita, tepelná a tvarová stabilita a zároveň bezpečnost celého prvku. AL prvky se od plastových prvků liší např. vyššími hodnotami tepelně izolačního charakteru. Dalším rozdílem a zároveň výhodou, je výroba konstrukcí velkých rozměrů a rozšířená možnost volby barevné povrchové úpravy [7, 9].

### 1.5.1 Hliníkové dveře

Výhodou AL dveří je možnost volby specifických komponentů. Vhodné využití pro hliníkové dveře jsou objekty, s vysokou frekvencí procházejících osob. Jedná se zejména o veřejné budovy, úřady, školy či zdravotnická zařízení. Dveře jsou děleny jednokřídlé nebo dvoukřídlé. Další variantou jsou dveře s bočními světlíky, případně nadsvětlíky. Jedná se fixní pole po stranách vedle VD nebo nad otvíravým prvkem. Základní rozdělení dveří dle orientace otevírání dveří je zobrazeno na obr. 1.22 [7, 8].



Obr. 1.22 Orientace otevírání jednokřídlých dveří.

Mezi základní výbavu VD patří zámek (jednobodový nebo vícebodový). Standardní výbavou je 3bodový hákový zámek. Alternativní možností je osazení samozamykacího automatického, či elektronického zámku. Zvláštním druhem je zámek plnicí panikovou funkcí. Tento zámek je nejčastěji využíván v místech, kde se nachází úniková trasa. Panikové zámky lze ze zamčeného stavu z jedné strany otevřít bez klíče. Zámky

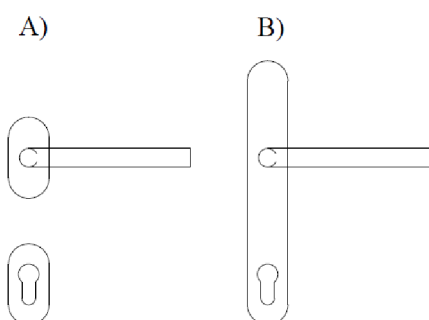
neobsahují zámkovou vložku. Stlačením kliky v interiéru jsou střelky uvolněny a je možné otevření dveří [8, 9].

Nedílnou součástí VD jsou dveřní závěsy. Standardně jsou osazovány povrchové dvoudílné závěsy. Počet závěsů osazených na prvku je navrhován pracovníkem TPO, dle statických možností zvolené profilové řady. Další variantou jsou povrchové třídílné závěsy, plnicí vyšší třídu bezpečnosti. Alternativou mohou být válečkové závěsy s omezenou možností rektifikace, případně skryté dveřní závěsy, osazené do nepohledové části profilu. U VD v zavřeném stavu jsou tyto závěsy nepozorovatelné. Druhy závěsů jsou zobrazeny na obr. 1.23 [9].

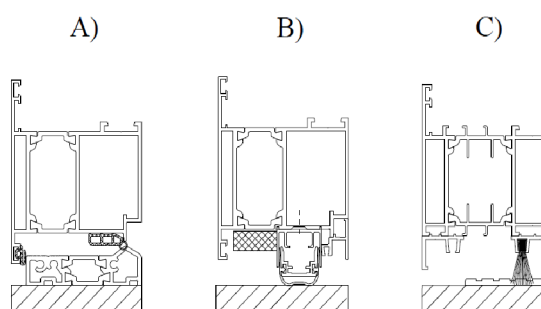


Obr. 1.23 Dveřní závěsy, zleva: dvoudílný povrchový, třídílný povrchový, válečkový, skrytý.

Povrchové kování je děleno na štítové a dělené (viz obr 1.24). Standardní garniturou je klika/klika a koule/klika. Povrchové kování zahrnuje také madlo či tlačnou hrazdu. Mezi další doplňky, osazované na prvek patří např. zámková vložka, dveřní zavírač, čtečka otisků prstů či čipů, PIN klávesnice, kukátko či dveřní zářezka. Další nedílnou součástí VD je práh. Ten může být viditelný, kartáčkový či automatický (obr. 1.25) [7, 9].



Obr. 1.24 Typy povrchového kování, A) dělené, B) štítové.

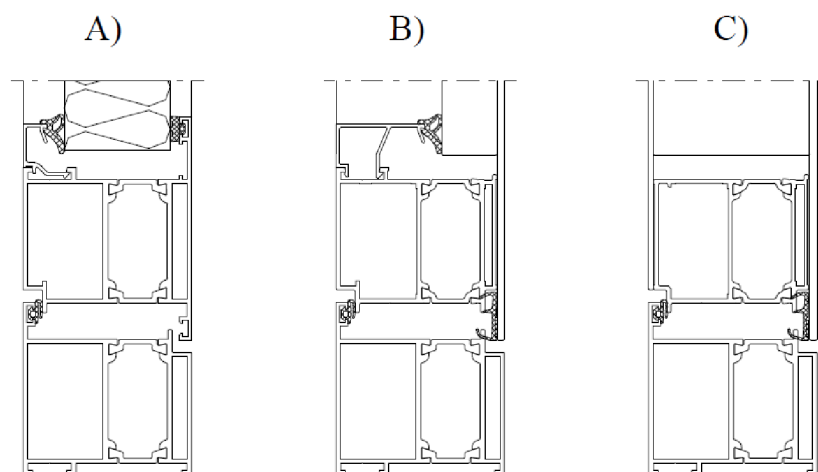


Obr. 1.25 Typy dveřních prahů, A) viditelný, B) automatický, C) kartáčkový.

Výplň VD může být tvořena sklem, plnou či okrasnou výplní. Výroba plné výplně byla popsána v kapitole 1.4.9. Jednoduchá skla jsou řazena mezi základní. Tato skla mohou být průhledná, kalená, vrstvená, tónovaná, ornamentní, protihluková či protisluneční. Izolační skla jsou složena z jednoduchých skel, vymezených distančním



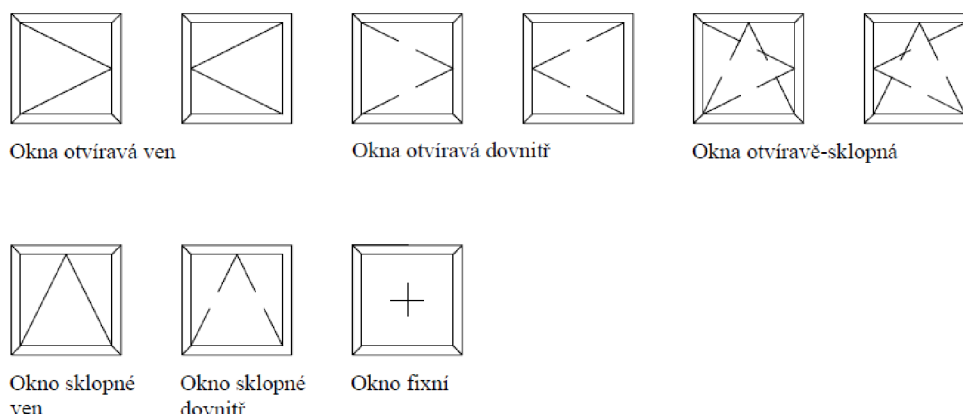
rámečkem. Prostor mezi tabulemi skla je vyplněn inertním plynem (např. Ar). Skla jsou dále dělena na dvojskla nebo trojskla. Okrasná dveřní výplň je dodávána v podobě vsazené, jednostranně nebo oboustranně překryvné. Vsazená výplň je do prvku vsazena stejným způsobem, jako v případě standardní výplně či skla. Plech jednostranně překryvné výplně je z exteriérové strany přilepen na profil. Výplň je z interiérové strany fixována pomocí zasklívacích lišt a těsnění. U oboustranně překryvné výplně je plech na profil nalepen z exteriéru i interiéru. Druhy okrasných výplní jsou zobrazeny na obr. 1.26 [7, 9].



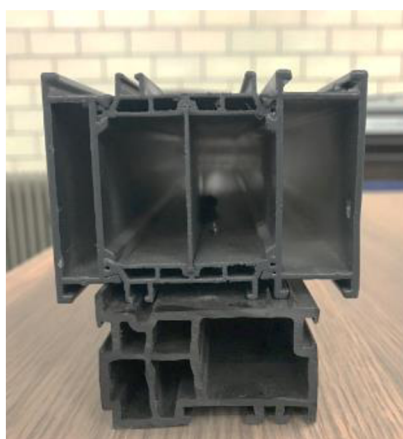
obr. 1.26 Typy okrasných výplní A) vsazená výplň, B) jednostranně překryvná výplň, C) oboustranně překryvná výplň.

### 1.5.2 Hliníková okna

Okna jsou rozdělena na fixní, otvíravá a otvíravě-sklopná. Okna mohou být jednokřídlá, dvoukřídlá („štulpová“), případně okna v sestavách. Základní dělení oken vyobrazeno na obr. 1.27. Výhodou fixních oken možnost výroby velkoformátových prvků. U otvíravých či otvíravě-sklopných oken je využíváno celoobvodové kování. Okna mohou být osazena povrchovými nebo skrytými závěsy. Povrchové závěsy jsou viditelné z interiéru. Skryté závěsy jsou umístěny na nepohledové části profilu a u zavřeného okna jsou nepozorovatelné. Oba typy závěsů jsou součástí celoobvodového okenního kování. Povrchové závěsy jsou viditelné z interiéru. Okna jsou ovládána nejčastěji pomocí okenní kliky. Sklopná okna mohou být ovládána pomocí pákového ovladače. Ve většině případů je součástí dodávky AL oken plastový podkladový profil (obr. 1.28). Jako okenní výplně jsou nejvíce využívána skla, případně plně výplně [9].



Obr. 1.27 Dělení oken dle konstrukce.

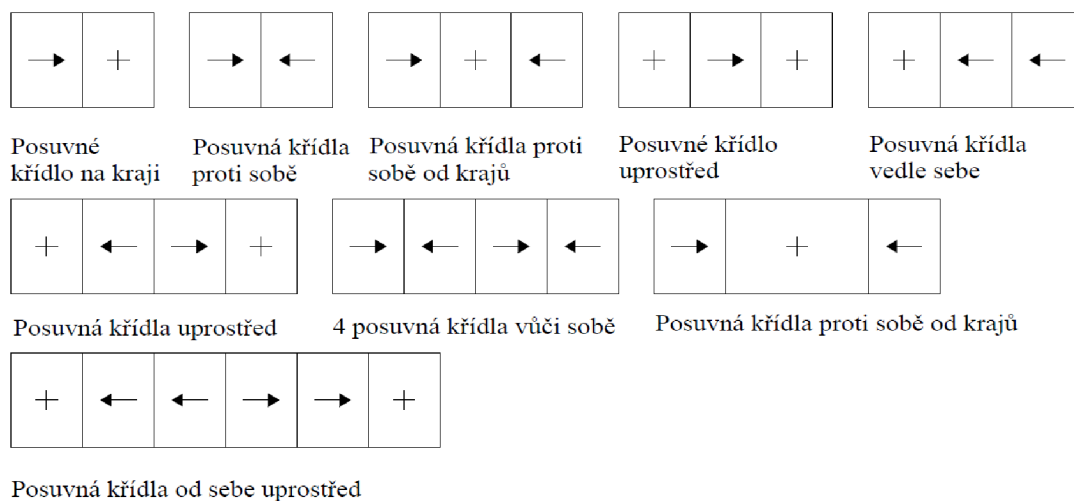


Obr. 1.28 Okenní podkladový profil.

### 1.5.3 Zdvíže posuvné dveře

Prvky označované jako HS portál, z německého pojmenování „hebe-schiebe“, jsou určeny pro exteriérové použití. Tento systém vykonává svou funkci založenou na principu posuvného pohybu křídla po kolejnici. V zavřeném stavu je křídlo fixováno v kolejnici. Pro uvolnění křídla, jeho nadzdvíhnutí ze zafixované polohy a následný posun, je nutné otočit klikou. K manuálnímu pohybu křídlem a jeho posunutím je možné vyvinout pouze minimální sílu. HS portál je možné ovládat manuálním pohybem, případně pomocí elektrického pohonu, kdy je umožněn automatický posun a zamykání [10].

HS portály jsou využívány zejména v rodinných domech, u kterých je díky možnosti výroby křídel velkých formátů možná propustnost slunečního svitu do interiéru. Křídla mohou být vyrobena v rozměrech až 3 200 x 3 300 mm a mohou dosahovat až 400 kg. Kolejnice (profil spodní části rámu) je možné vyrobít ve třech variantách (1kolejnice, 2kolejnice a 3kolejnice). Díky nízkému spodnímu rámu, je možné práh označit jako bezbariérový. Zdvíže-posuvný prvek spadá do třídy odolnosti proti vloupání RC2. Existuje mnoho variant konstrukcí, nejčastější jsou zobrazeny na obr. 1.29 [8, 11].

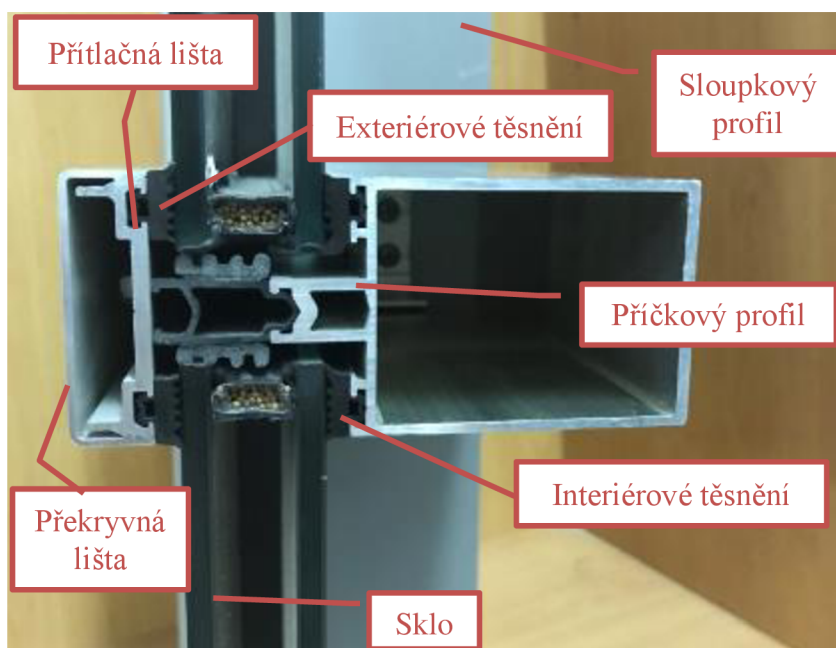


Obr. 1.29 Typy konstrukce HS portálů [11].

#### 1.5.4 Fasádní systémy

K opláštění budov jsou vhodné fasádní konstrukce. Montáž fasádní konstrukce spočívá v postupném připojování profilů (sloupků a příček) na budovu stavby. Standardní tloušťka fasádního profilu dutého tvaru je 50 mm. Hloubka profilů je závislá na statických požadavcích (hloubka příčkových profilů 50–325 mm, sloupků 5–209,5 mm). Do fasádních polí je možné osadit skla (nebo výplně) tloušťky, která dosahuje rozměru až 64 mm. Fasádní konstrukce mohou být připraveny k vložení dalších systémových prvků (okna či dveře) [9, 12].

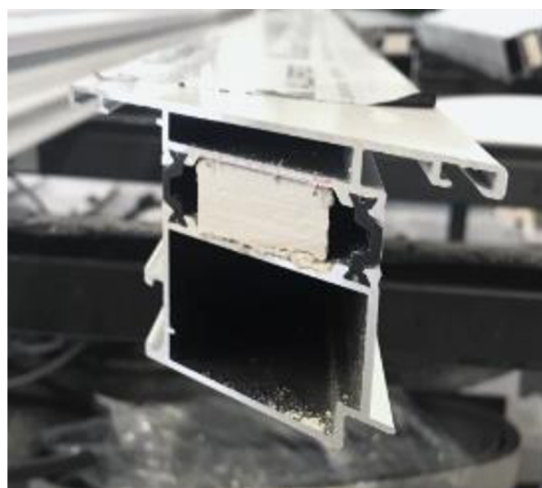
Způsoby napojení příček na fasádní sloupky jsou závislé na celkovém zatížení pole nad příčником. Stavebně jsou fasádní profily kotveny pomocí pevných či posuvných kotev [9]. Konstrukce je složena z profilu (příčky nebo sloupku), přítlačné lišty, překryvné lišty a těsnění. Popis skladby konstrukce lze pozorovat na obr. 1.30. Ve výrobě AL jsou jednotlivé fasádní profily děleny dle konkrétních konstrukčních rozměrů. U jednotlivých profilů jsou vyfrézovány otvory, umožňující skladbu konstrukce. Pro osazení fasádní příčky ke sloupkům je nutný přesah příčky. Připravené profily jsou osazeny těsněním, izolací, případně konstrukčními prvky jako např. spojovací prvky. Jednotlivé profily jsou následně zabaleny, označeny číslem dle montážního plánu a expedovány.



Obr. 1.30 Popis skladby fasádní konstrukce.

### 1.5.5 Protipožární prvky

U protipožárních prvků je nutné, aby byl proces výroby konstrukcí certifikován a schválen požárním institutem. Při výrobě musí být důsledně dodržen předepsaný pracovní postup. Mezi nejčastější druhy protipožárních výrobků patří fixní stěny a VD. Požárně odolné prvky mohou být také okna případně i automatické dveře. Požární odolnosti systému jsou zajištěny speciálními výplněmi v komorách daných profilů (viz obr. 1.31), dle požadavku na požární dobu odolnosti. Konstrukce jsou označovány mezními stavy EI a EW následované dobou požární odolnosti. Doba požární odolnosti udává časovou jednotku (v minutách), po kterou je dodavatelem profilového systému garantována odolnost konstrukce vůči ohni. Rozmezí doby požární odolnosti u systému se pohybuje od 15 do 90 minut. Všechny osazené komponenty u požárního prvku musí být předem odzkoušené. Jedná se především funkční části kování, skla či výplně. Prvky nesmí přesahovat odzkoušené a certifikované rozměry [9].

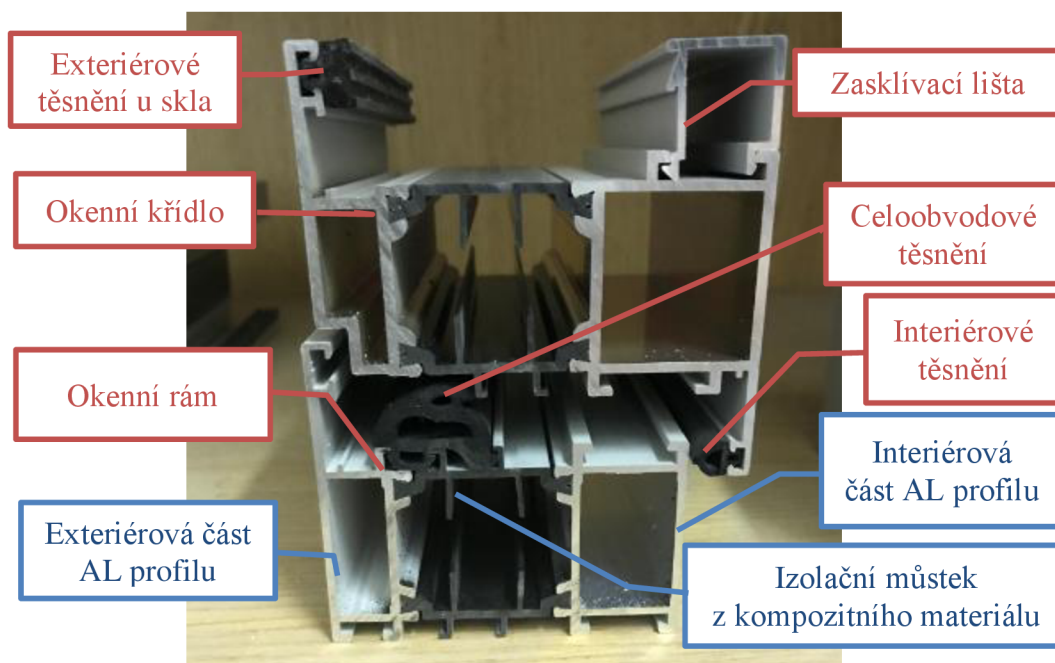


Obr. 1.31 Náhled profilu s protipožární výplní.

Písmenem „E“ je označována celistvost konstrukce. V případě požáru se po definovanou dobu požární odolnosti nesmí na prvku vytvořit trhлина, kterou by bylo umožněno proniknutí ohně na opačnou stranu konstrukce. Označením „I“ jsou značeny izolační schopnosti konstrukce. Po dobu požární odolnosti konstrukce nesmí být prostor na odvrácené straně požáru nadměrně ohříván. Podobným mezní stavem je omezení radiace tepla (označován „W“). U tohoto mezního stavu jsou nižší nároky a není možné zajistit zabránění nárůstu tepla na straně odvrácené od ohniska požáru. Mezi další mezní stavy je řazen mezní stav samozavírání, označován „C“. U prvku je vyžadováno, aby byl v době požáru po otevření automaticky uzavřen. Nejčastějším řešením je osazení prvku dveřním zavíračem. Mezní stav kouřotěsnosti označován „S“ značí zamezení průniku kouře od požáru do chráněného prostoru. V případě VD je prvek osazen automatickým prahem, který je po uzavření spuštěn směrem dolů, čímž je zajištěna izolace prostoru v prahové rovině [13].

### 1.6 Profilové série

Profily z hliníkových slitin jsou děleny dle stavební hloubky, tepelně izolačních vlastností a konstrukce profilu. Profily z hliníkových slitin jsou standardní tloušťky 1,8 mm. V interiérových prostorech je využíván profil se stavební hloubkou 45 mm. Tento profil nedisponuje přerušením tepelného mostu. Profilové systémy s přerušením tepelného mostu jsou vhodné pro exteriérové použití, vzhledem k jejich dobrým tepelně izolačním vlastnostem. Profil je složen ze dvou samostatných profilů z hliníkové slitiny, které jsou k sobě slisované kompozitním izolačním můstkem. Složení 3komorového profilu je popsáno na obr. 1.32. Prvním z těchto systémů, jsou profily se stavební hloubkou 70 mm. Součinitel prostupu rámu  $U_f$  dosahuje hodnot až  $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  a součinitel prostupu tepla oknem  $U_w$  až  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Doplněním izolačních vložek do komor profilů jsou hodnoty součinitelů vyšší, a to  $U_f=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  a  $U_w=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  [9].



Obr. 1.32 Popis skladby AL profilu.

Dalším profilovým systémem je stavební hloubka profilů 77 mm. Standardní řešení profilů je označeno zkratkou ST. Vložením izolační přepážky se hodnoty prostupu tepla sníží, označovány jsou zkratkou SI. U VD je možné doplnění izolačních vložek pod skla čímž je možné docílit dalšímu snížení hodnot součinitelů prostupu tepla (označováno zkratkou SI+). Poslední variantou je vložení izolační vložky z křemičitého aerogelu do komory profilu. Jedná se o speciální verzi označovanou jako AERO. Srovnání součinitelů prostupu tepla jednotlivých verzí systému s profilovou hloubkou 77 mm je zobrazeno v tab. 1.5 [9, 14].

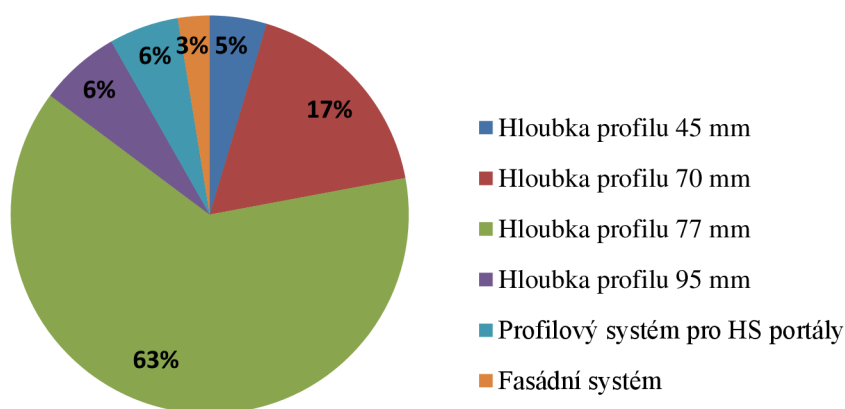
Tab. 1.5 Součinitele prostupu tepla profilového systému stavební hloubky profilu 77 mm [14].

Prvek	Součinitel prostupu tepla rámem $U_f$ [W/m <sup>2</sup> K]				Součinitel prostupu tepla celého prvku $U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]			
	ST	SI	SI+	AERO	ST	SI	SI+	AERO
okna	Od 1,39	Od 0,92	-	Od 0,57	Od 0,77	Od 0,74	-	Od 0,72
dveře	Od 2,16	Od 1,76	Od 1,49	Od 1,22	Od 1,19	Od 1,07	Od 0,98	Od 0,88

Pozn. ST, SI, SI+ a AERO – variantní možnosti tepelných izolací

Výhodných tepelně izolačních vlastností z nabízených profilů, je možné dosáhnout s profilovým systémem stavební hloubky rámu 95 mm. Koefficient prostupu tepla dosahuje hodnot u rámu  $U_f$  = až 0,8 W/m<sup>2</sup>K a celého prvku  $U_w$  až 0,53 W/m<sup>2</sup>K. Tento systém je vhodný pro využití u pasivních a nízkoenergetických staveb. Mezi další profilové systémy jsou řazeny profily určené pro HS portály, fasádní konstrukce a protipožární prvky [9].

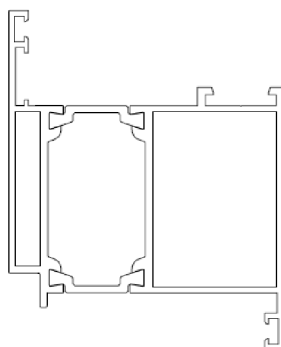
Na obr. 1.33 je zobrazeno přibližné grafické vyjádření zastoupených profilových sérií ve výrobě AL. Je patrné, že nadpoloviční většina výrobků je konstruována z profilového systému stavební hloubky 77 mm následované systémem s profilem stavební hloubky 70 mm. Jedná se tedy o prvky pro exteriérové využití, s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi.



Obr. 1.33 Grafické zobrazení skladby výroby AL dle profilových sérií.

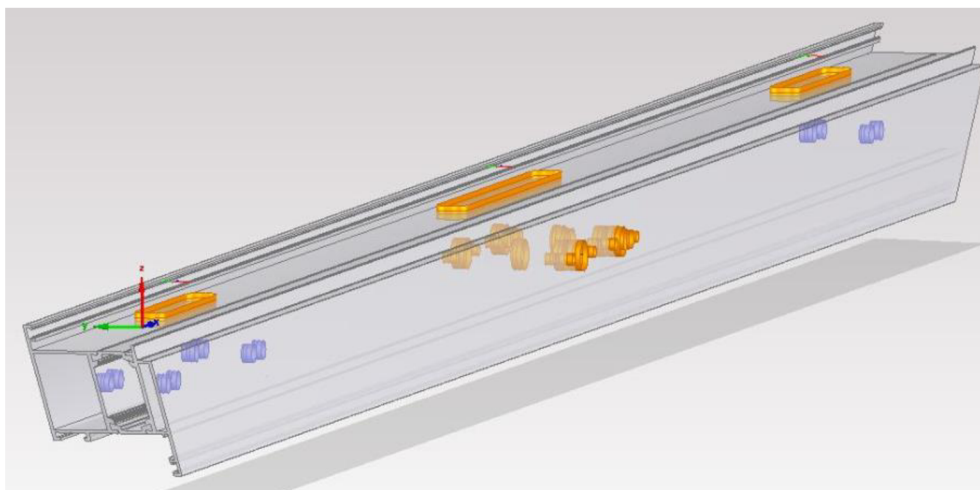
### 1.7 Popis obráběného dílu

Pro experiment byl zvolen profil zobrazený na obr. 1.34. Jedná se o profil stavební hloubky 70 mm. Nejvíce zastoupený typ prvku ve výrobě jsou VD, proto byl vybrán AL profil určený ke konstrukci dveřního křídla. Křídelní profil je složen ze dvou komor, exteriérové a interiérové, které jsou vyrobeny technologií tažením. Části profilu z hliníkové slitiny, byly vyrobeny technologií tažení z materiálu slitiny AL EN AW – 6060 dle EN 573-3, případně pod jiným označením AlMgSi0,5 F22 dle DIN 1725 T. 1. Komory z hliníkových slitin jsou spojeny kompozitním materiálem za využití technologie lisování. Barevná povrchová úprava profilu není pro výsledky experimentu důležité kritérium.



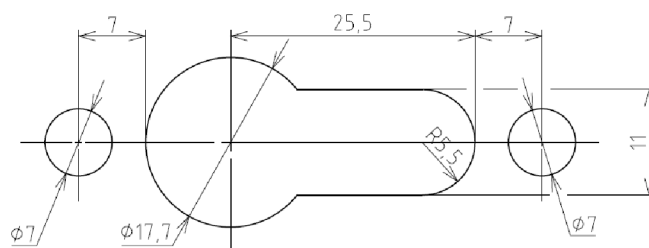
Obr. 1.34 Zkušební AL profil.

Celková délka zkušební profilové tyče byla 2000 mm. Pro experiment byly identifikovány otvory s největší četností výskytu při obrábění profilů na CNC obráběcím centru. Frézované otvory jsou vázány ke konstrukci VD. Jedná se o otvory určené pro instalaci 3bodového zámku, průchozí otvory pro osazení dělené garnitury klika/klika, zámkové rozety se zámkovou vložkou a průchozí otvory pro osazení tří povrchových dveřních závěsů. Náhled profilu z programu EluCad na obr. 1.35. Pro osazení 3bodového zámku jsou frézovány tři podélné kapsy pro uložení dvou vedlejších střelkových uzávěrů a jednoho hlavního. Šířka kapsy pro vedlejší zámkové střelky je rozměru 18 mm a délka 134 mm. Kapsa pro hlavní střelku je stejné šířky s délkou 235 mm. Všechny kapsy jsou umístěny na nepohledové části profilu, na straně směřující k rámu. Kapsy jsou frézovány pouze skrz jednu stěnu profilu.

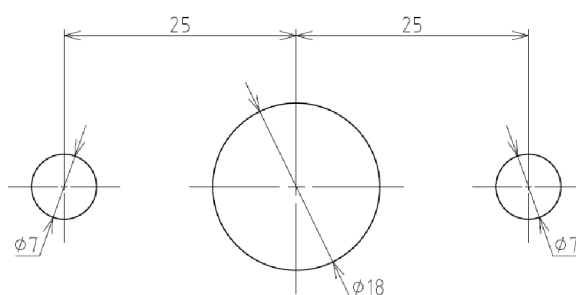


Obr. 1.35 Náhled profilu z programu EluCad.

Otvor pro zámkovou vložku je složen z kruhového otvoru průměru 17,7 mm a podélné drážky se zaoblením. Otvor pro zámkovou vložku je průchozí skrz celou hloubku profilu. Důvodem je zajištění funkce zámku. Tvar frézovaných otvorů je zobrazen na obr. 1.36. Pro upevnění zámkové rozety jsou vyfrézovány dva otvory o průměru 7 mm. Otvory slouží pro upevnění komponentů k profilu. Otvory jsou frézovány skrz jednu stěnu hliníkové slitiny (interiérovou i exteriérovou). Pro dělenou kliku je frézován průchozí kruhový otvor a stejně jako v případě zámkové rozety, jsou pro upevnění kliky frézovány otvory o průměru 7 mm. Náhled frézovaného tvaru pro kliku zobrazen na obr. 1.37.

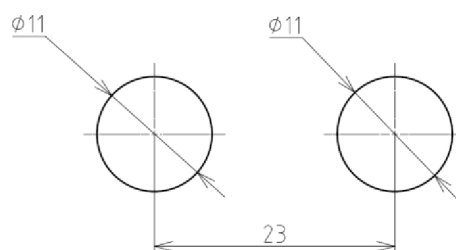


Obr. 1.36 Tvar frézovaných otvorů pro zámkovou rozetu.



Obr. 1.37 Tvar frézovaných otvorů pro dělenou kliku.

Pro uchycení dveřního závěsu jsou frézovány dva kruhové otvory průměru 11 mm (obr. 1.38). Povrchový dveřní závěs je k hliníkovému profilu připevněn pomocí dvou šroubů. U jednokřídlých VD jsou nejčastěji osazovány tři závěsy. Standardně jsou dva dveřní závěsy umístěny na vrchní část konstrukce a jeden závěs na spodní část VD. Středové závěsy ve vrchní části, jsou umístěny 200 a 400 mm od horní hrany křídla. Umístění středového závěsu ve spodní části konstrukce je 150 mm od spodní hrany křídla. Otvory jsou frézovány do hloubky 44 mm. U frézovaného dílce jsou dveřní závěsy umístěny na pohledové části profilu, viditelné z interiéru. V tomto případě by se tedy jednalo o dveře otvíravé dovnitř. Umístění otvorů pro závěsy, kliku, zámkovou rozetu a zámek na stejném profilu by nebylo v případě konstrukce reálného prvku možné. Pro zajištění funkčnosti dveří musí být závěsy umístěny na opačné straně, než zámek s klikou.



Obr. 1.38 Otvory pro dveřní závěsy.



## 2 HLINÍKOVÉ SLITINY A JEJICH VYUŽITÍ

Hliníkové slitiny jsou řazeny do skupiny neželezných kovů. V této kapitole jsou představeny neželezné kovy a jejich rozdělení. Následně jsou popsány hliníkové slitiny, jejich rozdělení a vlastnosti. Na závěr kapitoly je uvedeno využití hliníkových slitin v jednotlivých průmyslech.

### 2.1 Neželezné kovy a jejich slitiny

Do skupiny neželezných kovů jsou řazeny materiály, jejichž základním prvkem je kov neobsahující železo. Záměrem je nahrazování neželezných kovů nekovovými materiály, případně vysokolegovanými oceli nebo litinami. Důvodem je jejich nedostatek a náročná technologická příprava. Čisté kovy jsou neželezné kovy vysoké čistoty, které nejsou vhodné ke konstrukčním účelům. Důvodem je jejich nízká mez kluzu a pevnost v tahu. Výhodou čistých kovů je jejich dobrá vodivost (elektrická i tepelná), tvárnost a odolnost proti korozi. Mechanické vlastnosti jsou zvyšovány obsahem nečistot [15].

Využívané jsou zejména slitiny neželezných kovů. Vlastnosti slitin jsou obvykle lepší, než u jednotlivých kovů, ze kterých jsou složeny. Vlastnosti slitin lze modifikovat změnou jejich složení. Na rozdíl od čistých kovů, jsou slitiny hůře tepelně vodivé. Ve srovnání s oceli, je u slitin neželezných kovů odolnost proti korozi vyšší. Z hlediska obrobitelnosti je možné u obrábění neželezných slitin aplikovat vyšší řezné rychlosti než u oceli. Tepelné zpracování je využíváno pro zlepšení mechanických vlastností. Využíváno je např. vytvrzování (slitiny hliníku, mědi a titanu) nebo kalení a popouštění (bronz) [15].

#### 2.1.1 Rozdělení slitin neželezných kovů

Hlavním kritériem při dělení slitin neželezných kovů je základní prvek, dle kterého jsou slitiny označovány (slitiny hliníku, mědi atd.). Obsah základního prvku je ve slitině nejvyšší. Dalším kritériem je dělení dle technologie zpracování. U slitin pro tváření je nižší obsah přísadových prvků a vyznačují se dobrými plastickými vlastnostmi. Dále jsou děleny na slitiny pro tváření za studena a pro tváření za tepla. Vyšší obsah přídavných prvků mají slévárenské slitiny, které mají horší plastické vlastnosti, ale lepší tvrdost a pevnost. Slitiny neželezných kovů jsou děleny také dle jejich hustoty, na slitiny lehkých neželezných kovů (slitiny hořčíku, hliníku a titanu) a slitiny těžkých neželezných kovů (slitiny mědi, niklu, kobaltu, zinku olova a dalších kovů). Hustota kolem hodnoty  $4500 \text{ kg/m}^3$  značí hranici mezi danými skupinami [16].

Slitiny jsou dále děleny dle tavné teploty na nízkotavitelné, se střední tavnou teplotou a vysokou tavnou teplotou. Do skupiny nízkotavitelných jsou řazeny kovy a slitiny s tavnou teplotou do  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  (cín, vizmut, olovo, zinek). Do skupiny se střední tavnou teplotou ( $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) patří např. hořčík, hliník, měď, kobalt či nikl. Do kovů s vysokou tavnou teplotou patří titan, chrom, vanad, niob a další. Samostatnou skupinu tvoří ušlechtilé kovy, kam patří stříbro, zlato, platina a rhodium. Dále jsou to kovy vzácných zemin, radioaktivní kovy a polovodiče. Nejvyužívanější jsou slitiny hliníku, s dobrým poměrem hmotnosti a mechanických vlastností, disponující dobrými technologickými

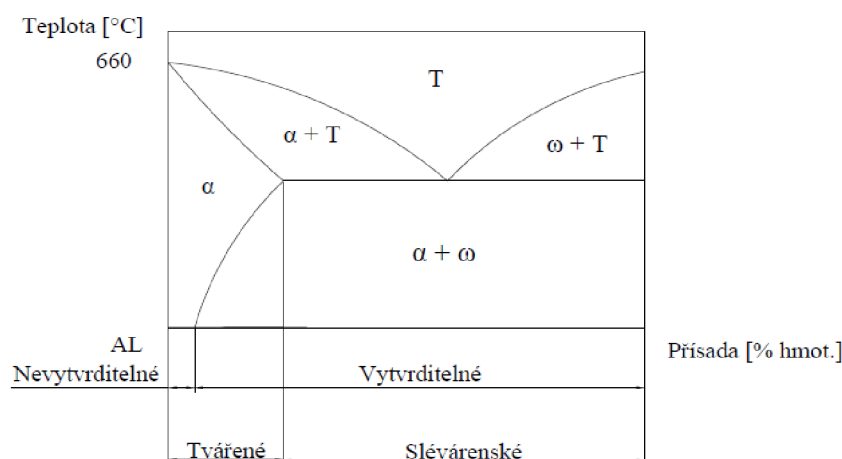
vlastnostmi, snadnou technologií výroby a výhodnou cenou. Další významnou skupinou jsou hořčíkové slitiny, jejichž výroba v současné době stoupá a to zejména z důvodu srovnatelných vlastností se slitinami hliníku. Materiálem na vzestupu jsou slitiny titanu s výbornými mechanickými vlastnostmi za vysokých teplot. Vzhledem k jejich nízké hustotě jsou využívány zejména v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu [16].

## 2.2 Slitiny hliníku

Základním dělením slitin hliníku je způsob jejich zpracování. Děleny jsou do dvou základních skupin na slitiny hliníku pro tvářeni a slitiny hliníku pro odlévání. Přehled hliníkových slitin je zobrazen v tabulce tab. 2.1. V závislosti na chemické složení jsou slitiny dále děleny dle toho, zda jsou nebo nejsou vytvrditelné. Obecný rovnovážný diagram slitin hliníku je zobrazen na obr. 2.1. Základním prvkem těchto slitin je vždy hliník. Vedlejší přísadové prvky ovlivňují vlastnosti daných slitin [16, 17].

Tab. 2.1 Rozdělení slitin hliníku [17].

Hliníkové slitiny určené pro tvářeni		Hliníkové slitiny určené pro odlitky		
Označení	ČSN	Základní báze	Označení	ČSN
AlMg2	42 4412	Al-Si-Mn	AlSi12Mn	42 4330
AlMg3	42 4413	Al-Si-Mg	AlSi10MgMn	42 4331
AlMg5	42 4415		AlSi7Mg(Fe)	42 4332
AlMgSi1Mn	42 4400		AlSi7MgTi	42 4334
AlMgSi	42 4401	Al-Si-Cu	AlSi6Cu2	42 4353
AlMn1	42 4432	Al-Si-Cu-Mn	AlSi8Cu2Mn	42 4339
AlCu4Mg	42 4201		AlSi10CuMn	42 4384
Plátovaný AlCu4Mg1	42 4251		AlSi10CuMnMg	42 4337
AlCu4Mg1	42 4203		AlSi11Cu2Mn	42 4352
Plátovaný AlCu4Mg1Mn	42 4253	Al-Si-Cu-Mg-Ni	AlSi12NiCuMg	42 4336
AlCu4Mg1Mn	42 4250		AlSi20Cu2NiMgMn	42 4386
AlCu2Mg	42 4204	Al-Si-Cu-Zn	AlSi5Cu4Zn	42 4357
AlCu2Mg2Ni	42 4218	Al-Cu	AlCu4Mg2Ni2	42 4315
AlCu2SiMn	42 4206		AlCu8FeSi	42 4361
AlCu4BiPb	42 4254	Al-Mg-Si	AlMg5Si1Mn	42 4515
AlCu8FeSi	42 4261		AlMg10SiCa	42 4519
AlSi12Ni1Mg	42 4237			
AlZn6Mg2Cu	42 4222			



Obr. 2.1 Obecný rovnovážný diagram slitin hliníku [17].

### 2.2.1 Slitiny hliníku vhodné pro tváření

Hlavním kritériem pro dělení slitin hliníku pro tváření je chemické složení. Z konstrukčního hlediska je důležitější dělení dle mechanických vlastností. Děleny jsou na slitiny s vysokými mechanickými vlastnostmi a slitiny se středními mechanickými vlastnostmi. U slitin s vysokými mechanickými vlastnostmi je zhoršená odolnost proti korozi. Do těchto slitin je přidáván zinek nebo měď. U slitin se středními mechanickými vlastnostmi jsou přidávány prvky jako hořčík, mangan případně křemík. Dané slitiny disponují lepší odolností vůči korozi [16].

Slitiny soustav Al-Mg, Al-Mg-Si a Al-Mn jsou řazeny do skupiny slitin nízkopevnostních s dobrou odolností proti korozi. Absence mědi zajišťuje dobrou odolnost proti korozi, bez nutnosti aplikace povrchové úpravy. Nevýhodou je, nízké zvyšování pevnosti při vytvrzování. Mezi výhody je řazena jejich dobrá svařitelnost, odolnost proti vibračnímu zatížení, tvaritelnost a dobrá lomová houževnatost. Pevnost u slitin Al-Mg dosahuje v žíhaném stavu meze pevnosti 100–170 MPa. U slitiny AlMg5 je možné zvýšení pevnosti deformačním zpevněním a dosažení pevnosti  $R_{m,max}$  až 400 MPa. Obsah hořčíku ve slitinách vyšší než 6 % není běžně používán a to zejména z důvodu náchylnosti ke korozi po hranicích zrn při mechanickém zatížení. Používané jsou slitiny AlMg2, AlMg3, AlMg5 a AlMg6. Slitiny Al-Mg-Si, u kterých je po vytvrzení možné dosažení hodnoty  $R_m$  v rozmezí 170–270 MPa. Jedná se o dobře svařitelné a tvárné slitiny. Využívané jsou hlavně v letectví a stavebnictví. Slitiny Al-Mn disponují podobnými vlastnostmi, jako slitiny Al-Mg. Vytvrzování u nich není aplikováno, jelikož by bylo poměrně zbytečné, z důvodu pouze k nepatrnému zvýšení pevnosti. V praxi je využívána jen slitina AlMn1 s mezní pevností  $R_m$  až 130 MPa ( $R_{m,max}$  dosahuje hodnot až 220 MPa po deformačním zpevnění) [17].

U slitin s vyšší či vysokou pevností a nízkou odolností proti korozi jsou nejvyužívanější slitiny Al-Cu-Mg (duraly). Jedná se hlavně o slitiny AlCu4Mg, AlCu4Mg1 a AlCu4Mg1Mn, které ve vytvrzeném stavu dosahují pevnosti  $R_m$  až 530 MPa. Využívány jsou k výrobě plátovaných duralů, neboli plechů s tenkou vrstvou hliníku na povrchu, sloužící jako ochrana proti korozi. Hořčík ve slitině ve výši obsahu 2-2,5 % umožňuje duralům vystavení vysokým teplotám (až 200 °C) po dlouhou

dobu. Snížením obsahu mědi v duralu je zvyšována tvárnost. Příkladem jsou duraly AlCu2Mg, které vzhledem k pevnosti ve stříhu dosahující hodnoty 200 MPa, jsou vhodné pro výrobu nýtů. Pokud jsou duraly obohaceny o nikl, je umožněno jejich využití za vysokých teplot (až 300 °C). Pro výrobu volně i zápustkově kovaných výkovků jsou určeny slitiny Al-Cu-Si-Mn. Pánve kluzných ložisek a kovaná pouzdra jsou vyráběny ze slitiny AlCu8FeSi. Pro méně silově namáhané součásti je využívána slitina AlCu4BiPb. Olovo a vizmut ve slitině způsobují krátkou a drobnou třísku. Siluminy AlSi12Ni1Mg jsou vhodné např. pro mechanicky namáhané výlisky. Typickým výrobkem jsou písty spalovacích motorů. Nejpevnější slitiny hliníku jsou slitiny Al-Zn-Mg-Cu, které dosahují pevnosti  $R_m$  až 500–580 MPa (platí pro AlZn6Mg2Cu po tepelném zpracování). Na rozdíl od duralů patří mezi nevýhody vyšší sklon ke korozi pod napětím, vyšší vrubová citlivost a nižší lomová houževnatost. Při vyšších teplotách tyto slitiny ztrácí svou pevnost a od 125 °C jsou méně pevné než standardní duraly [17].

### 2.2.2 Slitiny hliníku vhodné pro odlévání

Slitiny pro odlitky jsou více využívány, než slitiny určené pro tváření. Pomocí slévárenských slitin je možná výroba tvarově složitých odlitků tenkých stěn a zároveň zachování základních vlastností, kterými disponují slitiny tvářené. Vliv na slévárenské vlastnosti má křemík (siluminy). Výhodou je jejich vytvrditelnost, houževnatost a odolnost vůči mořské vodě. Horší je jejich obrobitelnost. Využívány jsou na výrobu odlitků s tenkými stěnami, které jsou středně namáhané, v leteckém a automobilním průmyslu. Pro odlitky mechanicky namáhané (motory, klikové skříně, hlavy válců, součásti karburátorů apod.) jsou využívány slitiny Al-Si-Cu. Nejvíce namáhané mohou být slitiny Al-Si-Mg a slitiny Al-Mg jsou využívány zejména pro odlitky nepropouštějící kapaliny a odlitky namáhané za vysokých teplot [17].

Na rozdíl od slitin určených ke tváření jsou mechanické vlastnosti slitin hliníku určených pro výrobu odlitků horší. Mechanické vlastnosti jsou závislé na metodě odlévání. Pevnost je závislá na struktuře odlitku. Slitiny hliníku odlévané do pískových forem mají nižší pevnostní charakteristiky a hrubější strukturu než slitiny odlévané do kovových forem nebo odlévaných pomocí tlakového lití, jejichž struktura je jemná. Binární siluminy (Al-Si) jsou děleny na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Obsah křemíku u eutektických siluminů se pohybuje okolo 11,7 %, jejichž slévárenské vlastnosti jsou nejlepší. Výhodou jednoduchých siluminů je jejich dobrá odolnost proti korozi. Využívány jsou u pájek. Speciální siluminy Al-Si-Mg a Al-Si-Cu je možné vytvrdzovat, z důvodu přítomnosti hořčíku a mědi u binárních siluminů. Speciální siluminy je možné mechanicky zatěžovat při teplotách 250–275 °C. Na rozdíl od binárních siluminů disponují horšími slévárenskými vlastnostmi. Speciální siluminy jsou využívány na odlévání tvarově složitých dílců, tenkostěnných odlitků jako např. skříně spalovacích motorů, převodovky, řemenice nebo disky kol [17].

Slitiny Al-Cu s obsahem železa a niklu jsou vhodné pro použití za vysokých teplot. Nevýhodou jsou zhoršené slévárenské vlastnosti (špatná zabíhavost, sklon k tvorbě trhlin za tepla a k tvorbě mikropórovitosti). Kvůli horší odolnosti proti korozi je nutná povrchová ochrana. Slitiny jsou využívány pro výrobu hlav válců či rozměrných pístů. Ze všech slitin hliníku určených na odlitky disponují nejvyšší pevnosti a rázovou houževnatostí slitiny Al-Mg. Využívány jsou u odlitků namáhaných rázem, případně u odlitků určených do korozního prostředí. Slitiny s přísadou křemíku jsou využívány pro odlitky namáhané

za vyšších teplot nebo odlitky vystavené povětrnostním vlivům. Slitiny Al-Zn-Mg mají dobrou odolnost proti korozi, jsou dobře svařitelné, ale mají horší odolnost proti korozi pod napětím. Zmírnění této vlastnosti je možné přísadou železa o obsahu 0,8–1,2 % [17].

### **2.3 Technologické vlastnosti hliníkových slitin:**

Pod pojmem technologické vlastnosti jsou zahrnovány všechny vlastnosti, vedoucí k výrobě samotného výrobku. K tomuto pojmu je vázána zejména obrobiteľnosť, tvárnosť, svařitelnosť, slévateľnosť prípadne i odolnosť proti korozi. Hodnocena je vhodnosť využítí materiálu k dané technologické operaci vycházející z výsledků speciálně určených zkoušek [18].

#### **2.3.1 Obrobiteľnosť**

Slévárenské, tvárené a automatové slitiny jsou vhodné pro obrábění. Hlavní legující prvky slévárenských slitin jsou hořčík, zinek nebo měď, proto jsou tyto slitiny dobře obrobiteľné. Občasným problémem může být tečení a následné přichycení materiálu na břit nástroje. Větší opotřebenění nástroje může být způsobeno přítomností nespojitostí nebo oxidických vrstev, nekovových vměstků. Slitiny s obsahem křemíku musí být obráběny za nižších rychlostí a posuvů. Obráběním takových slitin je tvořena krátká lánaná tříška. Obrábění eutektických slitin (obsah křemíku kolem 12 %) jsou tvořeny dlouhé svinuté třísky. Při obrábění nevytvrditelných slitin pro tváření, je tvořena dlouhá spojitá tříška. Technologie tváření za studena zlepšuje obrobiteľnosť. U vytvrzených slitin je při obrábění tvořena dlouhá a stočená tříška. Automatové slitiny obsahující legující prvky disponující nízkou teplotu tání. Jedná se o olovo, bismut, antimon či kadmium. Tyto prvky napomáhají vzniku drobné třísky. Obrobiteľnosť je závislá na tvrdosti, struktuře a houževnatosti obráběného materiálu. Při srovnání obrobiteľnosti čistého hliníku, který je špatně obrobiteľný, jsou hliníkové slitiny velmi dobře obrobiteľné. Důvodem je struktura hliníkových slitin, vliv měkkých částic, precipitátů či stupeň deformačního zpevnění [18].

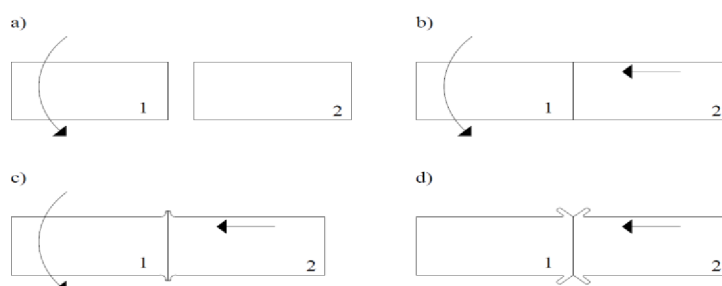
#### **2.3.2 Tvárnosť**

Tvárnosť je schopnosť materiálu, který je možné pomocí působení vnějších sil přetvořit na požadovaný tvar, bez porušení celistvosti materiálu. Vliv na tvárnosť má nejvíce chemické složení, teplota tváření, typ mřížky materiálu, případně stav tepelného zpracování. Mezi hlavní technologie tváření využívané u slitin hliníku patří válcování, lisování, ohýbání nebo kování. Tvárnosť hliníkových slitin je vyhodnocena dle specializovaných normalizovaných zkoušek. Mezi používané zkoušky patří např. zkouška lámavosti, plechů a pásů střídavým ohybem, zkouška anizotropie plechů a pásů, zkouška prstence vnitřním přetlakem. U drátů je využívána zkouška střídavým krutem, jednoduchým krutem a pětčováním. U plechů a pásů jsou určovány součinitele plastické anizotropie a stanovován exponent deformačního zpevnění [18].

### 2.3.3 Svařitelnost

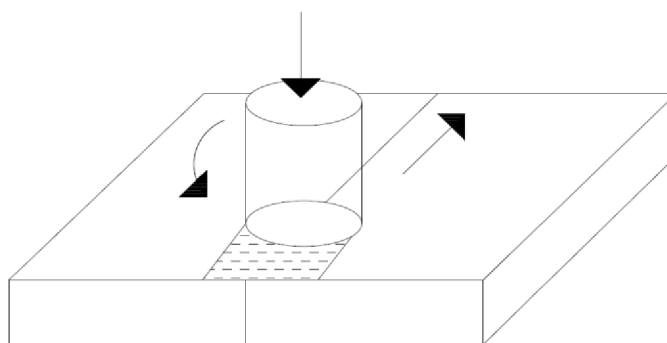
Ke spojování materiálů a tvorbě konstrukcí z hliníkových slitin jsou v největší míře využívány metody svařování. Celkové vlastnosti konstrukce jsou udávány vlastnostmi svarového spoje. Pokud je struktura svaru odlišná od základního materiálu, jsou ovlivněny mechanické, únavové vlastnosti a korozní odolnost spoje. Odlišná struktura a vlastnosti svarového spoje a základního materiálu je ovlivněna druhem svařovaného materiálu a svařovací technologií. Pro hliníkové slitiny je nejvíce využíváno tavné svařování, probíhající v ochranné atmosféře (argon nebo helium) za použití stejnosměrného, střídavého či pulsujícího proudu. Konkrétně se jedná o technologii MIG, která spočívá ve svařování hořícím obloukem mezi svařovaným materiálem a kovovou elektrodou v podobě přídavného materiálu. Druhou nejpoužívanější technologií je svařování metodou TIG, kde svařování probíhá hořícím obloukem mezi základním materiálem a netavitelnou elektrodou z wolframu a přídavný materiál dodáván během procesu. Nejlépe svařitelné jsou nevytvzované slitiny hliníku a slitiny AlMgSi a AlZnMg [18].

Pro spojování materiálů z hliníkových slitin je v současné době častěji využíváno svařování třením. Schéma postupu zobrazeno na obr. 2.2. Teplo nutné pro svařování dílů je vyvinuto díky vzájemnému rotačnímu pohybu obou svařovaných dílů [18].



Obr. 2.2 Schéma postupu svařování třením [18].

Moderní metodou spojování materiálů, je metoda FSW. Rotující nástroj má za úkol roztavit oba svařované materiály a vytvořit jednotný spoj. Schéma technologie zobrazeno na obr. 2.3. U této technologie není nutná přítomnost ochranné atmosféry při svařování [18]. Třecí svařování s promísením je využíváno od roku 1991. K dotýkajícím se materiálům je přiložen nástroj, u kterého jsou nastaveny požadované parametry a úhel naklonění. Metoda je využívána zejména u slitin hliníku, hořčíku či mědi. U slitin hliníku se jedná zejména o slitiny AlCu, AlMg, AlMgSi a AlZn [20].



Obr. 2.3 Schéma metody FSW [18].

Metoda FSW je energeticky efektivní jednoduchý princip svařování šetrný k životnímu prostředí. Ve svarovém spoji není nutná přítomnost tavné lázně. Při svařování je dosaženo teploty 0,7 - 0,9 násobku teploty tavení spojovaného materiálu. Výsledné spoje mají vysokou pevnost. Mezi výhody lze uvést, že spojování materiálů probíhá bez přídavného materiálu a to má za následek úsporu hmotnosti celkové konstrukce. Při nesprávném nastavení parametrů pro průběh svařování, jako jsou rychlost posuvu či nízké otáčky, mohou mít za následek objemové vady svaru. K analýze defektů jsou využívány nedestruktivní metody jako termografie, rentgenografie či testování vířivými proudy [21].

#### **2.4 Mechanické vlastnosti hliníkových slitin**

Volba materiálu a jeho použití je ve většině případů závislá na mechanických vlastnostech dané slitiny. Mezi nejdůležitější mechanické vlastnosti je řazena zkouška tlakem, tahem, tvrdosti a vrubová houževnatost. U hliníkových slitin jsou nejvíce využívány zkoušky tvrdosti. Jedná se o jednoduchou zkoušku bez nutnosti výroby zkušebního tělesa. Tvrdost hliníkových slitin a hliníku je nejčastěji určena metodou měření dle Brinella. Hliník nejvyšší čistoty dosahuje hodnoty tvrdosti 15 HB. Nejvyšší tvrdosti je dosaženo u vysokopevné vytvrzovatelné slitiny Al-Zn-Mg-Cu, která dosahuje hodnoty až 140 HB. Na rozdíl od praxe se ve výzkumné oblasti využívá měření tvrdosti podle Vickerse [18].

Zkouška rázem v ohybu dle Charpyho je slitin hliníku nejvyužívanější zkouškou vrubové houževnatosti. U čistého hliníku a měkkých slitin není tato zkouška využívána, protože nedochází k přelomení vzorku. Využívá se proto zejména u vysokopevných slitin. Hliníkové slitiny za nízkých teplot nejsou náchylné ke křehkému lomu. Nejvyužívanější zkouškou pro identifikaci mechanických vlastností hliníkových slitin je zkouška tahem. Z této zkoušky jsou vyhodnocovány parametry meze pevnosti  $R_m$ , meze  $R_{p0,2}$ , tažnosti A a kontrakce Z. Celkové mechanické vlastnosti jsou závislé nejen na chemickém složení slitiny, ale také na tepelném zpracování a také tloušťce materiálu. Výše pevnosti slitiny je ovlivněna obsahem legujících prvků. Nižší mez pevnosti mají slitiny určené pro slévárství. Důvodem je jejich hrubozrnná nestejnoroďá struktura. Zvýšení pevnosti je možné pomocí tváření, přidáním legujících prvků rozpuštěním v tuhém roztoku případně precipitací a vytvrditelných slitin hliníku [18].

#### **2.5 Chemické složení slitin hliníku**

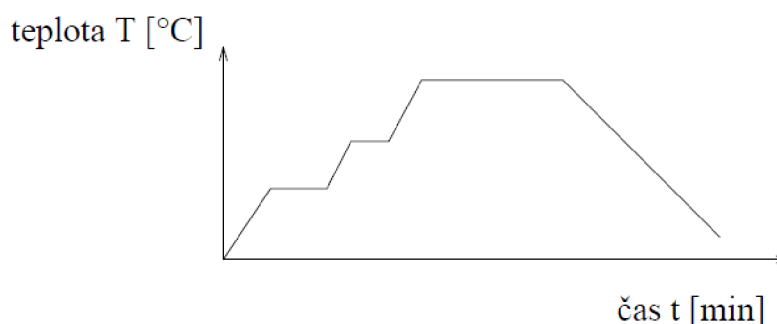
Mimo základní prvek (hliník) jsou slitiny složeny z hlavního přísadového prvku, vedlejších přísadových prvků a doprovodných prvků. Hlavní přísadové prvky ovlivňují celkové vlastnosti a ve slitině tvoří druhý nejvyšší obsah. Vlastnosti jsou zlepšeny vedlejšími přísadovými prvky. Zejména se pak jedná o zvýšení mechanických vlastností, zlepšení obrobiteľnosti, kompenzace negativních účinků doprovodných prvků. Dále jsou důležité kvůli tepelnému zpracování. Na rozdíl od hlavního přísadového prvku může být vedlejších prvků více. Doprovodné prvky nebyly do slitiny dodávány účelně. Pokud je překročena definovaná hranice obsahu těchto prvků, jsou zhoršeny vlastnosti slitiny (mechanické, chemické či technologické) a jsou považovány za nečistoty. Do slitiny se tyto prvky mohou dostat během tavení z vyzdívky nebo z tavných přípravků či nářadí. Vsázkové suroviny jsou také zdrojem

doprovodných prvků. Přetavovaný šrot představuje velký zdroj nečistot. Odstranění těchto nečistot je velmi komplikované a snížení obsahu na definovanou hranici je možné realizovat pouze pomocí ředění čistými surovinami. Slitiny jsou dále děleny dle počtu přísadových prvků na binární (základní a přísadový prvek), ternární (základní prvek, hlavní prvek a jeden vedlejší přísadový prvek) a vícesložkové (více přísadových prvků) [16].

## 2.6 Tepelné zpracování hliníkových slitin

U slitin hliníku je nejčastěji využíváno žihání a vytvrzování. Nejčteněji využívané je rekrytalizační žihání. Toto žihání je nejčastěji využíváno jako mezioperace při tváření za studena. Pokud je u slitiny požadována vysoká pevnost a tvárnost materiálu, může být využito i jako konečná operace po tváření. Teplota procesu je udávána jako 300–500 °C. U odlitků, u součástí tvářených za tepla složitých z hlediska tvaru a u součástí po svařování je využíváno žihání na odstranění pnutí. Pnutí klesá od teploty 200 °C, ale využíváno je zejména za teplot 300–400 °C. Ke stabilizaci struktury a vlastností slitin hliníku je využíváno stabilizační žihání. Používáno je zejména u dílů, které jsou určeny k plnění funkce za zvýšených teplot po delší dobu provozu. Teploty žihání se pohybují mezi 240–350 °C. Pokud je vytvrzená slitina určena k dalšímu tváření, je nutné, aby proběhl proces odpevnění. Využívá se žihání mezi teplotami 350–450 °C [15].

Precipitační vytvrzování je neúčinnějším tepelným zpracováním hliníkových slitin. Proces je složen z rozpouštěcího žihání následované stárnutím. Využívá se pro zlepšení mechanických, fyzikálních i technologických vlastností. Rozpouštěcí žihání probíhá ohřevem materiálu na požadovanou teplotu rozpouštění a následné výdrži na této teplotě. Jakmile jsou intermetalické fáze přeměněny na tuhý roztok, je nutné ochlazení materiálu kritickou rychlostí. Pro slitiny hliníku je využíváno vody s teplotou 20–40 °C jako ochlazovací médium. U tenkostěnných součástí je využíváno rychlosti 600–800 °C za sekundu. Tímto je získán prosycený tuhý roztok  $\alpha$ . Následuje proces stárnutí, kdy jsou změněny substrukтуры, které mají vliv na mechanické, fyzikální a technologické vlastnosti. Využíváno je přirozené stárnutí (za pokojové teploty) nebo umělé stárnutí (za zvýšených teplot). Existuje i varianta stupňovitého stárnutí, kdy je proces rozpouštěcího žihání realizován při zvyšovaných dvou a více teplotách. Schéma lze vidět na obr. 2.4 [15, 18].

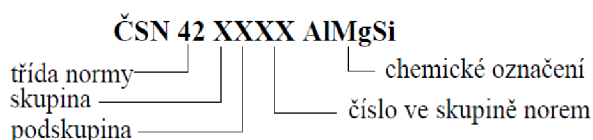


obr. 2.4 Schéma trojstupňového stárnutí [18].



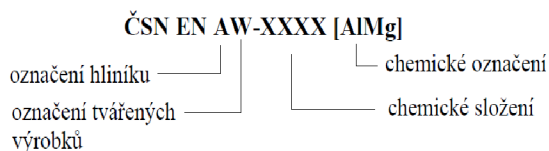
## 2.7 Označení hliníkových slitin

V České republice je značení hliníkových slitin řízeno dle norem ČSN EN a ČSN. V případě značení dle ČSN, označení obsahuje šestimístné číslo doplněné o zkratku ČSN. Sudé číslice podskupiny označuje slitiny vhodné pro tváření (číslice 2 a 4) a lichá číslice slitiny vhodné pro odlitky (číslice 3 a 5). Vzorové označení zobrazeno na obr. 2.5. Označení ČSN EN je následováno označením druhu hliníkové slitiny. Slitiny hliníku pro tváření jsou označovány dle ČSN EN 573-1 až 3, zatímco slitiny pro odlitky dle ČSN EN dle ČSN EN 1706. Vzorové označení zobrazeno na obr. 2.6. Chemické složení slitin pro tváření je označováno čtyřmístným číslem a u slitin pro odlitky číslem pětimístným. Tímto číslem je značena skupina dle chemického složení slitiny. Číslo na prvním místě značí dělení dle hlavních slitinových prvků (tab. 2.2). Číselné označení bývá následované doplňkovým označením v podobě značek chemických prvků. Po chemickém označení je uvedena čistota hliníku vyjádřena v procentech [17, 18].

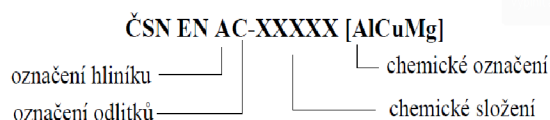


Obr. 2.5 Způsob označení slitin hliníku dle ČSN [17, 18]

a) Označení slitin hliníku pro tváření



b) Označení slitin hliníku pro odlitky



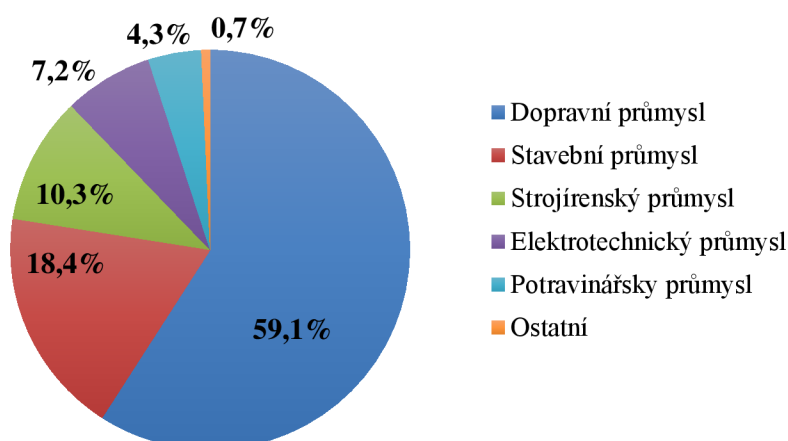
Obr. 2.6 Způsob označení slitin hliníku dle ČSN EN [18].

Tab. 2.2 Označení řad hliníkových slitin dle ČSN EN [18].

Řada	Název	Řada	Název
1	Al min. 99 %	5	Slitina AlMg
2	Slitina AlCu	6	Slitina AlMgSi
3	Slitina AlMn	7	Slitina AlZn
4	Slitina AlSi	8	Slitina Al + další prvky

## 2.8 Využití hliníkových slitin

Hliník je řazen mezi nejvíce rozšířené prvky na zemi, proto je v současné době pole jeho využití velmi široké. První průmyslové využití hliníku je datováno do 19. století, do stavebnictví. K výraznému rozšíření hliníku v oblasti průmyslu bylo dosaženo po druhé světové válce. Mezi oblastmi využití je řazen zejména dopravní průmysl, ve kterém je využití hliníkových slitin nejvíce rozšířené. Využití hliníkových slitin dle jednotlivých průmyslů zobrazeno na grafickém zobrazení na obr. 2.7 [18].



Obr. 2.7 Grafické zobrazení využití hliníkových slitin.

### 2.8.1 Hliníkové slitiny v dopravním průmyslu

Hliníkové slitiny v dopravním průmyslu jsou využívány zejména v leteckém, automobilním, námořním průmyslu, kolejové dopravě a kosmonautice. Hliníkové slitiny jsou nejvíce využívány v leteckém průmyslu, a to zejména díky jejich nízké hmotnosti a velmi dobrých mechanických vlastností pod bodem mrazu. Využitelné jsou zejména při konstrukci křídel a trupu u letadel. Využívané jsou AlMgSiCu, AlMgSc, AlMgLi a AlCuMg<sub>2</sub>. Mezi alternativní možnosti patří hořčíkové slitiny, které ale na rozdíl od hliníkových slitin, nejsou tolik vhodné pro namáhané součásti při vysokých napětí [18].

U výrobců leteckých dopravních prostředků je v současné době trendem snižování nákladů spojených s provozem. Jedná se zejména o snižování spotřeby paliva, náklady na údržbu, provozní náklady, četnost pravidelných kontrol, zvyšování životnosti a rozšiřování kapacitního prostoru. Snižování hmotnosti snížením hustoty materiálů, využitých při výrobě letadel je 3–5x účinnější než zvýšení pevnosti v tahu či modulu pružnosti. Hliníkové slitiny jsou již delší dobu hlavním konstrukčním materiálem. Alternativou jsou kompozitní materiály, díky kterým jsou výrobci nuceni neustále zlepšovat vlastnosti hliníkových slitin pro udržení konkurenceschopnosti [22].

Vývoj v automobilovém průmyslu je zaměřen na konstrukce nízkých hmotností a tenkostěnné komponenty. K těmto účelům jsou využívány zejména slitiny hliníku a slitiny hořčíku. Oba materiály disponují nízkou hustotou ( $\rho_{\text{Al}}=2,7 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{Mg}}=1,7 \text{ g/cm}^3$ ). Hořčíkové slitiny jsou na rozdíl od hliníkových hůře tvarovatelné, proto zatím nejsou na automobilovém trhu tak rozsáhlé. Nejvíce využívané jsou slitiny Al-Mg a Al-Mg-Si, které vykazují dostatečné pevnosti a dobrou tvarovatelnost. Pro tažené komponenty (např. nárazníky) jsou využívány slitiny Al-Zn-Mg-Cu [23].

Z hliníkových slitin jsou vyráběny odlitky jako bloky motorů, písty, hlavy válců, převodovky, hliníková kola, součásti brzd, řadičí páky, součásti klimatizací a mnoho dalších. [24]. Pro další snížení hmotnosti je snahou nahradit podíl odlitků z hliníku za hliníkové profily a plechy. Důvody jsou dobré možnosti oprav, vyšší životnost, dobré deformační schopnosti případně jsou vhodné i pro kombinaci s jinými materiály. V rámci silniční dopravy jsou hliníkové slitiny využívány pro výrobu většiny komponent jízdních kol [18].

### 2.8.2 Hliníkové slitiny ve stavebnictví

Hliníkové slitiny jsou hojně využívány také ve stavebním průmyslu. V současné době se využití hliníkových slitin ve světě rozmohlo v podobě fasádních prvků, oken a dveří. Využívané jsou u veřejných prostorů, nákupních center, kancelářských budov, benzinových stanic či např. průmyslových staveb (střešní světlíky, výlohy prodejen apod.). U prvků z hliníkových slitin je garantován dlouhodobý moderní vzhled, dobrá odolnost vůči korozi či pestrá škála barevnosti. Mezi výhody dále patří dobrá udržitelnost prvků a nízká hmotnost materiálů. Montáž těchto prvků není řazena mezi složité. Při realizaci staveb je ve stavebnictví hojně využíváno také trubkové lešení z hliníkových slitin, případně plošiny, žebříky a schůdky [18].

Mosty z hliníkových slitin nejsou ve světě tak rozšířeny, jako mosty ocelové či betonové. Mosty z hliníkových slitin jsou většinou omezovány na konstrukce menších rozměrů. Ve světě je využití hliníkových mostů rozdílné. V severní Americe jsou hliníkové mosty většinou součástí cest, po kterých je vedena doprava, zatímco na evropském kontinentu jsou mosty z hliníkových slitin využívány spíše pro chodce a pěší účely. Konstrukce mostů z hliníkových slitin je finančně náročnější než budování ocelových mostů [25]. U skladů, sportovních hal či dalších prostorných budov jsou střechy konstruovány také z hliníkových slitin. Důvodem je nízká váha materiálu spojená s nenáročnou údržbou díky dobré odolnosti vůči korozi [26].

### 2.8.3 Hliníkové slitiny ve strojírenství

Strojírenský průmysl je ve světě třetím nejrozšířenějším spotřebitelem. Díky jejich výhodám jsou z hliníkových slitin konstruovány součásti strojů a zařízení ve vysokých počtech. Nejčastěji jsou součásti vyrobeny metodou přesného lití. Využívané jsou práškové slitiny hliníku, kompozitní materiály s hliníkovou maticí nebo pěnový hliník. Práškové hliníkové slitiny jsou získávány metodou práškové metalurgie. Výhodou je jejich nízká měrná hmotnost a mezi dalšími i dobré lomové vlastnosti a vysoké teplotní a elektrické vodivosti a dobrá obrobitelnost. Dělení slitin, které je možné získat pomocí metody rychlého tuhnutí, jsou dále děleny jako slitiny vysoce pevné otěruvzdorné a korozivzdorné, pro použití za zvýšených teplot (480 °C) a slitiny s nízkou měrnou hmotností a zvýšeným modulem pružnosti [18].

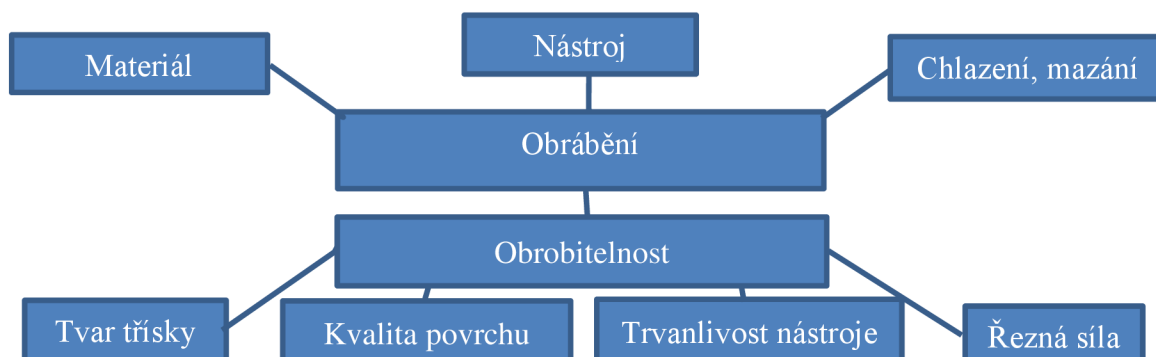
Kompozitní materiály s hliníkovou maticí jsou díky dobré odolnosti proti opotřebení a nízké výrobní toleranci výsledných komponent využívány k výrobě strojních součástek. Při výrobě strojních součástek jsou kompozitní materiály voleny přesně dle požadovaných vlastností výrobku. Příkladem je pístní kroužek u spalovacích motorů, u kterého jsou splněny podmínky dobré tepelné vodivosti s dobrým koeficientem tepelné roztažnosti a velmi dobrou odolností proti opotřebení. U pěnového hliníku se jedná o materiál, který je tvořen hliníkem a jeho slitinami, které vyplňují prostor mezi póry plynů. Mezi výhody, ovlivňující zvyšující se popularitu, patří nízká hustota, vysoká tuhost, houževnatost, nízká teplota tavení, schopnost pohlcovat nárazovou energii, dobré tlumící schopnosti, recyklovatelnost a zdravotní nezávadnost. U pěnového hliníku se jedná o materiál, který je tvořen hliníkem a jeho slitinami, které vyplňují prostor mezi póry plynů. Menší póry, nepravidelný tvar, tenké stěny a nerovnoměrná struktura značí pěny vytvořené ze slitin pro odlévání. Pěny vytvořené ze slitin pro tváření mají kruhové a větší póry s hrubšími stěnami [18].

### 3 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ PRO OBRÁBĚNÍ AL SLITIN

Před identifikací řezných materiálů vhodných pro obrábění hliníkových slitin, jsou v této kapitole nejdříve vysvětleny pojmy jako obrobiteľnost materiálu, trvanlivost a řezivost nástrojů. Následně jsou popsány řezné materiály pro obrábění hliníkových slitin jako HSS oceli, slinuté karbidy a polykrystalické diamanty.

#### 3.1 Obrobiteľnost materiálu

Jedná se o souhrn několika faktorů, pomocí kterých je docíleno finálního tvaru výrobku. Schéma parametrů obrobiteľnosti zobrazeno na obr. 3.1 [18]. Obrobiteľnost je definována jako „*míra schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracován některou z metod obrábění*“ [27]. U materiálu se jedná o velmi důležitou vlastnost, ovlivňující výběr řezných podmínek. Faktory ovlivňující obrobiteľnost jsou mikrostruktura, chemické složení, tepelné zpracování, fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu. Dále je obrobiteľnost materiálu ovlivněna zvolenou metodou obrábění, způsobem výroby, geometrií nástroje, řeznými podmínkami, prostředím a druhem nástrojového materiálu. Pro určení obrobiteľnosti je porovnávána konkrétní vlastnost materiálu s jiným materiálem (etalonem), za stejných provozních podmínek. Nejčastěji jsou srovnávány teploty řezání, tvorba třísky, struktura povrchu po obrábění, velikost řezných sil, případně velikost řezné rychlosti při předem určené trvanlivosti. Rozdělení skupin materiálu dle obrobiteľnosti je zobrazeno v tabulce tab. 3.1 [19, 28].



Obr. 3.1 Schéma parametrů obrobiteľnosti [18].

Tab. 3.1 Skupiny obrobiteľnosti dle druhu materiálu [19].

Označení skupiny	Konstrukční materiál
a	Litiny
b	Oceli
c	Těžké neželezné kovy (měď, slitiny mědi)
d	Lehké neželezné kovy (hliník, slitiny hliníku)
e	Plastické hmoty
f	Přírodní nerostné hmoty
g	Vrstvené hmoty
h	Pryže
v	Tvrzené litiny pro výrobu válců

Pro každý obráběcí proces je zkouška obrobitelnosti provedena zvlášť, jelikož stupeň obrobitelnosti se liší dle zvolené metody. Využívány jsou dlouhodobé a krátkodobé zkoušky obrobitelnosti. Při dlouhodobé zkoušce obrobitelnosti jsou nastaveny konstantní řezné podmínky pro proces frézování případně soustružení. Během zkoušky jsou postupně zvyšovány řezné rychlosti dle předpisu pro daný druh nástroje a zkouška je ukončena až při dosažení hranice opotřebení břitů. Výsledkem je řezná rychlost, která odpovídá určité době trvanlivosti ( $v_{c15}$  případně  $v_{c30}$ ). Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti jsou využívány pro třídění materiálu do skupiny, dle stupně obrobitelnosti. Výhodou je, jak již název napovídá, jejich krátký a rychlý průběh. Cílem zkoušky může být rychlé přezkoumání, zda u dodávky stejného druhu materiálu nedošlo ke změně třídy obrobitelnosti [27].

Označení obrobitelnosti je tvořeno společně s písemným označením skupiny materiálu také číselným označením indexu obrobitelnosti, které je definováno následujícím vztahem 3.1 [19]:

$$i_o = \frac{v_{c15}}{v_{c15 \text{ etalonu}}} [-], \quad (3.1)$$

Kde:

$i_o$  ... Index obrobitelnosti [-],

$v_{c15}$  ... řezná rychlost při obrábění zkoušeného materiálu a trvanlivost 15 minut [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$v_{c15 \text{ etalonu}}$  ... řezná rychlost při obrábění etalonu a trvanlivost 15 minut [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ].

Kvociet etalonového materiálu je určen jako  $q = 1$ . Řezné rychlosti jsou od vedlejší hodnoty vyšší, případně nižší, o násobek  $q = 1,26$ . Skupiny obrobitelnosti pro slitiny hliníku jsou zobrazeny v tab. 3.2. V případě, že nižšího indexu obrobitelnosti je obrobitelnost materiálu horší, než u etanolu. Vyšší hodnota značí lepší obrobitelnost. K hodnocení obrobitelnosti je zahrnována i řezivost nástrojového materiálu využitého při experimentu. Zkoušky obrobitelnosti je nutné provádět za normovaných požadavků, s doporučenými nástroji a řeznými podmínkami [19, 28].

Tab. 3.2 Skupiny obrobitelnosti slitin hliníku [19].

Index obrobitelnosti $i_o$			Slitiny hliníku
Kvociet	Střed	Rozsah	
$1,26^{-6}$	0,25	0,23–0,28	4d
$1,26^{-5}$	0,32	0,29–0,35	5d
$1,26^{-4}$	0,40	0,36–0,44	6d
$1,26^{-3}$	0,50	0,45–0,56	7d
$1,26^{-2}$	0,63	0,57–0,71	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72–0,89	9d
$1,26^0$	1,00	0,90–1,12	10d
$1,26^1$	1,26	1,13–1,41	11d
$1,26^2$	1,59	1,42–1,78	12d
$1,26^3$	2,00	1,79–2,24	13d
$1,26^4$	2,50	2,52–2,82	14d
$1,26^5$	3,15	2,83–3,55	15d
$1,26^6$	4,00	3,56–4,47	16d

### 3.2 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost nástroje je určena sčítáním každého čistého času řezání od počátku procesu obrábění do té doby, než je břit opotřebován na definovanou hodnotu předem zvoleného kritéria. Kvalita povrchu, tvar a rozměry obrobenej součásti musí být zachovány po dobu trvanlivosti nástroje. Součtem všech dílčích trvanlivostí nástroje, od počátku činnosti až po jeho vyloučení je formulována životnost. Vztahem 3.2 je vyjádřena životnost nástroje, který je možný přebrousit a dle vztahu 3.3 je stanovena životnost nástrojů s VBD [19].

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x + 1) \cdot T \text{ [min]}, \quad (3.2)$$

Kde:

Z ... Životnost nástroje [min],

$T_i$  ... dílčí trvanlivosti [min],

T ... aritmetický průměr dílčích hodnot  $T_i$  [min],

x ... počet ostření nástroje [-].

$$Z_{VBD} = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T \text{ [min]}, \quad (3.3)$$

Kde:

$Z_{VBD}$  ... Životnost nástroje s VBD [min],

$T_i$  ... trvanlivosti dílčích ostří VBD [min],

T ... aritmetický průměr dílčích hodnot  $T_i$  [min],

q ... počet využitelných ostří VBD [-].

Metoda obrábění, řezné podmínky a vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu ovlivňují trvanlivost. Nejvíce je trvanlivost ovlivněna řeznou rychlostí. Vyjádření je možné pomocí T-vc závislosti (vztah 3.4 případně 3.5) [19].

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min]}, \quad (3.4)$$

Kde:

T ... Trvanlivost nástroje [min],

$C_T$  ... konstanta Taylorova vztahu [-],

$v_c$  ... řezná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ],

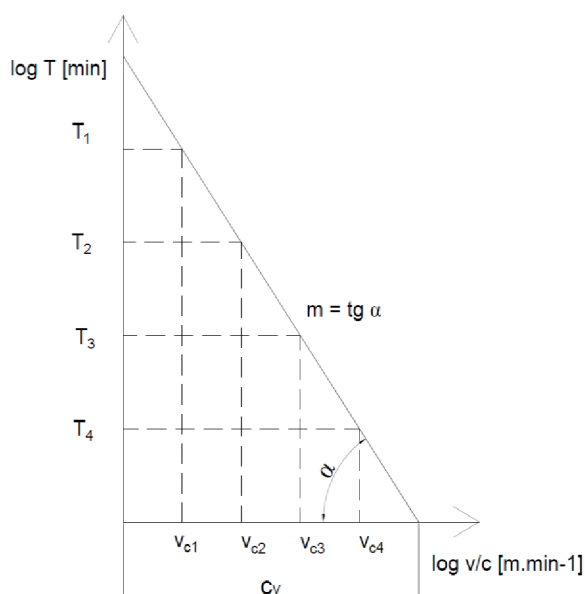
m ... exponent Taylorova vztahu [-].

$$v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}, \quad (3.5)$$

Kde:

$C_v$  ... Konstanta [-].

T-vc závislost je určena při obrábění jedním nástrojem s konstantními řeznými podmínkami při minimálně čtyřech odlišných řezných rychlostech. Časově je pozorováno zvyšující se opotřebení nástroje. Na obr. 3.2 je graficky zobrazena závislost T-vc. Sklon přímky grafického zobrazení  $m = \operatorname{tg} \alpha$  je dán úhlem  $\alpha$  a exponentem  $m$ , dle zvoleného nástrojového materiálu. Hodnota  $\alpha$  značí úhel sklonu přímky. V praktickém hledisku jsou využívány vztahy 3.6 a 3.7 a to z důvodu, že podmínky jako posuv na otáčku a šířka záběru ostří nemusí být konstantní [19].



Obr. 3.2 Grafické znázornění závislosti T-vc [19].

$$v_{cT} = \frac{C_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} [m \cdot \min^{-1}], \quad (3.6)$$

Kde:

$v_{cT}$  ... Řezná rychlost při trvanlivosti  $T = \text{konst.}$  [ $m \cdot \min^{-1}$ ],

$C_{vT}$  ... konstanta Taylorova vztahu při trvanlivosti  $T = \text{konst.}$  [-],

$x_v$  ... exponent, vliv hloubky řezu [-],

$y_v$  ... exponent, vliv posuvu na otáčku [-].

$$v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}} a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} [m \cdot \min^{-1}], \quad (3.7)$$

### 3.3 Řezivost nástroje

Řezivost je definována jako vlastnost nástroje účinně ubírat třísku z obráběného materiálu. Řezivost je závislá na mechanických, fyzikálních vlastnostech nástrojů, jejich geometrii, zvolené metodě obrábění, volbě řezných podmínek nebo prostředí. Nejdůležitějším faktorem jsou mechanické podmínky obráběného materiálu. Totožný nástroj tedy může vykazovat odlišné výsledky při obrábění více druhů

materiálu. Řezivost může být hodnocena dle  $T-v_c$  závislosti (vztah 3.5). Pokud materiál disponuje konstantou  $C_v$  vyšší hodnoty a zároveň materiálovým exponentem  $m$  nižší hodnoty, výsledkem je lepší řezivost nástrojového materiálu. Srovnání nástrojových materiálů a jejich exponentů v tab. 3.3 [19].

Tab. 3.3 Srovnání charakteristik nástrojových materiálů [19].

Materiál nástroje	Exponent $m$ [-]	Úhel $\alpha$ [°]
Nástrojové oceli	10–8 (až 6)	84–83
Rychlořezné oceli	8–5 (až 3)	83–79
Slinuté karbidy	5–2,5 (až 2)	79–68
Řezná keramika	2,5–1,5 (až 1,2)	68–56

### 3.4 Nástrojové materiály

Efektivita procesu obrábění je ovlivněna volbou materiálu řezného nástroje. Žádný řezný materiál není vhodný k univerzálnímu použití. Z tohoto důvodu je ke konkrétnímu obráběnému materiálu vybrán nejvhodnější řezný nástroj splňující požadované parametry. Mimo nástrojový materiál musí být u nástroje splněna i další kritéria jako např. geometrie a rozměry nástroje. Volba nástroje je závislá na rozměrech a tvaru obrobku, druhu obráběného materiálu, jeho chemickém složení, odolnosti proti opotřebení, technologii výroby polotovaru, sériovosti výroby, procesní kapalině, druhu řezu, volbě obráběcího stroje a finančním nákladům provozu. Tvrdost, tepelná vodivost, houževnatost a pevnost v ohybu při vysokých teplotách a delší výdrži jsou řazeny mezi další požadované vlastnosti u nástrojového materiálu [27, 28].

Materiály nástrojů disponující vysokou tvrdostí, jsou určeny pro použití za vysokých řezných rychlostí a třisek malých průměrů, tedy při dokončovacím obrábění. Při těchto procesech je tepelné zatížení vyšší, než mechanické zatížení. Vysoce houževnaté nástrojové materiály jsou využívány za vysokých posuvových rychlostí, tedy při hrubovacích operacích. U průřezu třísky větších rozměrů je mechanické zatížení vyšší než tepelné. Nejvyšším modulem pružnosti, ohybovou pevností a lomovou houževnatostí disponují slinuté karbidy, které jsou využívány pro těžké přerušované řezy, za využití vysokých posuvových rychlostí. Vysoké řezné rychlosti nelze u slinutých karbidů využít z důvodu jejich nízké termomechanické stability. Při aplikaci povlaků u slinutých karbidů dochází k tvorbě pevného a houževnatého karbidového podkladu s termomechanicky stabilními a tvrdými povlaky, pomocí kterých je umožněno obrábění při vysokých řezných a posuvových rychlostí [32].

Materiály s velmi vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení jsou syntetické diamanty a kubické nitridy boru. Jejich využití je omezeno a to z důvodu jejich ceny a náklonosti k reakci s vybranými obráběnými materiály. Diamant není možné využít pro obrábění ocelí a litin a to z důvodu náklonosti uhlíku k železu. V současné době je vývoj nástrojových materiálů zaměřen na obrábění materiálů, které jsou hůře obrobitelné a které ve světě strojírenství nachází čím dál větší rozvoj. Polykrystalický diamant je využíván pro obrábění slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku, neželezných materiálů a keramiky. Využití je možné až do řezné rychlosti  $5000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Nástroje z polykrystalického nitridu boru je možné využít pro obrábění tvrdých kalených materiálů s minimální tvrdostí 45 HRC [19, 31].



### 3.4.1 Rychlořezné nástrojové oceli (HSS)

Jedná se kategorii vysoce legovaných nástrojových ocelí, které jsou určeny pro výkonné nástroje. HSS oceli (High-speed steel) obsahují uhlík společně s legujícími prvky jako wolfram, chrom, vanad, molybden a kobalt. HSS oceli jsou využívány pro obrábění ocelí, které jsou vysoce pevné a tvrdé a těžkoobrobitelné. Vhodnost použití je určována dle vlastností a obsahu legujících prvků. Mezi základní vlastnosti patří jejich střední odolnost proti opotřebení a vysoká lomová pevnost. Rychlořezné oceli jsou využívány pro výrobu výstružníků, vrtáků, závitníků, fréz, protahovacích trnů, tvarových nástrojů a nástrojů, které jsou při přerušovaném řezu vystavovány rázům. Využití nástrojů je možné při řezných rychlostech 25–50 m.min<sup>-1</sup> a teplotách bříty 500–700 °C. Pro produktivní využití obráběcího procesu za použití nástrojů z rychlořezné oceli je nutná vhodná volba procesní kapaliny [29].

U vysokolegovaných ocelí (HSS) jsou díky přítomnosti uhlíku tvořeny karbidy, zvyšující odolnost proti otěru a také určující tvrdost matrice. Vznik precipitačních karbidů umožňují wolfram a molybden během procesu popouštění. Pomocí těchto prvků je zvyšována tvrdost a pevnost materiálu. Hloubka prokalitelnosti je zvyšována přítomností chromu v oceli, který umožňuje tvorbu rychle rozpustných karbidů. Zvláštní karbidy, které disponují nejvyšší tvrdostí, jsou produkovány díky přítomnosti chemického prvku vanad. Přítomností tohoto prvku, je zvyšována také odolnost proti otěru, tvrdost a pevnost za vysokých teplot. Dalším prvkem je kobalt, zvyšující tvrdost a pevnost martenzitické matrice za tepla a přispívající disperznímu vytvrzování intermetalickými fázemi [27].

Kalením na martenzit a způsobem vylučování karbidotvorných prvků je ovlivněna tvrdost oceli. Vysoké obsahy legujících prvků pozitivně ovlivňují prokalitelnost a umožňují potřebu nižších ochlazovacích rychlostí, které snižují riziko vzniku deformací. Při kalení rychlořezných ocelí probíhá stupňovité ochlazování na rozdíl od uhlíkových a nízkolegovaných. Důvodem je citlivost vysokolegovaných ocelí na prudký ohřev, tedy jejich tepelná vodivost za nízkých teplot je menší než u nelegovaných ocelí. Jako kalící prostředí je využíván vzduch, proudící vzduch případně olej v závislosti na průměru nástroje. Výhodné je také termální kalení do lázně o teplotě cca 500 °C následované ochlazením na vzduchu. Po zakalení následně probíhá popouštění za teplot 540–590 °C, dle druhu oceli a následuje ochlazování na vzduchu. Během cyklů popouštění dochází k rozpadu zbytkového austenitu na martenzit [27, 28].

Rychlořezné oceli vyrobené technologií práškové metalurgie, jsou v současné době čím dál více využívány. Mezi výhody patří zlepšení houževnatosti, stálost rozměrů během tepelného zpracování, řezné vlastnosti a také velmi jemná struktura a rovnoměrné rozložení nekovových vměstků a karbidů v materiálu. Obsah legovaných prvků je vyšší než při výrobě HSS ocelí běžným způsobem tavení. Cíleno je dále na zvyšování tvrdosti bříty, odolnosti bříty za vysokých teplot během procesu obrábění, umožňující prodloužení trvanlivosti bříty a zvyšování řezných podmínek [27, 29].

Aplikací povlaků u nástrojů z HSS ocelí je zvyšována produktivita řezného procesu. Pro slitiny hliníku je vhodné využití povlaku CrN (nitrid chromu), který je dále vhodný i pro obrábění mědi. Povlak CrN je využíván také pro střížné a tvářecí nástroje z ocelí horší kvality. Nejlepších výsledků je dosaženo za teplot procesu 190–220 °C. Tento povlak vyčnívá schopností adhezního ulpívání a otěru obráběného materiálu a nižší tvrdostí. Pro obrábění slitin hliníku je dále vhodný povlak MoS<sub>2</sub> (bisulfid molybdenu), který je při použití kombinován s vrstvou povlaku TiN. Využíván je také pro obrábění niklu,

titanu, ušlechtilých kovů a mědi. Nástroje s povlakem  $\text{MoS}_2$  je možné využít při obrábění za studena nebo za minimálního využití chlazení. Dále jsou nástroje využívány tam, kde je hrozba vzniku studených svarů či nárůstků, z důvodu odolnosti proti přilnutí obráběného materiálu na povrch nástroje [27].

### 3.4.2 Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou vyráběny technologií práškové metalurgie. Jedná se o směs karbidů a kovového pojiva. Zejména se jedná o WC (karbid wolframu), TiC (karbid titanu), TaC (karbid tantalu) a NbC (karbid niobu). Jako kovové pojivo je ve většině případů využíván kobalt. Vlastnosti jako tvrdost, odolnost proti otěru a houževnatost jsou ovlivňovány obsahem jednotlivých prvků, proto u slinutých karbidů není nutná aplikace tepelného zpracování. Oproti HSS ocelím mají slinuté karbidy lepší otěruvzdornost a je možné jejich použití až do teplot břitů dosahujících  $900\text{ }^\circ\text{C}$ . Slinuté karbidy jsou hůře obrobitelné, mají sklon k drolení břitů a jsou velmi křehké. Úpravy slinutých karbidů je možné pomocí elektroerozivního obrábění, lapování, a broušení [28, 29].

Výroba slinutých karbidů spočívá ve spojení tvrdých částic karbidů ve formě prášku a pojiva procesem lisování následované slinováním při teplotě, která se blíží teplotě tavení pojiva. Výsledkem je jednotný materiál, který se tvrdostí blíží tvrdosti původních karbidů s vysokou pevností v tlaku případně i ohybu. Základní konstrukce je tvořena pojivem, které je obklopeno zrnky křehkých karbidů. Proces výroby slinutých karbidů je dělen na několik etap. Nejdříve jsou vyrobeny práškové komponenty (práškový wolfram, kobalt a práškové karbidy). Následně jsou připraveny práškové směsi, které jsou poté formovány. Dále probíhá předslinování směsí při teplotě  $700\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$  a úprava tvaru předslinovaného předmětu. Slinování probíhá za teplot  $1350\text{--}1650\text{ }^\circ\text{C}$  a v ochranné atmosféře nebo ve vakuu. Jako ochranná atmosféra je využíván čistý a vysušený vodík, s co nejmenším obsahem kyslíku. Taková atmosféra je využívána u slinutých karbidů WC-Co a WC-TiC-Co (s nízkým obsahem TiC). Finálním procesem je ochlazení, při kterém stále probíhá materiálová difuze, a proto mohou být finální vlastnosti slinutých karbidů ovlivněny rychlostí ochlazování [31].

Nepovlakované slinuté karbidy jsou rozděleny do skupin, dle obráběného materiálu. Přehled skupin je zobrazen v tab. 3.4 [27, 32]. Písemné označení je následováno dvoumístným číselným označením, které udává obsah pojiva. Vyšším číslem je značena vyšší houževnatost, pevnost v ohybu, nižší otěruvzdornost a tvrdost. Vyšší hodnota také značí možnost použití nástrojů s nižšími řeznými rychlostmi a vyšším posuvem. Slinuté karbidy s nižším obsahem pojiva a vyšším obsahem karbidů jsou více odolné proti difuzi a plastické deformaci a jsou křehké [19, 27].

Tab. 3.4 Rozdělení skupin SK dle použití [27, 32].

Označení skupiny	Použití
<b>P</b>	Uhlíkové (nelegované) oceli tř. 10,11,12 Nízko a středně legované oceli tř. 13 Legované oceli třídy 14,15,16 Feritické a martenzitické oceli (tř. 17) Nástrojové oceli tř. 19 Uhlíková ocelolitina ČSN 42 26xx Nízko a středně legované ocelolitininy ČSN 42 27XX
<b>M</b>	Austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žárupevné a žáruvzdorné Oceli nemagnetické a otěruvzdorné
<b>K</b>	Šedé litiny nelegované a legované ČSN 42 24xx Tvárné litiny ČSN 42 23xx Temperované litiny ČSN 42 25xx
<b>N</b>	Neželezné kovy, slitiny Al a Cu
<b>S</b>	Speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
<b>H</b>	Zušlechtilé oceli s pevností nad 1500 MPa Kalené oceli HRC 48–60 Tvrzené kokilové litiny HSh 55-85

Skupina slinutých karbidů bez povlaku určených pro soustružení hliníku je označena písmenem N a zelenou barvou. Hliníkové slitiny vytváří dlouhou třísku během procesu obrábění. Pokud je obsah nižší než 7–8 % křemíku, pak je možné využití karbidových tříd bez povlaku. Při obsahu více než 12 % Si, pak mají slitiny AL velmi abrazivní účinek. Pro soustružení hliníku je využívána vyměnitelná břitová destička (VBD) s ostrými břity a pozitivní geometrií, vzhledem k tomu, že čistý hliník ulpívá na břitu. U břitových destiček s ostrým břitem je možné obrábění za vysokých rezných rychlostí s dlouhou životností nástroje. Řezné síly a požadovaný výkon pro obrábění hliníku dosahuje nízkých hodnot [33].

Povlaky u slinutých karbidů jsou aplikovány z důvodu zvýšení houževnatosti a otěruvzdornosti. Nejlepších výsledků by bylo dosaženo s destičkou s houževnatým jádrem a tvrdým otěruvzdorným povrchem. Aplikovány jsou jednovrstvé či vícevrstvé povlaky, které jsou složeny ze dvou a více vrstev. V případě vícevrstevných povlaků jsou jednotlivé vrstvy povlaku postupně nanášeny na slinutý karbid. Tato vrstva má obvykle nižší odolnost proti opotřebení. Požadavkem je dobrá přilnavost vrstvy k povrchu. Další nanášené vrstvy musí splňovat dobrou přilnavost k vrstvě předchozí, tvrdost a odolnost proti opotřebení. Povlaky neobsahují pojivo, jsou jemněji zrnité a není u nich mnoho pórů či dutin. Představují překážku proti difúznímu opotřebení nástroje [19, 29].

Pro nanášení povlaku je využíváno dvou principů, metody PVD a CVD. Metoda PVD, neboli fyzikální napařování spožívá v nanášení za nízkých pracovních teplot pohybujících se okolo 400–600 °C. Při nízkých teplotách nedochází k tepelnému ovlivňování materiálu. Během procesu je postupně odpařován kov reagující např. s dusíkem, způsobující vznik tvrdého povlaku na povrchu nástroje. Využívána je pro VBD ze slinutých karbidů určených pro přerušované řezy. Aplikace povlaku

metodou PVD je možná i na ostré hrany a je orientována na houževnaté materiály. Příprava před aplikací povlaku je náročná, zahrnuje totiž nutnost odmaštění a vyčištění povrchu. Dále je využívána metoda CVD, neboli chemické napařování z plynné fáze. Proces této metody probíhá za vysokých teplot pohybující se okolo 900–1200 °C. Možné je nanášení vrstev větší tloušťky a také výtečná přilnavost vrstev k podkladovému materiálu. Nanášení povlaků je možné i u složitých tvarů. Využitím metody CVD je ovlivněn podkladový materiál a snížena ohybová pevnost. Aplikace na ostré hrany není možná a u povlaku vznikají zbytková tahová napětí. Povlaky CVD jsou nejčastěji využívány pro nástroje, u kterých je požadována vysoká odolnost proti otěru [19, 33].

Nástroje ze slinutých karbidů jsou běžně využívány pro obrábění hliníkových slitin. U SK nástrojů určených pro obrábění AL slitin nejsou využívány povlaky z důvodu možného zhoršení kluzných vlastností nástroje. Na rozdíl od obrábění ocelí není nutné chránit nástroje z SK před teplem. Nástroje lze využít při řezných rychlostech pohybujících se okolo 400 m.min<sup>-1</sup>. Pro obnovení původních vlastností řezného nástroje, je možné přebroušení. Počet možností přebroušení je ovšem omezený. Výhodou nástrojů SK je nízká pořizovací cena a snadná aplikace [34].

### 3.4.3 Polykrystalický diamant (PD)

Polykrystalický diamant (PD) patří společně s kubickým nitridem bóru do skupiny supertvrdých nástrojových materiálů. Jedná se o jeden z nejtvrdějších materiálů. Proces výroby spočívá ve slinování jemných krystalů za vysokých teplot a tlaků. Uspořádání krystalů je náhodné a proto není vytvořeno místo, které by mohlo být zdrojem lomu. Většinou je aplikována kombinace PD, ze kterého jsou vytvořeny břity osazené na VBD ze slinutých karbidů. Břity z PD disponují vyšší trvanlivostí a tělo z SK zvyšuje odolnost proti rázovým a tepelným šokům. Vlastnosti diamantů zobrazeny v tab. 3.5 [29, 31].

Tab. 3.5 Přehled mechanických vlastností monokrystalického a polykrystalického diamantu [31].

Vlastnosti	Monokrystalický diamant	Polykrystalický diamant
Měrná hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]	3,52	3,42–4,5
Délka strany kubické mřížky [nm]	0,3567	-
Pevnost v tlaku [GPa]	6,90–16,53	5,2–8,0
Pevnost v ohybu [MPa]	1 350	1 200–1 700
Tvrdost [HV]	5 700–13 000	5 000–8 000
Modul pružnosti v tahu [GPa]	820–1250	776–925
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	507	430
Lomová houževnatost [MPa.m <sup>1/2</sup> ]	3,4–4,2	6,0–11,0
Poissonovo číslo [-]	0,1–0,29	0,20
Součinitel délkové roztažnosti [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	0,8–4,8	3,2–4,6
Měrná tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	500–2 200	120–550
Teplotní stálost [°C]	600–700	-

Využití PD je směřováno na obrábění neželezných kovů, nekovových materiálů (hliník, slitiny hliníku, mědi, mosazi, titan, titanové slitiny, bronz, sklolamináty, skla,

dřevo apod.). Teplota tavení většiny materiálů dosahuje hodnoty pod 700 °C a nedisponují nákloností kuhlíku. Po dosažení teploty nad 650 °C, diamant mění svou formu na grafit, z důvodu absence teplotní stálosti. Vzhledem k vysokým řezným rychlostem při obrábění s nástrojem z PD, je nutné zajištění chlazení řeznými kapalinami, které jsou dodávány do místa řezu pod vysokým tlakem. Pro proces obrábění musí být zajištěno účinné odvádění třísky z místa řezu, dostatečná tuhost a výkon obráběcího stroje [28].

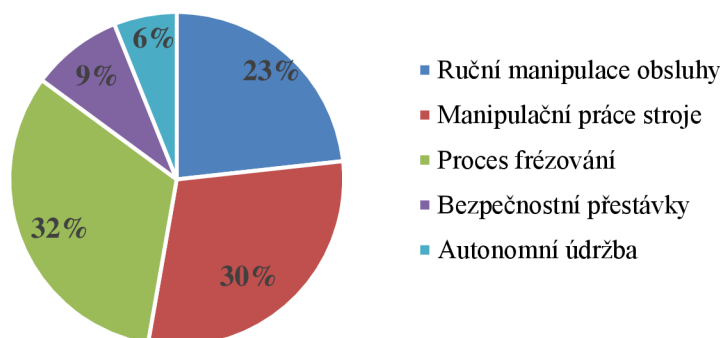
Ve srovnání nástrojů s břity PD pro obrábění AL slitin s nástroji ze slinutých karbidů, mají nástroje s břity z PD vyšší životnost. Na rozdíl od nástrojů ze slinutých karbidů není nutná častá výměna nástrojů a obrábění pomocí nástrojů s břity PD je efektivnější. Kvalita opracování je na vysoké úrovni a není proto nutné pro zlepšení kvality plochy využívat další technologie jako např. leštění. Využití nástrojů PD je vhodné i pro obrábění velmi složitých obrobků. U řezných rychlostí je možné dosáhnout hranice až 8 000 m.min<sup>-1</sup>, čímž je možné zvýšení produktivity výroby. Se zvyšujícími řeznými rychlostmi klesá trvanlivost daného nástroje. Poměrně zásadní nevýhodou nástrojů PD je jejich pořizovací cena. Vzhledem k ceně nového nástroje, je využívána možnost renovace, která u PD nástrojů spočívá ve výměně břitů. Náklad na renovaci se pak pohybuje cca okolo 40–60 % ceny nástroje [34].

### 3.5 Procesní kapaliny pro obrábění AL slitin

Při obrábění AL slitin je zvyšována přilnavost obráběného materiálu k obráběcímu nástroji, čímž je iniciována tvorba nárůstků. Vzhledem k tomu, že dochází k ovlivnění geometrie nástroje, hrozí snižování výkonu při obrábění. Následkem je horší kvalita povrchu. Hliník je chemicky reaktivní, proto může docházet k tvorbě skvrn na povrchu, v případě použití nevhodných aditiv v procesních kapalinách, které jsou vodou mísitelné. U kapalin pro obrábění hliníku je vyžadováno, aby obsahovaly dostatečné množství esterů či podobných mastných látek. Dále je u kapalin požadavek na dostatečnou odolnost proti korozi, nízkou náchylnost k tvorbě pěny a úměrnou hodnotu pH. Pro obrábění hliníku existují dva druhy vodou mísitelných obráběcích kapalin a to mikroemulze s nízkým obsahem minerálního oleje a vysokým obsahem syntetických esterů a syntetické roztoky bez minerálního oleje [30].

## 4 NÁVRH VHODNÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

Ve výrobě AL bylo pracoviště CNC obráběcího centra identifikováno jako úzké místo procesu výroby. Na obr. 4.1 je graficky znázorněno vytížení CNC obráběcího centra. Záměrem u daného pracoviště bylo zvýšení produktivity a efektivity řezného procesu. Jedním ze způsobů zvýšení efektivity pracovního procesu CNC obráběcího centra je analýza stávajících řezných nástrojů a jejich využití. Identifikace využití řezných nástrojů a následný návrh je popsán v této kapitole.



Obr. 4.1 Grafické znázornění vytížení CNC obráběcího centra.

### 4.1 Původní skladba nástrojů

Nástrojový zásobník CNC obráběcího centra Elumatec SBZ 140 je schopný pojmout celkem osm nástrojů. Na obr. 4.2 jsou zobrazeny nástroje v původním složení a v tabulce tab. 4.1 jsou uvedeny vybrané příklady využití těchto nástrojů. Nástrojem s nejčtetnějším využitím byla čelní stopková fréza  $\varnothing$  10 mm z HSS oceli. Tato fréza byla využívána pro naprostou většinu frézovaných otvorů. Jednalo se tedy i o nástroj s největší četností výměn z důvodu ztráty řezných schopností nebo zničení. Využití některých nástrojů nebylo zcela efektivní. Příkladem je čelní stopková fréza  $\varnothing$  16 mm, která byla využívána pouze pro jednu frézovací operaci. Kotoučová fréza společně s čelní stopkovou frézou  $\varnothing$  8 mm určená pro frézování PVC profilů, nebyly využívány téměř vůbec. Důvodem je převedení vybraných operací na jiná pracoviště výroby v minulých období.



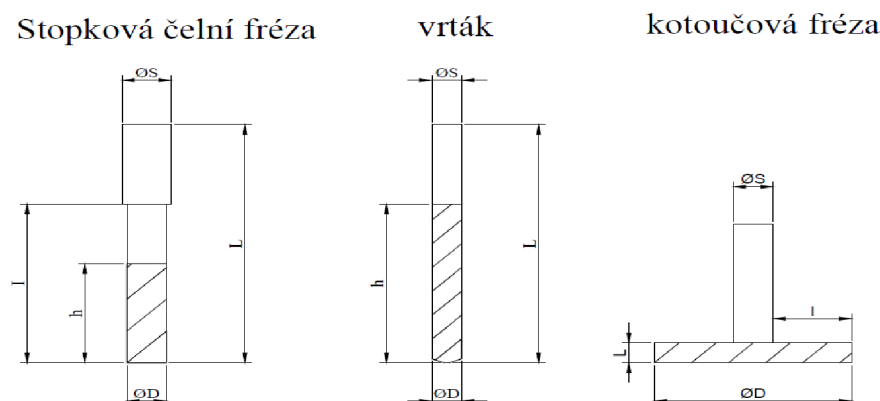
Obr. 4.2 Původní skladba nástrojů, zleva: HSS fréza  $\varnothing$  3 mm, SK fréza  $\varnothing$  5 mm, SK fréza  $\varnothing$  16 mm, HSS fréza  $\varnothing$  10 mm, HSS fréza  $\varnothing$  8 mm, vrták  $\varnothing$  3,5 mm, vrták  $\varnothing$  4,5 mm, kotoučová fréza.

Tab. 4.1. Původní skladba nástrojů a jejich využití.

Nástroj	Nástrojový materiál	Využití frézovacích operací
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 3 mm	HSS	Fixaci rohovníků, uchycení fasádních příček
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 5 mm	SK	Odvodnění, osazení zádržných spojek, osazení dveřního zavírače, magnetické kontakty, připevnění prahu, uchycení dělených garnitur
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 8 mm	HSS	Frézování otvorů v plastových materiálech
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 10 mm	HSS	uchycení štítových garnitur, dveřní závěsy, madla, kapsy zámků a protikusů, kabelovou průchodku, zámkovou vložku, skryté závěsy, skryté dveřní zavírače, zádržné spojky u fasád
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 16 mm	SK	Osazení čtyřhranu u kliky
Vrták $\varnothing$ 3,5 mm	HSS	Osazení okenního kování, připevnění zámků
Vrták $\varnothing$ 4,5 mm	HSS	Otvory skrytého odvodnění, odvodnění HS portálů, předvrtání otvorů v místech, kde není možné frézování ostatními nástroji
Kotoučová fréza $\varnothing$ 92 mm	HSS	Ofrézování zvýšené části profilu, ofrézování plochých maskovacích lišt pro HS portály, ofrézování části profilu

Nástroje původně využívané u CNC obráběcího centra jsou zobrazeny na obr. 4.3. Přehled jednotlivých rozměrů nástrojů společně s řeznými podmínkami je zobrazen v tab. 4.2. U nástrojů je důležitá dispozice poměrně dlouhého odlehčení nástroje. Důvodem je možnost frézování v blízkosti vyvýšené části úzkého profilu z AL slitiny, tzv. „praporku“. Dalším důvodem je frézování otvorů v různých hloubkách profilu. U těchto otvorů je nutné, aby bylo nástroji umožněno frézování v dané hloubce profilu. U nástrojů ze slinutých karbidů, je využíváno principu sousledného frézování. U nástrojů z HSS ocelí je naopak využíváno principů nesousledného

frézování, a to z důvodu nižších rázových sil. Tříška vzniká od nejnižší (tedy nulové) tloušťky třísky po největší. Nevýhodou je rychlé otupení nástrojů a kvalita povrchu [19].



Obr. 4.3 Schématické zobrazení nástrojů.

Tab. 4.2 Srovnání rozměrů a řezných podmínek nástrojů [35].

Nástroj	Nástrojový materiál	Celková délka L [mm]	Délka zanoření I [mm]	Řezná délka h [mm]	Stopka S [mm]	Otáčky n [min <sup>-1</sup> ]	Rychlost posuvu v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	Rychlost zanoření v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]
Stopková fréza ø 3	HSS	60	15	12	8	12 000	0,50	0,20
Stopková fréza ø 5	SK	80	40	14	8	15 000	0,70	0,28
Stopková fréza ø 8	HSS	70	28	22	10	3 900	0,50	0,30
Stopková fréza ø 10	HSS	100	58	22	10	5 700	0,50	0,20
Stopková fréza ø 16	SK	102	59	32	16	18 000	1,50	0,30
Vrták ø 3,5	HSS	70	55	37,5	3,5	3 000	-	0,50
Vrták ø 4,5	HSS	126,5	102	80	4,5	5 000	-	0,50
Kotoučová fréza ø 92	HSS	6	25	-	40	6 000	1,00	0,20

Využitím pouze jednoho nástroje na většinu frézovacích operací značí nízkou efektivitu obráběcího procesu. Vzhledem k faktu, že většina otvorů byla frézována nástroji z HSS oceli, výsledkem jsou nepříliš kvalitní hrany frézovaných otvorů s velkými otřepy po hranách těchto otvorů. Otřepy je nutné manuálně odstraňovat na následujících pracovištích v pozdějším stádiu výroby. Vzhledem k řezným podmínkám nízkých hodnot je frézování za použití frézy ø 10 mm z HSS oceli vyznačováno delším časem procesu frézování. S tím je spojena také zvýšená spotřeba řezných kapalin. Tento nástroj byl ve značné míře často vyměňován z důvodu jeho rychlého opotřebení či zničení. Z tohoto důvodu byly zvyšovány i náklady na nástroje.



## 4.2 Návrh nových řezných nástrojů

Pro zvýšení kvality frézovaných povrchů, času frézování a trvanlivosti nástrojů, bylo účelem nahradit nevyužívané nástroje, novými nástroji a rozdělit jednotlivé operace na více nástrojů. Vzhledem k neefektivnímu využití jednoho nástroje (stopkové čelní HSS frézy  $\varnothing$  10 mm) bylo cílem jeho nahrazení. Průměr 10 mm je pro poměrně velkou řadu frézovaných otvorů dostačující. Jako nástrojový materiál byl zvolen, zejména z důvodu nákupní ceny, slinutý karbid z důvodů zvýšení řezné rychlosti a zlepšení kvality obrobeneho povrchu. Dalším podnětem bylo rozdělení operací na více nástrojů. Pro porovnání byly vybrány parametry a řezné podmínky dvou nástrojů, konkrétně čelní stopkových fréz průměru 10 mm a 16 mm. Záměrem je využití nástrojů ze slinutých karbidů na většinu operací a omezení frézovacích procesů s využitím nástrojů z HSS oceli na pouze nezbytně nutné. V tabulce tab. 4.3 jsou pro srovnání zobrazeny doporučené řezné podmínky nástroje HSS společně s doplněnou nákupní cenou. Parametry řezného nástroje jsou doplněny z katalogu společnosti Elumatec [35]. Pro výběr nových nástrojů ze slinutého karbidu byly vybrány společnosti Elumatec, BO-IMPORT, K-TOOLS a Dormer Pramet. Ceny všech zmíněných nástrojů vychází z cenových nabídek od příslušných dodavatelů.

Tab. 4.3 Parametry a doporučené řezné podmínky čelní stopkové frézy  $\varnothing$  10 mm z HSS oceli [35].

nástroj	D [mm]	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	Cena [Kč]
HSS čelní stopková fréza	10	100	60	22	10	5 700	0,50	0,20	1 378

### 4.2.1 Řezné nástroje společnosti Elumatec

Společnost Elumatec je zaměřena na prodej strojů určených pro obrábění hliníkových, ocelových a PVC profilů. Většina strojového parku výroby AL je tvořena právě stroji Elumatec. Společnost Elumatec byla založena roku 1928 v Německu. Teprve v šedesátých letech dvacátého století se firma zaměřila na obrábění profilů různých materiálů. Společnost nyní nabízí přes 150 produktů v této oblasti. V současné době má společnost přes 700 zaměstnanců ve více než 50 zemích [35].

Z nabízených nástrojů ze slinutých karbidů společností Elumatec, byly pro srovnání vybrány dvě délky stopkových čelních fréz. Konkrétně délky 90 a 110 mm. Využití nástrojů těchto délek jsou pro potřeby výroby AL dostačující. Nástroj délky 90 mm je možné využít pro většinu frézovacích operací, které byly dříve frézovány nástrojem  $\varnothing$  10 z HSS oceli. Delší nástroj (délky 110 mm) naopak rozšiřuje možnosti při frézování profilů větších hloubek. V některých případech, při frézování delším nástrojem odpadá nutnost manuálního otáčení profilu. Při srovnání řezných podmínek s frézou HSS a doporučených řezných podmínek dodavatele nástrojů (tab. 4.4), je u kratší frézy možné využít vyšších otáček, vyšší rychlosti pracovního posuvu i posuvu zanoření. Parametry i řezné podmínky vychází z katalogu dodavatele [35]. V případě srovnání delší frézy, jsou doporučené otáčky vřetene nižší, rychlost pracovního posuvu a posuvu zanoření stejné hodnoty. Rozměrově jsou dané nástroje vyhovující, vzhledem k tomu, že řezná délka dosahuje dostatečné hodnoty. Frézy jsou dvoubřité, stejně jako v případě HSS frézy  $\varnothing$  10 mm.

Tab. 4.4 Parametry a řezné podmínky SK nástrojů od společnosti Elumatec [35].

nástroj	D [mm]	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	Cena [Kč]
SK čelní stopková fréza	10	90	60	12	10	15 000	0,80	0,35	2 311
SK čelní stopková fréza	10	110	80	12	10	5 000	0,50	0,20	2 480
SK čelní stopková fréza	16	102	60	32	16	18 000	1,5	0,30	5 618

#### 4.2.2 Řezné nástroje společnosti BO-IMPORT

Společnost BO-IMPORT je zaměřena zejména na prodej strojního i ručního nářadí. Dále nabízí nástroje určené k obrábění, brusné materiály, měřicí přístroje či upínací prostředky. Na trhu se společnost pohybuje od roku 2002. Společnost BO-IMPORT dodává své produkty jak do výroby AL, tak do výroby PVC [36].

V tabulce tab. 4.5 jsou zobrazeny nabízené SK nástroje, dle stejných kritérií, jako v předchozím případě. Parametry nástrojů vychází od doporučení specialistů ze společnosti BO-IMPORT. Řezné podmínky k nástrojům nebyly poskytnuty, proto uvažujeme s podobnými podmínkami, jako v případě ostatních SK nástrojů [36].

Tab. 4.5 Parametry SK nástrojů od společnosti BO-IMPORT [36].

nástroj	D [mm]	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	Cena [Kč]
SK čelní stopková fréza	10	90	41	12	10	1 510
SK čelní stopková fréza	10	110	65	12	10	1 510
SK čelní stopková fréza	16	102	59	32	16	5 900

#### 4.2.3 Řezné nástroje společnosti K-TOOLS

Společnost K-TOOLS nabízí své výrobky od roku 2000. Mezi nabízený sortiment společnosti patří výroba a prodej nástrojů pro obrábění ze slinutých karbidů. Společnost nabízí výrobu standardních i speciálních druhů nástrojů pro obrábění. Jedná se zejména o válcové frézy, frézy pro obrábění hliníkových slitin, grafitu, frézy pro výrobu forem či vrtáky [37].

SK nástroje od společnosti K-TOOLS disponují podobnými rozměry jako předchozí nástroje. Jednotlivé parametry jsou zobrazeny v tab. 4.6. Pro srovnání je uvedena fréza délky 82 mm a fréza délky 110 mm. Mezi frézy je možné rozdělení jednotlivých frézovacích operací. V případě otáček vřeten, je u daných nástrojů dle doporučení výrobce možné využít otáček až 12 000 min<sup>-1</sup> a to u nástrojů obou délek. Hodnoty vychází z testování nástrojů na strojích Elumatec. Jedná se o výrazně vyšší hodnoty než u původně využívané HSS frézy. Posuvové rychlosti jsou také vyšší, stejně tak, jako rychlosti posuvu zanoření. U nástrojů větší délky bylo doporučeno využívat nižší rychlosti zanoření.

Tab. 4.6 Parametry a řezné podmínky SK nástrojů od společnosti K-TOOLS [38].

nástroj	D [mm]	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	Cena [Kč]
SK čelní stopková fréza	10	82	45	12	10	12 000	1,60	0,80	1 235
SK čelní stopková fréza	10	110	65	12	10	12 000	0,60	0,80	1 469
SK čelní stopková fréza	16	102	59	32	16	12 000	0,60	0,80	4 560

#### 4.2.4 Řezné nástroje společnosti Dormer Pramet

Spojením společností Dormer Tools, která se soustředila na výrobu monolitních nástrojů a Pramet Tools, zaměřené na výrobu nástrojů s VBD, vznikla v roce 2014 společnost Dormer Pramet. Mezi momentálně nabízený sortiment této společnosti patří nástroje pro vrtání, frézování či soustružení a to jak nástroje monolitní, tak i nástroje s VBD. Společnost působí celosvětově, kde disponuje více než 30 pobočkami [39]. Doporučené řezné podmínky a parametry nabízených nástrojů jsou zobrazeny v tab. 4.7. Řezné podmínky jsou také vyšší, než u nástrojů z HSS oceli. Rozměrové parametry nástrojů jsou pro použití při obrábění AL profilů dostačující.

Tab. 4.7 Parametry a řezné podmínky SK nástrojů od společnosti Dormer Pramet [40].

nástroj	D [mm]	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	Cena [Kč]
SK čelní stopková fréza	10	100	60	22	10	7 600	1,2	0,60	1 744
SK čelní stopková fréza	16	125	75	32	16	4 700	0,9	0,60	3 957

#### 4.3 Aplikace nových řezných nástrojů

Pro zvýšení efektivity procesu frézování byly operace, které byly nejdříve soustředěny pouze na jeden nástroj (stopkovou čelní frézu  $\varnothing$  10 mm), rozloženy na více nástrojů, jejichž využití bylo v tomto ohledu vhodnější. Pro zvýšení kvality otvorů byla dále fréza  $\varnothing$  10 mm z HSS oceli omezena pouze na nezbytně nutné operace. Ze zásobníku byly vyřazeny nástroje, které v současné době nebyly plně využívány, nebo byly využívány na menší počet operací. Nástroj pro frézování PVC profilů byl vyřazen úplně. Důvodem byla praktická nevyužitelnost daného nástroje ve výrobě AL. Kotoučová fréza byla umístěna do vedlejšího zásobníku. Tento zásobník je statický a výběr nástroje je možný pouze při umístění vřetene v základní poloze stroje.

Pro experiment byly vybrány nástroje od společnosti K-TOOLS. Pro zvýšení kvality frézovaných povrchů, zvýšení trvanlivosti nástrojů a snížení časů frézování, byl hlavní nástrojový zásobník rozšířen o dvě nové stopkové čelní frézy  $\varnothing$  10 mm z nástrojového

materiálu SK, konkrétně celkové délky 82 mm a 110 mm. Zásobník s doplněnými novými nástroji zobrazen na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Nová skladba nástrojů, zleva: HSS fréza  $\varnothing$  3 mm, SK fréza  $\varnothing$  5 mm, SK fréza  $\varnothing$  10 mm, HSS fréza  $\varnothing$  10 mm, SK fréza  $\varnothing$  16 mm, vrták  $\varnothing$  3,5 mm, vrták  $\varnothing$  4,5 mm, SK fréza  $\varnothing$  10 mm dlouhá.

V tab. 4.8 jsou zobrazeny nově využívané nástroje, společně s jejich využitím u frézování daných otvorů. Mimo doplnění nástrojového zásobníku o nové nástroje je zásadním rozdílem širší využití nástroje ze slinutého karbidu, čelní válcové frézy  $\varnothing$  16 mm. Jedná se o dříve minimálně využívaný nástroj, který je nyní využíván pro frézování většiny rozměrnějších otvorů. Vzhledem k možnosti aplikace vyšších řezných podmínek, je využití tohoto nástroje efektivnější. Na tento nástroj byla tedy převedena většina otvorů, na které byla dříve nevhodně využívána válcová HSS fréza  $\varnothing$  10 mm. V tab. 4.9 jsou uvedeny řezné podmínky nové skladby nástrojů.

Tab. 4.8 Nová skladba nástrojů a jejich využití.

Nástroj	Nástrojový materiál	Využití frézovacích operací
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 3 mm	HSS	Fixace rohovníků, uchycení fasádních příček
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 5 mm	SK	Odvodnění, osazení zádržných spojek, osazení dveřního zavírače, magnetické kontakty, připevnění prahu, uchycení dělených garnitur
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 10 mm	HSS	Při frézování otvorů, u kterých je nutný posuv nástroje přes vnitřní svislou stěnu profilu
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 10 mm	SK	uchycení štítkových klik, zádržné spojky u fasád, fasádní chrliče
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 10 mm dlouhá	SK	Závěsy, možnost frézování u profilů větší hloubky
Stopková čelní fréza $\varnothing$ 16 mm	SK	Osazení čtyřhranu u kliky
Vrták $\varnothing$ 3,5 mm	HSS	Kapsy zámků a protikusů skryté závěsy, otvory největších rozměrů
Vrták $\varnothing$ 4,5 mm	HSS	Otvory skrytého odvodnění, odvodnění HS portálů, předvrtání otvorů v místech, kde není možné frézování ostatními nástroji

Tab. 4.9 Řezné podmínky nové skladby nástrojů [35, 38].

Nástroj	Nástrojový materiál	L [mm]	I [mm]	h [mm]	S [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fx</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	v <sub>fz</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]
Stopková fréza ø 3 mm	HSS	60	15	12	8	12 000	0,50	0,20
Stopková fréza ø 5 mm	SK	80	40	14	8	15 000	0,70	0,28
Stopková fréza ø 10 mm	HSS	100	58	22	10	5 700	0,50	0,20
Stopková fréza ø 10 mm	SK	82	45	12	10	12 000	1,60	0,80
Stopková fréza ø 10 mm	SK	110	65	12	10	12 000	0,60	0,80
Stopková fréza ø 16 mm	SK	102	59	32	16	18 000	1,50	0,30
Vrták ø 3,5 mm	HSS	70	55	37,5	3,5	3 000	-	0,50
Vrták ø 4,5 mm	HSS	126,5	102	80	4,5	5 000	-	0,50

#### 4.4 Experimentální verifikace

Pro experimentální část byl využit obráběný díl, který byl charakterizován v kapitole 1.7. Při aplikaci nových nástrojů bylo předpokladem zvýšení řezných rychlostí procesu frézování a zvýšení kvality obrobených hran. V následujících podkapitolách jsou porovnávány technologické postupy, strojní časy frézování a kvalita obrobeného povrchu.

##### 4.4.1 Technologické postupy

Při probíhajícím procesu frézování je pořadí jednotlivých operací řazeno automaticky, dle největší časové úspory při přesunu vřetene. Zohledňována je trasa pohybu vřetene, výměna nástrojů či umístění frézovaného otvoru. Z důvodu změny skladby nástrojů byl při frézování zkušebního kusu změněn technologický postup a pořadí jednotlivých operací. V tab. 4.10 je zobrazen technologický postup při frézování původní skladbou nástrojů. Nový technologický postup po výměně nástrojů je zobrazen v tab. 4.11.

Tab. 4.10 Technologický postup frézování zkušebního profilu původními nástroji.

č.	Operace	Nástroj	X [mm]	Y [mm]	Hloubka h [mm]
1	Načíst CNC program Zvolit pracovní stanici	Čtečka čárových kódů			
2	Spustit automatické rozmístění upínek dle délky profilu Upnout profil pomocí upínek	Pogumovaná palička			
3	Kontrolovat správnost osazení Kontrola správného upnutí (kolmost, dorazové plochy, uchopení) Kontrola načteného profilu				
4	Spustit světelnou závoru Spustit CNC program				
5	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1150	-47,5	5,8
6	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1100	-47,5	5,8
7	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1050	-47,5	5,8
8	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1000	-47,5	5,8
9	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1000	47,5	5,8
10	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1050	47,5	5,8
11	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1100	47,5	5,8
12	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1150	47,5	5,8
13	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1785	54	5,8
14	Frézovat obdélníkový otvor $d = 235$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1054,5	54	5,8
15	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	295	54	5,8
16	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1117	-47,5	9,8
17	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1025	-47,5	9,8
18	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1130	-47,5	9,8
19	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1861,5	49	9,8
20	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1838,5	49	9,8
21	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1130	47,5	9,8
22	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1025	47,5	9,8
23	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	1117	47,5	9,8
25	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	711,5	49	9,8
24	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	688,5	49	9,8
27	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	411,5	49	9,8
26	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	388,5	49	9,8
28	Odstranit třísky	Stlačený vzduch			
29	Odejmout profil				
30	Vložit obrobek do zakladače				

Tab. 4.11 Technologický postup pro frézování zkušebního kusu za využití nové skladby nástrojů.

č.	Operace	Nástroj	X [mm]	Y [mm]	h [mm]
1	Načíst CNC program Zvolit pracovní stanici	Čtečka čárových kódů			
2	Spustit automatické rozmístění upínek dle délky profilu Upnout profil pomocí upínek	Pogumovaná palička			
3	Kontrolovat správnost osazení Kontrola správného upnutí (kolmost, dorazové plochy, uchopení) Kontrola načteného profilu				
4	Spustit světelnou závoru Spustit CNC program				
5	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1150	-47,4	5,8
6	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1100	-47,5	5,8
7	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1050	-47,5	5,8
8	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1000	-47,5	5,8
9	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1000	47,5	5,8
10	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1050	47,5	5,8
11	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1100	47,5	5,8
12	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	1150	47,5	5,8
13	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1785	54	5,8
14	Frézovat obdélníkový otvor $d = 235$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1054,5	54	5,8
15	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	295	54	5,8
16	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1025	-47,5	9,8
17	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1117	-47,5	9,8
18	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1117	47,5	9,8
19	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza SK $\varnothing 16$ mm	1025	47,5	9,8
20	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	1130	-47,5	9,8
21	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	1861,5	49	9,8
22	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	1838,5	49	9,8
23	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	1130	47,5	9,8
24	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	711,5	49	9,8
25	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	688,5	49	9,8
26	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	411,5	49	9,8
27	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza SK $\varnothing 10$ mm dlouhá	388,5	49	9,8
28	Odstranit třísky	Stlačený vzduch			
29	Odejmout profil				
30	Vložit obrobek do zakladače				

#### 4.4.2 Výpočet strojních časů frézování

Při srovnávání frézovacích postupů s využitím dvou sad různých nástrojů, byly zohledňovány zejména strojní a vedlejší časy frézování. Srovnávány byly vypočtené strojní časy a strojní časy měřené při průběhu experimentu. Výpočet jednotkových strojních časů frézování vychází ze základního vztahu 4.1 [19].

$$t_{AS} = \frac{L_n}{v_f} = \frac{L_n}{f \cdot n} \quad (4.1)$$

Kde:

$t_{AS}$  ... Strojní čas frézování [min],

$L_n$  ... celková dráha ve směru posuvu nástroje [mm],

$v_f$  ... posuvová rychlost [mm.min<sup>-1</sup>],

$f$  ... posuv na otáčku [mm.ot<sup>-1</sup>],

$n$  ... otáčky vřetena [min<sup>-1</sup>].

Vyjádření dráhy ve směru posuvu nástroje vychází ze základního vztahu 4.2 [19]:

$$L_n = l_n + l + l_p \quad (4.2)$$

Kde:

$L_n$  ... Celková dráha ve směru posuvu nástroje [mm],

$l$  ... délka dráhy posuvu nástroje [mm],

$l_n$  ... délka náběhu nástroje [mm],

$l_p$  ... délka přeběhu nástroje [mm].

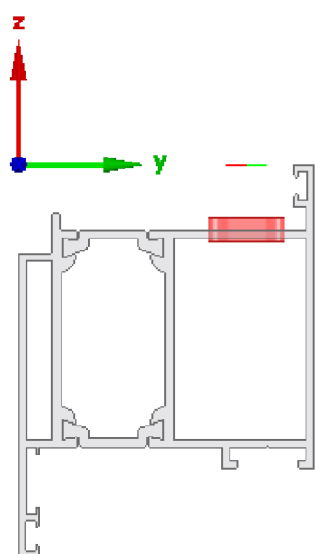
#### Výpočet strojních časů frézování s původní skladbou nástrojů

Pro ukázkou výpočtů byly vybrány celkem tři operace. Dle číslování původního technologického postupu se jedná konkrétně o operaci č. 13 (frézování otvoru délky 134 mm a šířky 18 mm), operaci č. 17 (kruhový otvor o  $\varnothing$  18 mm) a operaci č. 19 (kruhový otvor o  $\varnothing$  11 mm). Vybrané operace jsou také barevně znázorněny v technologických postupech.

- **Operace č. 13: Frézování obdélníkového otvoru délky 134 mm, šířky 18 mm**

Na frézování obdélníkového otvoru délky 134 a šířky 18 mm byla původně aplikována stopková čelní fréza HSS  $\varnothing$  10 mm. Dle původního technologického postupu se jedná o operaci č. 13. Při výpočtu strojního času frézování, se vychází ze dvou složek procesu, a to strojního času zahloubení (vztah 4.3) a obvodového frézování (vztah 4.4). Na obr. 4.4 je graficky zobrazeno zahloubení u daného frézovaného otvoru. Před začátkem procesu je nástroj umístěn v bezpečnostní vzdálenosti nad profilem. Začátek procesu je zahájen zahloubením a frézováním první stěny profilu. Při zahloubení je nastaven doběh nástroje do vzdálenosti 1 mm pod frézovaný otvor. Jakmile je otvor zahlouben, následuje obvodové frézování. Princip výpočtu dráhy nástroje je schematicky zobrazen na obr. 4.5. Celková hodnota strojního času dané operace vychází ze vztahu 4.5. Při výpočtech je počítáno s řeznými podmínkami dle tab. 4.2.





Obr. 4.4 grafické zobrazení zahloubení u frézování obdélníkových otvorů.

$d = 134 \text{ mm}$   
 $\check{s} = 18 \text{ mm}$   
 $l_{nz} = 3 \text{ mm}$   
 $l_z = 1,8 \text{ mm}$

$l_{pz} = 1 \text{ mm}$   
 $l_{nx} = l_{px} = 4 \text{ mm}$   
 $\varnothing D = 10 \text{ mm}$

$n = 5700 \text{ min}^{-1}$   
 $v_{fx} = 500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$   
 $v_{fz} = 100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

○ Strojní čas zahloubení

$$t_{AS13z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{l_{nz} + l_z + l_{pz}}{v_{fz}} = \frac{3 + 1,8 + 1}{100} = 0,058 \text{ min} \quad (4.3)$$

Kde:

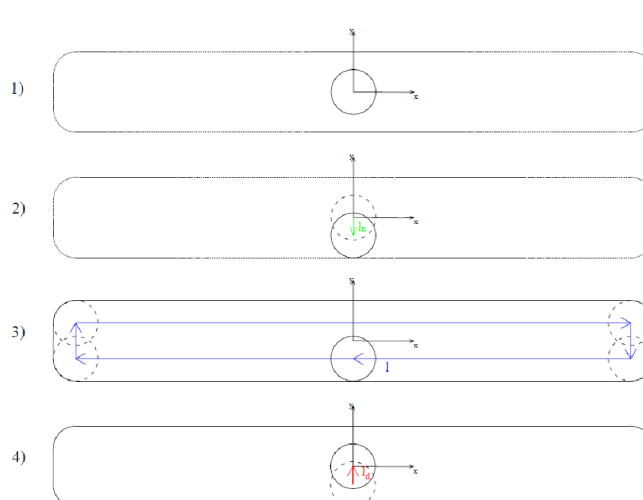
$t_{AS13z}$  ... Strojní čas zahloubení operace č. 13 [min],  
 $L_n$  ... celková dráha ve směru posuvu nástroje [mm],  
 $v_{fz}$  ... rychlost posuvu zahloubení [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ],  
 $l_{nz}$  ... délka náběhu nástroje při zahloubení [mm],  
 $l_z$  ... hloubka frézování [mm],  
 $l_{pz}$  ... délka přeběhu nástroje při zahloubení [mm].

○ Strojní čas obvodového frézování

$$t_{AS13x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + [2 \cdot (d - D) + (\check{s} - D)] + l_{px}}{v_{fx}} = \frac{4 + [2 \cdot (134 - 10) + (18 - 10)] + 4}{500} = 0,528 \text{ min} \quad (4.4)$$

Kde:

$t_{AS13x}$  ... Strojní čas obvodového frézování operace č. 13 [min],  
 $v_{fx}$  ... rychlost posuvu obvodového frézování [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ],  
 $l_{nx}$  ... délka náběhu nástroje při obvodovém frézování [mm],  
 $l$  ... délka obdélníkového otvoru [mm],  
 $\check{s}$  ... šířka obdélníkového otvoru [mm],  
 $l_{px}$  ... délka přeběhu nástroje při obvodovém frézování [mm],  
 $D$  ... průměr nástroje [mm].



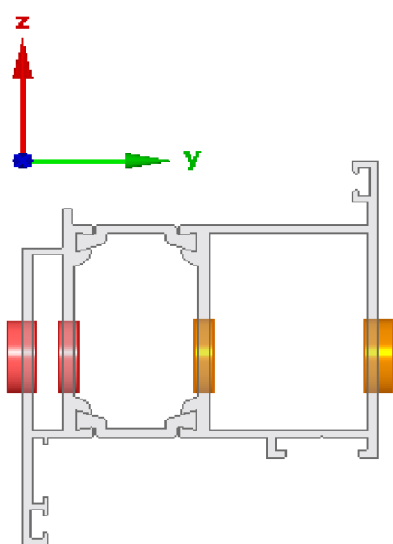
Obr. 4.5 Princip výpočtu dráhy nástroje při obvodovém frézování.

- Celkový strojní čas operace č. 13

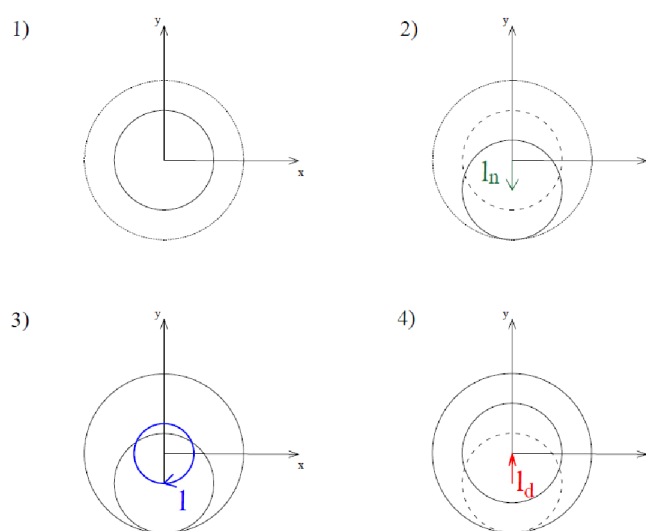
$$t_{AS13} = t_{AS13z} + t_{AS13x} = 0,058 + 0,528 = 0,586 \text{ min} \quad (4.5)$$

- **Operace č. 17: Frézování kruhového otvoru  $\varnothing D = 18 \text{ mm}$**

Stejně jako v přechodím případě byla původně pro frézování kruhového otvoru o průměru 11 mm využita stopková čelní HSS fréza  $\varnothing 10 \text{ mm}$ . U operace č. 17 je frézování otvoru složeno ze zahloubení a obvodového frézování dvou stěn, vnější a vnitřní (obr. 4.6). Bezpečnostní vzdálenost před zahloubením, je u vnější strany větší než u stěny vnitřní. U výpočtu obvodového frézování je na obr. 4.7 zobrazen princip stanovení délky dráhy frézovaného povrchu. Mezi jednotlivými frézovanými otvory se nástroj pohybuje rychloposuvem.



Obr. 4.6 Grafické zobrazení zahloubení u frézování kruhových otvorů.



Obr. 4.7 Princip výpočtu dráhy nástroje při obvodovém frézování kruhových otvorů.

$\varnothing D_o$	= 18 mm	$l_{nz2}$	= 1 mm	$n$	= 5 700 $\text{min}^{-1}$
$l_{nz}$	= 3 mm	$l_{pz}$	= 1 mm	$v_{fx}$	= 500 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z1}$	= 1,8 mm	$l_{nx} = l_{px}$	= 4 mm	$v_{fz}$	= 100 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z2}$	= 2 mm	$\varnothing D$	= 10 mm		

- Strojní čas zahloubení

$$t_{AS17z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{(l_{nz} + l_{z1} + l_{pz}) + (l_{nz2} + l_{z2} + l_{pz})}{v_{fz}} \quad (4.6)$$

$$= \frac{(3 + 1,8 + 1) + (1 + 2 + 1)}{100} = 0,098 \text{ min}$$

Kde:

$l_{z1}$  ... hloubka frézovaného otvoru prvního v pořadí [mm],

$l_{z2}$  ... hloubka frézovaného otvoru druhého v pořadí [mm].

- Strojní čas obvodového frézování

$$t_{AS17x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + \pi \cdot (D_o - D) + l_{px}}{v_{fx}} \cdot 2 = \frac{4 + \pi \cdot (18 - 10) + 4}{500} \cdot 2 = 0,133 \text{ min} \quad (4.7)$$

Kde:

$D_o$  ... Průměr otvoru [mm].

- Celkový strojní čas operace č. 17

$$t_{AS17} = t_{AS17z} + t_{AS17x} = 0,098 + 0,133 = 0,231 \text{ min} \quad (4.8)$$

- **Operace č. 19: Frézování kruhového otvoru  $\varnothing D = 11 \text{ mm}$**

$\varnothing D_o$	= 11 mm	$l_{nz2}$	= 1 mm	$n$	= 5 700 $\text{min}^{-1}$
$l_{nz}$	= 3 mm	$l_{pz}$	= 1 mm	$v_{fx}$	= 500 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z1}$	= 1,8 mm	$l_{nx} = l_{px}$	= 0,5 mm	$v_{fz}$	= 100 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z2}$	= 2 mm	$\varnothing D$	= 10 mm		

- Strojní čas zahloubení

$$t_{AS19z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{(l_{nz} + l_{z1} + l_{pz}) + (l_{nz2} + l_{z2} + l_{pz})}{v_{fz}} = \frac{(3 + 1,8 + 1) + (1 + 2 + 1)}{100} = 0,098 \text{ min} \quad (4.9)$$

- Strojní čas obvodového frézování

$$t_{AS19x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + \pi \cdot (D_o - D) + l_{px}}{v_{fx}} \cdot 2 = \frac{0,5 + \pi \cdot (11 - 10) + 0,5}{500} \cdot 2 = 0,017 \text{ min} \quad (4.10)$$

- Celkový strojní čas operace č. 19

$$t_{AS19} = t_{AS19z} + t_{AS19x} = 0,098 + 0,017 = 0,115 \text{ min} \quad (4.11)$$

V tab. 4.12 jsou sumarizovány strojní časy všech operací dle původního technologického postupu. Časy vedlejší ( $t_{AV}$ ) značí manipulační práci s obrobem jako upínání, odepínání, čištění, spouštění programu, vizuální kontrola či výsledná kontrola [19]. Tyto časy byly také zaznamenány a je nutné jejich zohlednění.

Tab. 4.12 Strojní a vedlejší časy frézovaného zkušebního profilu při použití původních nástrojů.

č.	Operace	Nástroj	t <sub>AS</sub> [min]	t <sub>AV</sub> [min]
1	Načíst CNC program Zvolit pracovní stanici	Čtečka čárových kódů		0,500
2	Spustit automatické rozmístění upínek dle délky profilu Upnout profil pomocí upínek	Pogumovaná palička		0,500
3	Kontrolovat správnost osazení Kontrola správného upnutí (kolmost, dorazové plochy, uchopení) Kontrola načteného profilu			0,250
4	Spustit světelnou závoru Spustit CNC program			0,250
5	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,033	
6	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,033	
7	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,033	
8	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,033	
9	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,059	
10	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,059	
11	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,059	
12	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 7$ mm	Fréza SK $\varnothing 5$ mm	0,059	
13	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,586	
14	Frézovat obdélníkový otvor $d = 235$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,990	
15	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,586	
16	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,226	
17	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,231	
18	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,234	
19	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
20	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
21	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,234	
22	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 18$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,231	
23	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 17,7$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,226	
25	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
24	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
27	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
26	Frézovat kruhový otvor $\varnothing D = 11$ mm	Fréza HSS $\varnothing 10$ mm	0,115	
28	Odstranit třísky	Stlačený vzduch		0,250
29	Odepnout profil			0,250
30	Vložit obrobek do zakladače			0,150
<b>Σ SUMA</b>			<b>4,602</b>	<b>2,150</b>

### Výpočet strojní časů frézování s novou skladbou nástrojů

Pro srovnání úspory strojních časů frézování nového technologického postupu vůči původnímu byly vybrány stejné operace. Dle číslování nového technologického postupu se jedná konkrétně o operaci č. 13 (frézování otvoru délky 134 mm a šířky 18 mm), operaci č. 16 (kruhový otvor o průměru 18 mm) a operaci č. 21 (kruhový otvor o průměru 11 mm). Vybrané operace jsou rovněž barevně zvýrazněny v příslušném technologickém postupu.

- **Operace č. 13: Frézování obdélníkového otvoru délky 134 mm, šířky 18 mm**

Pro frézování obdélníkového otvoru byl využita stopková SK fréza  $\varnothing 16$  mm.

$d$	$= 134$ mm	$l_{pz}$	$= 1$ mm	$n$	$= 18\,000$ min <sup>-1</sup>
$\check{s}$	$= 18$ mm	$l_{nx}=l_{px}$	$= 1$ mm	$v_{fx}$	$= 1\,500$ mm.min <sup>-1</sup>
$l_{nz}$	$= 3$ mm	$\varnothing D$	$= 16$ mm	$v_{fz}$	$= 300$ mm.min <sup>-1</sup>
$l_z$	$= 1,8$ mm				

- Strojní čas zahloubení

$$t_{BS13z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{l_{nz} + l_z + l_{pz}}{v_{fz}} = \frac{3 + 1,8 + 1}{300} = 0,019 \text{ min} \quad (4.12)$$

- Strojní čas obvodového frézování

$$t_{BS13x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + [2 \cdot (d - D) + (\check{s} - D)] + l_{px}}{v_{fx}} \quad (4.13)$$

$$= \frac{1 + [2 \cdot (134 - 16) + (18 - 16)] + 1}{1500} = 0,160 \text{ min}$$

- Celkový strojní čas operace č. 13

$$t_{BS13} = t_{BS13z} + t_{BS13x} = 0,019 + 0,160 = 0,179 \text{ min} \quad (4.14)$$

- **Operace č. 16: Frézování kruhového otvoru  $\varnothing D = 18$  mm**

$\varnothing D_o$	$= 18$ mm	$l_{nz2}$	$= 1$ mm	$n$	$= 18\,000$ min <sup>-1</sup>
$l_{nz}$	$= 3$ mm	$l_{pz}$	$= 1$ mm	$v_{fx}$	$= 1\,500$ mm.min <sup>-1</sup>
$l_{z1}$	$= 1,8$ mm	$l_{nx}=l_{px}$	$= 1$ mm	$v_{fz}$	$= 300$ mm.min <sup>-1</sup>
$l_{z2}$	$= 2$ mm	$\varnothing D$	$= 16$ mm		

- Strojní čas zahloubení

$$t_{BS16z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{(l_{nz} + l_{z1} + l_{pz}) + (l_{nz2} + l_{z2} + l_{pz})}{v_{fz}} \quad (4.15)$$

$$= \frac{(3 + 1,8 + 1) + (1 + 2 + 1)}{300} = 0,033 \text{ min}$$

- Strojní čas obvodového frézování

$$t_{BS16x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + \pi \cdot (D_o - D) + l_{px}}{v_{fx}} \cdot 2 = \frac{1 + \pi \cdot (18 - 16) + 1}{1500} \cdot 2 \quad (4.16)$$

$$= 0,011 \text{ min}$$

- Celkový strojní čas operace č. 16

$$t_{BS16} = t_{BS16z} + t_{BS16x} = 0,033 + 0,011 = 0,044 \text{ min} \quad (4.17)$$

- **Operace č. 21: Frézování kruhového otvoru  $\varnothing D = 11 \text{ mm}$**

Na rozdíl od původního řešení byla pro frézování kruhového otvoru o průměru 11 mm využita nově dosazená SK fréza  $\varnothing 10 \text{ mm}$ . Z důvodu změny nástrojů bylo změněno i pořadí operace v technologickém postupu.

$\varnothing D_o$	= 11 mm	$l_{nz2}$	= 1 mm	$n$	= 12 000 $\text{min}^{-1}$
$l_{nz}$	= 3 mm	$l_{pz}$	= 1 mm	$v_{fx}$	= 800 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z1}$	= 1,8 mm	$l_{nx} = l_{px}$	= 0,5 mm	$v_{fz}$	= 600 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
$l_{z2}$	= 2 mm	$\varnothing D$	= 10 mm		

- Strojní čas zahloubení

$$t_{BS21z} = \frac{L_n}{v_{fz}} = \frac{(l_{nz} + l_{z1} + l_{pz}) + (l_{nz2} + l_{z2} + l_{pz})}{v_{fz}} \quad (4.18)$$

$$= \frac{(3 + 1,8 + 1) + (1 + 2 + 1)}{800} = 0,012 \text{ min}$$

- Strojní čas obvodového frézování

$$t_{BS21x} = \frac{L_n}{v_{fx}} = \frac{l_{nx} + \pi \cdot (D_o - D_n) + l_{px}}{v_{fx}} \cdot 2 = \frac{0,5 + \pi \cdot (11 - 10) + 0,5}{600} \cdot 2 \quad (4.17)$$

$$= 0,014 \text{ min}$$

- Celkový strojní čas operace č. 21

- 

$$t_{BS21} = t_{BS21z} + t_{BS21x} = 0,012 + 0,014 = 0,026 \text{ min} \quad (4.18)$$

Sumarizace strojních a vedlejších časů dle nového technologického postupu při využití nástrojového zásobníku s nově navrženými nástroji, je znázorněna v tab. 4.13.

Tab. 4.13 Strojní a vedlejší časy frézování zkušební profilu při využití SK nástrojů.

č.	Operace	Nástroj	$t_{BS}$ [min]	$t_{BV}$ [min]
1	Načíst CNC program Zvolit pracovní stanici	Čtečka čárových kódů		0,500
2	Spustit automatické rozmístění upínek dle délky profilu Upnout profil pomocí upínek	Pogumovaná palička		0,500
3	Kontrolovat správnost osazení Kontrola správného upnutí (kolmost, dorazové plochy, uchopení) Kontrola načteného profilu			0,250
4	Spustit světelnou závoru Spustit CNC program			0,250
5	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,033	
6	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,033	
7	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,033	
8	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,033	
9	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,059	
10	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,059	
11	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,059	
12	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 7$ mm	Fréza SK $\phi 5$ mm	0,059	
13	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,179	
14	Frézovat obdélníkový otvor $d = 235$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,314	
15	Frézovat obdélníkový otvor $d = 134$ mm, $\check{s} = 18$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,179	
16	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 18$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,044	
17	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 17,7$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,042	
18	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 17,7$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,042	
19	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 18$ mm	Fréza SK $\phi 16$ mm	0,044	
20	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,125	
21	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
22	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
23	Frézovat drážku $d = 25,5$ mm, $\check{s} = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,125	
24	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
25	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
26	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
27	Frézovat kruhový otvor $\phi D = 11$ mm	Fréza SK $\phi 10$ mm dlouhá	0,026	
28	Odstranit třísky	Stlačený vzduch		0,250
29	Odepnout profil			0,250
30	Vložit obrobek do zakladače			0,150
<b><math>\Sigma</math> SUMA</b>			<b>1,618</b>	<b>2,150</b>

Při srovnání celkových strojních časů jednotlivých vypočtených z technologických postupů lze pozorovat časovou úsporu při využití navržené skladby nástrojů. Při využití HSS frézy  $\varnothing$  10 mm pro většinu frézovacích operací, byl vypočtený celkový strojní čas 4,6 min. U frézování pomocí nástrojů ze slinutých karbidů, strojní čas frézování dosahoval hodnoty 1,6 min (časová úspora cca 65 %).

Časová úspora byla ověřena také formou měření strojního času při průběhu experimentu. Při původní skladbě byl naměřen čas procesu 6,167 min. V případě nové skladby nástrojů, byl naměřen čas 3,75 min, tedy o cca 39 % kratší strojní čas. Rozdílem mezi strojním časem frézování a celkovým strojním časem je nezahrnutí časů posuvů stroje, výměny nástroje a pohyby vřetena při výpočtu strojních časů frézování. Při nové skladbě nástrojů bylo využíváno více nástrojů, proto byly manipulační časy stroje větší. Vedlejší časy (manipulace s profilem, práce s PC, načtení zakázky, kontrola apod.) jsou stejné pro obě skladby nástrojů.

#### 4.4.3 Porovnání kvality obrobeného povrchu

Dalším hlediskem hodnocení zvýšení produktivity řezného procesu je kvalita obrobeného povrchu. Téměř žádné otvory nejsou na finálním výrobku viditelné. Neznamená to ale, že kvalitně obrobené hrany nejsou vyžadovány. Uvolněné třísky ze špatně obrobených hran by mohly negativně ovlivnit činnost funkčních prvků kování. Na obr. 4.8 je možné pozorovat srovnání obrobených kruhových otvorů. Nekvalitní hrany by v tomto případě mohly mít následek obtížnější instalaci povrchových dveřních závěsů.



Obr. 4.8 Otvory pro osazení dveřních závěsů, vlevo využití původního nástroje, vpravo nového nástroje.

Na obr. 4.9 jsou zobrazeny obrobené otvory pro instalaci kliky a zámkové vložky společně s osazením dělené zámkové rozety. Na pracovišti kování by bylo bezpodmínečně nutné očištění těchto otvorů. Důvodem je možné uvolnění hliníkových třísek a jejich interakce s funkční částí zámku, případně zámkovou vložkou nebo klikou.



Na obr. 4.10 lze pozorovat znatelný rozdíl mezi kvalitou obrobených hran otvorů při použití původního nástroje a nově zvoleného nástroje. Jedná se o otvory pro uložení hlavní rozvory zámku a vedlejších střelkových uzávěrů. Uvolněním hliníkových třísek by mohla být ovlivněna správná funkčnost zámkových střelek a tedy i celého zámku. Na obr. 4.10 je viditelná také větší míra znečištění řeznou kapalinou u obrobeného otvoru HSS frézou  $\varnothing 10$  mm, což je způsobeno delším časem frézování.



Obr. 4.9 Otvory pro osazení povrchového kování, vlevo využití původního nástroje, vpravo nového nástroje.



Obr. 4.10 Otvory pro osazení střelkových uzávěrů, vlevo využití původního nástroje, vpravo nového nástroje.

Dle zobrazené fotodokumentace lze konstatovat, že při frézování nástroji ze slinutých karbidů jsou otvory kvalitněji opracovány, než při frézování pomocí nástrojů z HSS oceli. V případě využití SK nástrojů pro frézování otvorů, je výskyt otřepů minimální. Důsledkem je snížení pracovních časů spojených s manuálním odstraňováním třísek pomocí ručního odjehlovače.

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Většina nástrojů z HSS materiálu byly nahrazeny nástroji ze slinutých karbidů. V následující kapitole budou uvedeny náklady související se změnou skladby nástrojového zásobníku u CNC obráběcího centra. Po změně výrobního postupu, úpravě rezných podmínek s využitím odlišných rezných nástrojů, budou u zkušebního obráběcího dílu zhodnoceny ekonomické faktory ovlivňující proces frézování.

### 5.1 Náklady na provoz CNC obráběcího centra

Pro výpočet nákladových úspor, bylo nejdříve nutné určení nákladu na provoz CNC obráběcího centra. V tab. 5.1 jsou uvedeny všechny potřebné údaje potřebné pro výpočet hodinového nákladu provozu CNC stroje. Při určení fixní hodinové sazby byla započítána hrubá mzda programátora a pracovníka obsluhy CNC stroje. Cena za demontáž stroje byla odhadnuta po konzultaci s vedoucím údržby v závislosti na ceně montáže stroje. Při určení likvidační hodnoty stroje se vycházelo z cen uvedených na inzertních portálech. Doba životnosti stroje je určena dle odpisové skupiny příslušného zákona. Při určení hodnoty efektivního ročního časového fondu byla započítána doba provozu stroje se zohledněním času na autonomní údržby a jiné prostoje. Výpočet hodinových nákladů provozu CNC stroje je určen dle vztahu 5.1 [41].

Tab. 5.1 Vstupní parametry pro výpočet nákladu provozu CNC obráběcího centra.

Stroj	$S_f$ [Kč]	$C_s$ [Kč]	$N_i$ [Kč]	$N_d$ [Kč]	$L$ [Kč]	$Z$ [r]	$E_{ef}$ [h.rok <sup>-1</sup> ]
Elumatec SBZ 140	340	5 000 000	35 000	35 000	1 500 000	10	1 800

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s + N_i + N_d - L_s}{Z \cdot E_{ef}} \text{ [Kč} \cdot \text{h}^{-1}\text{]} \quad (5.1)$$

$$N_{hs} = 340 + \frac{5000000 + 35000 + 35000 - 1500000}{5 \cdot 1800} = 736,67 \cong 737 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde:

$N_{hs}$  ... Náklady na hodinu provozu CNC obráběcího centra [Kč.h<sup>-1</sup>],

$S_f$  ... fixní hodinová sazba [Kč],

$C_s$  ... pořizovací cena stroje [Kč],

$N_i$  ... náklady na instalaci stroje [Kč],

$N_d$  ... náklady na demontáž stroje [Kč],

$L_s$  ... likvidační hodnota stroje (cena v případě likvidace nebo cena odprodeje stroje) [Kč],

$Z$  ... doba životnosti stroje [r].

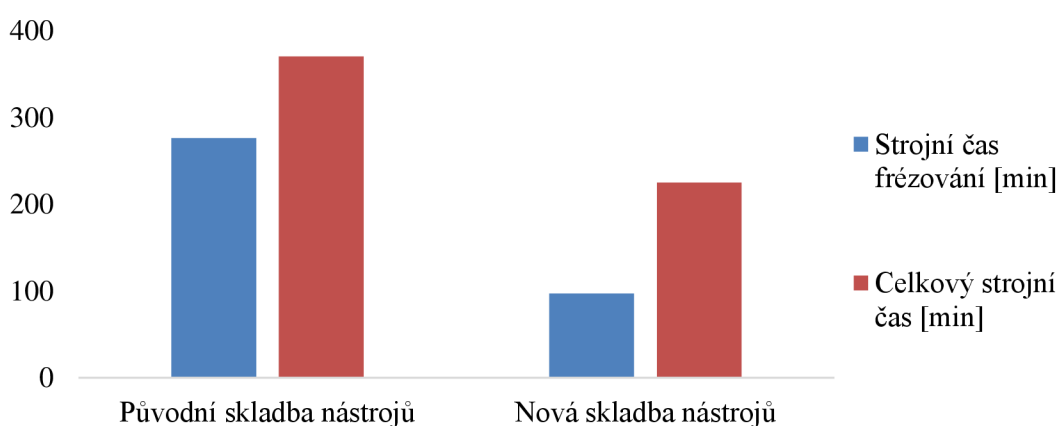
$E_{ef}$  ... efektivní roční časový fond stroje [h.rok<sup>-1</sup>].

## 5.2 Pracovní náklady

Pro výpočet nákladů spojených s prací CNC obráběcího centra, jsou důležité výsledky z kapitoly 4.4.2, tedy výsledky získané z výpočtů strojních časů frézování a naměřených strojních časů frézování zkušebnímu kusu. Dále jsou také potřebné hodnoty vedlejšího času. Výsledky jsou sumarizovány v tab. 5.2. Pro další rozlišení je původní skladba nástrojů značena indexem A, nově navržená skladba indexem B. Porovnání vypočtených hodnot strojních časů frézování a hodnot naměřených z průběhu experimentu je graficky zobrazeno na obr. 5.1.

Tab. 5.2 Pracovní časy frézování zkušebnímu dílu.

	Původní skladba nástrojů (A)	Nová skladba nástrojů (B)	Úspora [%]
Strojní čas frézování [min]	4,602	1,618	65
Celkový strojní čas [min]	6,167	3,750	39
Vedlejší čas [min]	2,150	2,150	-



Obr. 5.1 Grafické zobrazení srovnání časů frézování.

### 5.2.1 Náklady na strojní práci

Náklady na strojní práci obrábění jednoho kusu profilu za využití původní skladby nástrojů i nové skladby jsou vypočteny dle vztahu 5.2 [19]. Ve výpočtu jsou zahrnuty naměřené časy frézování zkušebnímu profilu při využití nástroje z HSS oceli a nástrojů ze slinutých karbidů. K měření časů byly použity časové stopky. Do výpočtů je dále zahrnut hodinový náklad na provoz CNC stroje.

$$N_s = t_{AS} \cdot \frac{N_{hs}}{60} [Kč \cdot ks^{-1}] \quad (5.2)$$

Kde:

$N_s$  ... Náklady na strojní práci CNC obráběcího centra [ $Kč \cdot ks^{-1}$ ],

$t_{AS}$  ... strojní čas při práci na CNC obráběcím centru [min],

$N_{hs}$  ... náklady na práci obráběcího centra [ $Kč \cdot hod^{-1}$ ],

### 5.2.2 Náklady na vedlejší práci

Náklady na vedlejší práci, tedy práci spojenou s manipulací s profilem a obsluhou CNC stroje, jsou vypočteny dle vztahu 5.3 [19]. Vzhledem ke stejné činnosti při manipulaci s profilem, je vedlejší čas pro obě varianty skladby nástrojů stejný. Při výpočtu nákladu na manipulaci je kalkulováno se stejným hodinovým nákladem za provoz CNC obráběcího centra jako v případě výpočtu nákladů na strojní práci.

$$N_v = t_{AV} \cdot \frac{N_{hs}}{60} \text{ [Kč} \cdot \text{ks}^{-1}\text{]} \quad (5.3)$$

Kde:

$N_v$  ... Náklady na vedlejší práci CNC obráběcího centra [Kč.ks<sup>-1</sup>],

$t_{AV}$  ... vedlejší čas při práci na CNC obráběcím centru [min],

$N_{hs}$  ... náklady na práci obráběcího centra [Kč.hod<sup>-1</sup>],

### 5.2.3 Shrnutí pracovních nákladů

Při využití původních nástrojů je náklad na strojní práci frézování jednoho kusu vyšší, než při využití nové skladby nástrojů. Vzhledem ke stejné manipulaci při práci na CNC obráběcím centru jsou náklady na vedlejší práci stejné. Jednotlivé pracovní náklady za frézování jednoho kusu zkušebního profilu jsou zobrazeny v tab. 5.3.

Tab. 5.3 Pracovní náklady při frézování jednoho kusu zkušebního profilu.

	Náklady na strojní práci $N_s$ [Kč.ks <sup>-1</sup> ]	Náklady na vedlejší práci $N_v$ [Kč.ks <sup>-1</sup> ]
Původní skladba nástrojů (A)	75,8	26,5
Nová skladba nástrojů (B)	46,1	26,5

### 5.3 Náklady na nástroje

Jak bylo již zmíněno v kapitole 4.3, nástroje od společnosti K-TOOLS byly nově dosazeny do nástrojového zásobníku CNC obráběcího centra. Konkrétně čelní stopkové frézy  $\varnothing$  10 mm ze slinutého karbidu ve dvou různých délkách. Pro experimentální verifikaci frézování zkušebního profilu byla dále využita čelní stopková SK fréza  $\varnothing$  16 mm. Tato fréza byla v zásobníku již při původní skladbě, ale nebyla dostatečně využívána. Pro ekonomické zhodnocení bude kalkulováno s nákupní hodnotou nástroje od společnosti K-TOOLS, a to z důvodu výhodnější možné nákupní ceny nástroje. V tab. 5.4 jsou uvedeny parametry nástrojů, konkrétně čistý čas frézování, roční spotřeba nástrojů a jejich nákupní cena. Čistý čas záběru nástrojů byl získán z příslušných technologických postupů a strojních časů frézování jednotlivých nástrojů. Roční spotřeba HSS fréz vychází z četnosti výměn z minulých let. U SK nástrojů byla tato hodnota určena odhadem po konzultaci s odborníky. Frézování zkušebního profilu představuje operace, které jsou nejvíce obráběny u VD. Pro výpočty je počítáno s průměrnou hodnotou výroby VD 1 100 ks. Údaj byl získán odhadem ze statistik objemu výroby AL.

Tab. 5.4 Parametry nástrojů pro výpočet nákladů na nástroje.

Nástroj	Čas záběru nástroje $t_f$ [min]	Počet nástrojů ročně $D_{nks}$ [ks]	Cena nástroje $C_N$ [Kč]
Fréza HSS $\varnothing$ 10 mm	4,234	14	1 336
Fréza SK $\varnothing$ 10 mm dlouhá	0,406	1	1 469
Fréza SK $\varnothing$ 16 mm	0,844	1	4 560

### 5.3.1 Trvanlivost nástrojů

Pro určení trvanlivosti jednotlivých nástrojů se vychází z počtu výměn nástrojů ročně a roční výrobní série. Výpočet trvanlivosti nástrojů v počtu obroběných kusů je uveden pomocí vztahu 5.4. Trvanlivost nástrojů v minutách je vypočtena dle vztahu 5.5. Ve výpočtu trvanlivosti v minutách je zahrnuta doba frézování daných nástrojů. Výsledky vypočtených trvanlivostí jednotlivých nástrojů jsou zobrazeny v tab. 5.5.

$$T_{ks} = \frac{N}{D_{nks}} [ks] \quad (5.4)$$

Kde:

$T_{ks}$  ... Trvanlivost nástrojů v počtu obroběných kusů [ks],

$N$  ... roční výrobní série [ks],

$D_{nks}$  ... počet výměn nástrojů během jednoho roku [ks].

$$T_{min} = T_{ks} \cdot t_f [min] \quad (5.5)$$

Kde:

$T_{min}$  ... Trvanlivost nástrojů v minutách [min],

$T_{ks}$  ... Trvanlivost nástroje v počtu obroběných kusů [ks],

$t_f$  ... doba frézování nástroje [min].

Tab. 5.5 Hodnoty trvanlivostí rezných nástrojů.

Nástroj	$T_{ks}$ [ks]	$T_{min}$ [min]
Fréza HSS $\varnothing$ 10 mm	78	330
Fréza SK $\varnothing$ 10 mm dlouhá	1 100	446
Fréza SK $\varnothing$ 16 mm	1 100	928

### 5.3.2 Podíl čistého času frézování

Pro určení počtu obroběných kusů za trvanlivost daného nástroje je nutná kalkulace podílu čistého času frézování. Určí se tak dle vztahu 5.6 [27]. Do tohoto výpočtu je zahrnuta dráha pohybu nástroje při frézování včetně bezpečnostního náběhu a doběhu nástroje vůči délce obráběné plochy, tedy dráze, při které probíhá odebrání třísky. Dané hodnoty byly získány součtem délek frézování z jednotlivých technologických postupů. Vstupní hodnoty potřebné k výpočtu jsou uvedeny v tab. 5.6 společně s vypočtenými výsledky.

$$\tau = \frac{L_l}{l_f} [-] \quad (5.6)$$

Kde:

$\tau$  ... Podíl čistého času frézování [-],

$L_l$  ... celková dráha pohybu nástroje ve směru posuvu nástroje [mm],

$l_f$  ... délka obráběné plochy [mm].

Tab. 5.6 Souhrn drah pohybu nástroje a podíl čistého času frézování jednotlivých nástrojů.

Nástroj	Celková dráha pohybu nástroje $L_l$ [mm]	Délka frézované plochy $l_f$ [mm]	Podíl čistého času frézování $\tau$ [-]
Fréza HSS $\varnothing$ 10 mm	1 574,8	1 388	0,881
Fréza SK $\varnothing$ 10 mm dlouhá	262	200	0,763
Fréza SK $\varnothing$ 16 mm	1 039,9	983,1	0,945

### 5.3.3 Počet obrobených kusů během jedné trvanlivosti

Během jedné trvanlivosti nástroje, je možné obrobení určitého počtu profilů v rámci daného experimentu. Počet obrobených kusů je vypočítán dle vztahu 5.7 [27]. K danému výpočtu jsou potřebné hodnoty jako trvanlivost nástroje v minutách, čas frézování určitého nástroje a podíl čistého času frézování daným nástrojem. Výsledky jsou shrnuty v tab. 5.7. Nejmenší počet kusů je možné obrobít pomocí nástroje  $\varnothing$  10 mm z HSS oceli.

$$Q_T = \frac{T_{min}}{t_f} \cdot \tau [ks] \quad (5.7)$$

Kde:

$Q_T$  ... Počet obrobených kusů profilů za jednu trvanlivost nástroje [ks],

$T_{min}$  ... trvanlivost nástroje v minutách [min],

$t_f$  ... doba frézování nástroje [min],

$\tau$  ... podíl čistého času frézování [-].

Tab. 5.7 Počet obrobených kusů po dobu trvanlivosti jednoho nástroje.

Nástroj	Počet obrobených kusů během jedné trvanlivosti $Q_T$ [ks]
Fréza HSS $\varnothing$ 10 mm	88
Fréza SK $\varnothing$ 10 mm dlouhá	1 439
Fréza SK $\varnothing$ 16 mm	1 248

### 5.3.4 Náklady na nástroj a jeho výměnu

V souvislosti s trvanlivostí nástrojů je nutné zahrnout náklady na výměnu daných nástrojů. V případě HSS frézy jsou výměny nástrojů častější než u SK nástrojů. Výměna nástrojů je u CNC stroje prováděna manuálně a kalkulovaný čas výměny jednoho nástroje jsou 4 minuty. Při výpočtu je počítáno s hodinovým nákladem provozu CNC obráběcího centra. Náklady na výměnu nástroje jsou vypočteny dle vztahu 5.8 [27].

$$N_{Tv} = t_{Ax} \cdot \frac{N_{hs}}{60} \text{ [Kč]} \quad (5.8)$$

$$N_{Tv} = 4 \cdot \frac{737}{60} = 49,133 \cong 49,2 \text{ Kč}$$

Kde:

$N_{Tv}$  ... Náklady na výměnu nástroje [Kč],

$t_{Ax}$  ... doba výměny nástroje [min],

$N_{hs}$  ... náklady na práci obráběcího centra [Kč.hod<sup>-1</sup>].

Náklady na nástroj a jeho výměnu jsou z kalkulovány dle vztahu 5.9 [27]. Do výpočtu je zahrnuta nákupní cena nástrojů získaná od dodavatelů nástrojů a náklad na výměnu nástroje, který je pro všechny nástroje stejný. Náklady na nástroj na jeden obrobený kus jsou vypočítány dle vztahu 5.10 [27]. Jedná se o rozložení nákladů na nástroj a jeho výměnu na počet obrobených kusů profilů během jedné trvanlivosti nástroje. V tab. 5.8 jsou uvedeny výsledky daných výpočtů.

$$N_T = C_n + N_{Tv} \text{ [Kč]} \quad (5.9)$$

Kde:

$N_T$  ... Náklady na nástroj a jeho výměnu [Kč],

$C_n$  ... cena nástroje [Kč],

$N_{Tv}$  ... náklad na výměnu nástroje [Kč].

$$N_N = \frac{N_T}{Q_T} \text{ [Kč]} \quad (5.10)$$

Kde:

$N_N$  ... Náklady na nástroj a jeho výměnu na jeden obrobený kus [Kč],

$N_T$  ... náklady na nástroj a jeho výměnu [Kč],

$Q_T$  ... počet obrobených kusů během jedné trvanlivosti nástroje [ks].

Tab. 5.8 Sumarizace výsledků na nástroj a jeho výměnu.

Nástroj	Náklad na nástroj a jeho výměnu $N_T$ [Kč]	Náklad na nástroj na obrobený kus $N_N$ [ks]
Fréza HSS $\varnothing$ 10 mm	1 385,2	15,8
Fréza SK $\varnothing$ 10 mm dlouhá	1 518,2	1,1
Fréza SK $\varnothing$ 16 mm	4 609,2	3,7

#### 5.4 Celkové operační náklady

Celkové operační náklady jsou složeny ze součtu jednotlivých, dříve vypočítaných nákladů. Pro identifikaci celkové ekonomické úspory je důležité rozlišit náklady na obrábění jednoho kusu a při obrábění sériového množství. Jak bylo uvedeno v kapitole 5.3, výrobní série pro výpočty byla odhadnuta na 1 100 ks.

#### 5.4.1 Operační náklady obrábění na CNC stroji na jeden kus

Celkové náklady práce stroje při frézování zkušebního kusu pro obě varianty skladby nástrojů jsou vypočteny dle vztahu 5.11 [27]. Jedná se o součet nákladů na strojní práci, nákladů na vedlejší práci a nákladů na nástroj a jeho výměnu v závislosti na jeden obrobený kus profilu. Shrnutí výsledků je zobrazeno v tab. 5.9.

$$N_{OP} = N_s + N_v + N_n \text{ [Kč]} \quad (5.11)$$

Kde:

$N_{OP}$ ... Celkové operační náklady CNC stroje při obrábění jednoho dílu [Kč],

$N_s$ ... náklady na strojní práci CNC obráběcího centra [Kč],

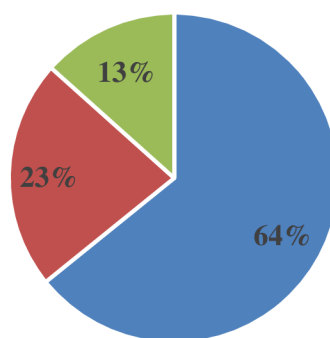
$N_v$ ... náklady na vedlejší práci CNC obráběcího centra [Kč],

$N_n$ ... náklady na nástroj a jeho výměnu na jeden obrobený kus [Kč].

Tab. 5.9 Srovnání operačních nákladů obrábění na CNC centru na jeden kus.

	Původní skladba nástrojů (A) [Kč]	Nová skladba nástrojů (B) [Kč]	Finanční úspora [Kč]
<b>Celkové operační náklady</b>	118,1	77,4	40,7

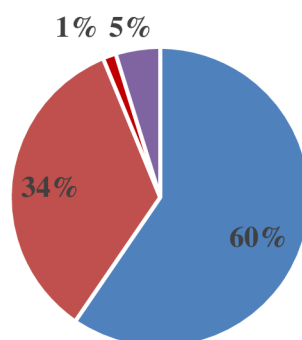
U původní skladby nástrojů je kalkulováno s nákladem na jeden obrobený kus za jeden nástroj a to stopkovou čelní frézou  $\varnothing 10$  mm z HSS oceli. Při využití nové skladby nástrojů je kalkulováno se součtem nákladů za nástroje (stopkové čelní SK frézy  $\varnothing 10$  mm a  $\varnothing 16$  mm) na jeden obrobený kus. Frézováním jednoho kusu profilu za využití nové skladby nástrojů je úspora cca 34 % v celkových operačních nákladech vztahených k práci na CNC obráběcím centru. Procentuální podíly složek operačních nákladů jsou graficky vyjádřeny na obr. 5.2 pro původní skladbu nástrojů a pro novou skladbu nástrojů na obr. 5.3.



■ Náklady na strojní práci ■ Náklady na vedlejší práci ■ Náklady na HSS frézu  $\varnothing 10$  mm

Obr. 5.2 Grafické zobrazení operačních nákladů původní skladby nástrojů.





- Náklady na strojní práci
- Náklady na vedlejší práci
- Náklady na SK frézu ø 10 mm dlouhá
- Náklady na SK frézu ø 16 mm

Obr. 5.3 Grafické zobrazení operačních nákladů nové skladby nástrojů.

#### 5.4.2 Operační náklady obrábění na CNC stroji při sériové výrobě

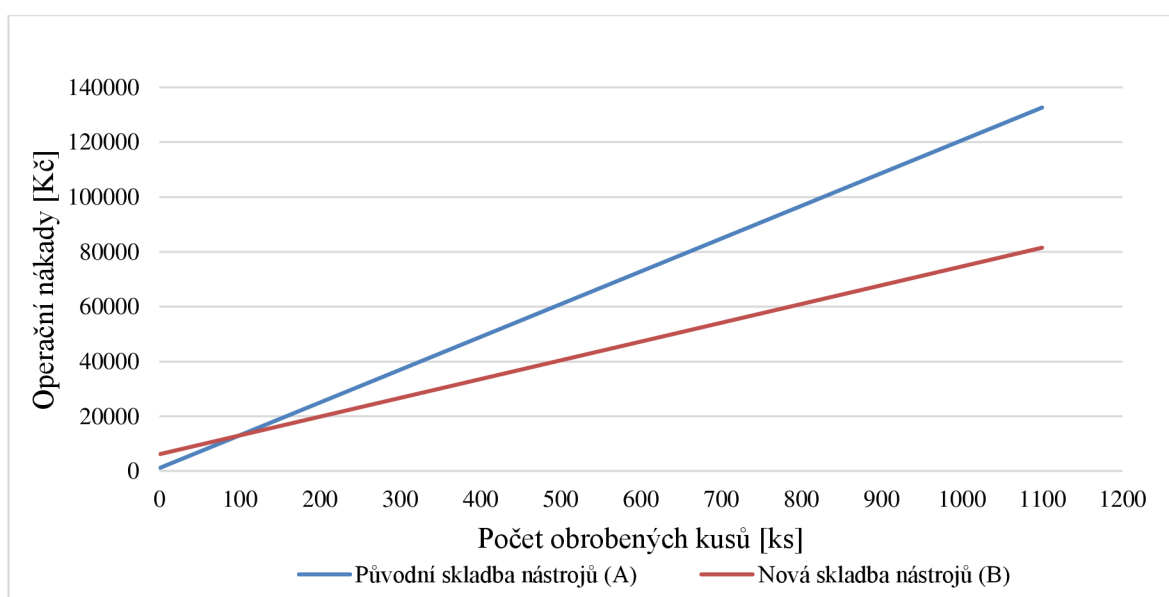
Při ekonomickém zhodnocení nákladů za práci CNC stroje při frézování více kusů profilů, je zahrnuto roční výrobní množství výrobní série. Roční náklady práce při frézování zkušebního profilu jsou vyhodnoceny dle vztahu 5.12. Výsledky kalkulací jsou zobrazeny v tab. 5.10.

$$N_{OPs} = N_{OP} \cdot N \text{ [Kč]} \quad (5.12)$$

$N_{OPs}$ ... Celkové operační náklady obrábění na CNC stroji při sériové výrobě [Kč],  
 $N_{OP}$ ... celkové operační náklady CNC stroje při obrábění jednoho dílu [Kč],  
 $N$  ... výrobní série [ks].

Tab. 5.10 Srovnání operačních nákladů obrábění na CNC stroji při sériové výrobě.

	Původní skladba nástrojů (A) [Kč]	Nová skladba nástrojů (B) [Kč]	Finanční úspora [Kč]
<b>Celkové operační náklady</b>	129 910	85 140	44 770



Obr. 5.4 Grafická závislost operačních nákladů na počtu vyrobených kusů.

Využitím nově navržené skladby nástrojů je při výrobě sériového množství ekonomická úspora za práci na CNC stroji 44 770 Kč za rok. Na obr. 5.4 je zobrazena lineární závislost operačních nákladů při využití původní a nové skladby nástrojů při výrobě sériového množství. Z grafického zobrazení lze pozorovat, že při frézování prvního kusu jsou počáteční náklady při využití nové skladby nástrojů vyšší. Příčinou jsou pořizovací náklady na nástroje, které jsou v případě nové skladby nástrojů vyšší. Z důvodu nižší trvanlivosti nástrojů u původní skladby nástrojů a tím pádem i častější výměně nástrojů, je využití nové skladby ekonomicky výhodnější.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce byla zpracována ve společnosti zabývající se výrobou otvorových výplní, konkrétně ve výrobě hliníkových konstrukcí. Záměrem práce byl návrh vhodných řezných nástrojů pro využití na CNC obráběcím centru a jejich aplikace do výrobního procesu. Cílem bylo zvýšení produktivity, efektivity řezného procesu, zvýšení kvality obrobených ploch a snížení strojních časů frézování.

Pro experimentální verifikaci byl vybrán jako zkušební díl profil z hliníkové slitiny, sloužící ke konstrukci dveří, jejichž zastoupení je mezi prvky ve výrobě AL nejvyšší. Dle stejného kritéria byly vybrány i typy frézovaných otvorů. Součástí experimentální části práce byla analýza původně využívaných řezných nástrojů při frézování na CNC obráběcím centru. Výsledkem bylo zjištění, že pro většinu operací byla neefektivně využívána čelní stopková fréza  $\varnothing$  10 mm z HSS oceli. Vzhledem k vysokým strojním časům frézování a nekvalitně obrobených hran otvorů, byl daný nástroj nahrazen frézami ze slinutého karbidu. Pro zvýšení produktivity obráběcího procesu, bylo frézování vybraných otvorů převedeno na nástroj  $\varnothing$  16 mm ze slinutého karbidu, který nebyl dříve dostatečně využíván. Od vybraných dodavatelů byly vybrány nové nástroje  $\varnothing$  10 mm ze slinutého karbidu, které nahradily méně využívané nástroje. Čelní stopkové SK frézy  $\varnothing$  10 mm a  $\varnothing$  16 mm nahradily většinu úkonů, které byly dříve vykonávány nástrojem z HSS oceli.

Experimentální verifikaci u zkušebního profilu za využití nové skladby nástrojů, bylo dosaženo následujících výsledků:

- Teoretické strojní časy frézování byly sníženy o 65 %, ze 4,602 min na 1,618 min,
- měřené celkové časy procesu frézování zahrnující posuvy stroje s výměnou nástrojů, byly sníženy ze 4,602 min na 1,618 min,
- nejmenšího počtu obrobených kusů po dobu jedné trvanlivosti nástroje dosahovala HSS fréza  $\varnothing$  10 mm (88 ks), největšího SK fréza  $\varnothing$  10 mm (1439 ks),
- celkové operační náklady na obrobení jednoho dílu byly sníženy z 118,1 Kč na 77,4 Kč,
- celkové operační náklady při frézování sériového množství 1 100 ks, byly ekonomicky výhodnější, i přes vyšší pořizovací cenu nástrojů, úspora cca 34 %
- využitím nové skladby nástrojů byly potvrzeny teoreticky předpokládané přínosy, jelikož bylo dosaženo nižších strojních časů frézování, vyšší kvality obrobených hran frézovaných otvorů a z ekonomického hlediska nižších operačních nákladů.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. Historie společnosti SULKO. *SULKO s.r.o.* [online]. Zábřeh [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.sulko.cz/historie-spolecnosti-sulko/>
2. SULKO. *Interní materiály společnosti*. Zábřeh: SULKO s.r.o., 2019
3. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
4. ELUMATEC, s.r.o.. *Complete aluminium construction catalogue* [online]. Mühlacker, 2018 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.elumatec.com/upload/catalog/file/elumatec-Catalog-Aluminium-Construction-EN-2018-11-MByz.pdf>
5. VBH. greenteQ. *2C-alu-adhesive* [online]. 2018 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: [http://www.greenteq.info/vb/opencms/Resource/galleries/greenteq/download/Chemicals/Product\\_data\\_sheets/2C-Alu\\_adhesive/GB\\_greenteQ\\_product\\_data\\_sheet\\_2C-alu-adhesive.pdf](http://www.greenteq.info/vb/opencms/Resource/galleries/greenteq/download/Chemicals/Product_data_sheets/2C-Alu_adhesive/GB_greenteQ_product_data_sheet_2C-alu-adhesive.pdf)
6. WEISS CHEMIE. *Technical data sheet - COSMO PU-200.120* [online]. 2018 [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: [http://www.greenteq.info/vb/opencms/Resource/galleries/greenteq/download/Chemicals/Product\\_data\\_sheets/2C-Alu\\_adhesive/GB\\_greenteQ\\_product\\_data\\_sheet\\_2C-alu-adhesive.pdf](http://www.greenteq.info/vb/opencms/Resource/galleries/greenteq/download/Chemicals/Product_data_sheets/2C-Alu_adhesive/GB_greenteQ_product_data_sheet_2C-alu-adhesive.pdf)
7. SULKO, s.r.o.. *Průvodce nabídkou vchodových dveří* [online]. Zábřeh, 2017 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://www.sulko.cz/pdf/Sulko\\_katalog\\_dvere\\_2017.pdf](https://www.sulko.cz/pdf/Sulko_katalog_dvere_2017.pdf)
8. Co je to panikové kování. *O dveřích* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://odverich.cz/dvere-a-design-bytu/co-je-to-panikove-kovani/>
9. SULKO, s.r.o.. *Průvodce nabídkou hliníkových produktů* [online]. Zábřeh, 2017 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://www.sulko.cz/pdf/Sulko\\_katalog\\_dvere\\_2017.pdf](https://www.sulko.cz/pdf/Sulko_katalog_dvere_2017.pdf)
10. HS portal – to jsou posuvné balkónové dveře. *Magazín o stavbě a bydlení | stavimbydlim.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://stavimbydlim.cz/hs-portal-posuvne-balkonove-dvere/>
11. ALUPROF, S.A.. *Lift and slide balcony door MB-77HS* [online]. Bielsko-Biała, 2014 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://aluprof.eu/files/downloads/mb-77hs\\_a3\\_en.pdf](https://aluprof.eu/files/downloads/mb-77hs_a3_en.pdf)
12. ALUPROF, S.A.. *Façade systems MB-SR50N MB-SR50N HI+* [online]. Bielsko-Biała, 2017 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://aluprof.eu/files/downloads/mb-sr50n\\_a3\\_en\\_31\\_07.pdf](https://aluprof.eu/files/downloads/mb-sr50n_a3_en_31_07.pdf)
13. Požární odolnost stavebních konstrukcí. *Tzb-info* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci>
14. ALUPROF, S.A.. *Window and door system MB-86* [online]. Bielsko-Biała, 2014 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: [https://www.aluprof.co.uk/UserFiles/systems/ulotki\\_systemowe\\_aluprof/ulotka\\_MB-86\\_EN.pdf](https://www.aluprof.co.uk/UserFiles/systems/ulotki_systemowe_aluprof/ulotka_MB-86_EN.pdf)
15. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1. 1. díl, Nauka o materiálu*. 4. revidované vydání. Praha: Scientia, 2007, 266 stran: ISBN 978-80-86960-26-5.
16. ROUČKA, Jaromír. *Metallurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2790-6.
17. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4.
18. MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
19. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie.

- 2003 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
20. CHEN, Hua-bin, Keng YAN, Tao LIN, Shan-ben CHEN, Cheng-yu JIANG a Yong ZHAO. The investigation of typical welding defects for 5456 aluminum alloy friction stir welds. *Materials Science & Engineering A* [online]. Elsevier B.V, 2006, **433**(1), 64-69 [cit. 2019-03-23]. DOI: 10.1016/j.msea.2006.06.056. ISSN 0921-5093.
21. RANJAN, Ravi, Aaqib reza KHAN, Chirag PARIKH, Rahul JAIN, Raju prasad MAHTO, Srikanta PAL, Surjya k. PAL a Debashish CHAKRAVARTY. Classification and identification of surface defects in friction stir welding: An image processing approach. *Journal of Manufacturing Processes* [online]. Elsevier, 2016, **22**, 237-253 [cit. 2019-03-22]. DOI: 10.1016/j.jmapro.2016.03.009. ISSN 1526-6125.
22. DURSUN, Tolga a Costas SOUTIS. Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys. *Materials and Design* [online]. Elsevier, 2014, **56**(C), 862-871 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.12.002. ISSN 0261-3069.
23. HIRSCH, J. a T. AL-SAMMAN. Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications. *Acta Materialia* [online]. Elsevier, 2013, **61**(3), 818-843 [cit. 2019-03-23]. DOI: 10.1016/j.actamat.2012.10.044. ISSN 1359-6454.
24. MILLER, W.s, L ZHUANG, J BOTTEMA, A.j WITTEBROOD, P DE SMET, A HASZLER a A VIEREGGE. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science & Engineering A* [online]. Elsevier B.V, 2000, **280**(1), 37-49 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1016/S0921-5093(99)00653-X. ISSN 0921-5093.
25. OKURA, I a I OKURA. Application of aluminium alloys to bridges and joining technologies. *Welding International* [online]. 2003 [cit. 2019-03-24]. ISSN 0950-7116. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/27952089/>
26. DOKŠANOVIC, Tihomir, Ivica DZEBA a D. MARKULAK. Applications of aluminium alloys in civil engineering. *Tehnicky Vjesnik* [online]. 2017, (24), 1609-1618 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.17559/TV-20151213105944. ISSN 1848-6339. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/320879773\\_Applications\\_of\\_aluminium\\_alloys\\_in\\_civil\\_engineering](https://www.researchgate.net/publication/320879773_Applications_of_aluminium_alloys_in_civil_engineering)
27. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
28. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
29. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
30. Vývoj kapalin pro obrábění hliníku. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-kapalin-pro-obrabeni-hliniku.html>
31. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
32. PRAMET TOOLS, s.r.o.. *Příručka obrábění* [online]. Šumperk, 2004 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [http://stachura.cz/novy/data/priruccka\\_obrabeni\\_pramet.pdf](http://stachura.cz/novy/data/priruccka_obrabeni_pramet.pdf)
33. Technická příručka obrábění. *soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s.

34. Co zvolit pro obrábění Al slitin?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/co-zvolit-pro-obrabeni-al-slitin.html>
35. Company profile. *ELUMATEC* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.elumatec.com/en/page/company-profile>
36. O nás. *Nástroje, nářadí, měřidla, brusivo a další – BO-IMPORT s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/informace/o-nas.html>
37. K-TOOLS. *Profil firmy* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.k-tools.cz/index.php?url=cs/profil-firmy>
38. K-TOOLS. *NÁSTROJE A TECHNOLOGIE* [online]. 2015 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.k-tools.cz/aktuality/20150924154452.pdf>
39. O společnosti. *Dormer Pramet s.r.o* [online]., [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/our-company>
40. DORMER PRAMET, s.r.o. *Dormer katalog 2018* [online]. 2018 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: [https://www.dormerpramet.com/downloads/dormer%20catalogue%202018\\_updated\\_set%204\\_cz-ru-pl-sk.pdf](https://www.dormerpramet.com/downloads/dormer%20catalogue%202018_updated_set%204_cz-ru-pl-sk.pdf)
41. PROKOP, Jaroslav. *TECHNOLOGICKÉ-EKONOMICKÉ ASPEKTY PROVOZU CNC OBRÁBĚČÍCH STROJŮ*. VUT FSI Brno, 2019.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>
AL	Hliník
C	Mezní stav samozavírání
CNC	Computer Numeric Control
CVD	Chemical Vapor Deposition
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsches Institut für Normung
E	Mezní stav celistvosti konstrukce
EI	Označení požární odolnosti bránící šíření tepla
EN	Evropská norma
EW	Označení požární odolnosti omezující šíření tepla
FSW	Friction Stir Welding
HB	Tvrlost dle Brinella
HRC	Tvrlost dle Rockwella
HS	Hebe-schiebe
HSh	Tvrlost dle Shoreho
HSS	Rychlořezná ocel
HV	Tvrlost dle Vickerse
I	Mezní stav izolačních schopností konstrukce
MIG	Svařování kovů v ochranné atmosféře interního plynu
OTK	Odbor technické kontroly
PC	Personal Computer
PD	Polykrystalický diamant
PIN	Personal Identification Number
PVC	Polynvinylchlorid
PVD	Physical Vapour Deposition
S	Mezní stav kouřotěsnosti
SK	Slinutý karbid
TIG	Svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu
TPO	Technická podpora obchodu
TPV	Technická příprava výroby

VBD	Vyměnitelná břitová destička
VD	Vstupní dveře
W	Mezní stav omezení radiace tepla
Apod.	A podobně
Atd.	Atakdale
Např.	Například

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	Tažnost
$C_N$	[Kč]	Cena nástroje
$C_n$	[Kč]	Cena nástroje
$C_s$	[Kč]	Pořizovací cena stroje
$C_T$	[-]	Konstanta Taylorova vztahu
$C_v$	[-]	Konstanta Taylorova vztahu
$C_{vT}$	[-]	Konstanta Taylorova vztahu při trvanlivosti T
D	[mm]	Průměr nástroje
$D_{nks}$	[ks]	Počet nástrojů ročně
$D_o$	[mm]	Průměr frézovaného otvoru
$E_{ef}$	[h.rok <sup>-1</sup> ]	Efektivní roční časový fond stroje
I	[mm]	Rozměr odlehčení nástroje
L	[mm]	Dráha ve směru posuvu nástroje
$L_l$	[mm]	Celková dráha pohybu nástroje ve směru posuvu nástroje
$L_n$	[mm]	Celková dráha ve směru posuvu nástroje
$L_s$	[Kč]	Likvidační hodnota stroje
N	[ks]	Roční výrobní série
$N_d$	[Kč]	Náklady na demontáž stroje
$N_{hs}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	Náklady na hodinu provozu CNC obráběcího centra
$N_i$	[Kč]	Náklady na instalaci stroje
$N_N$	[Kč]	Náklady na nástroj a jeho výměnu na jeden obrobek kus
$N_{OP}$	[Kč]	Celkové operační náklady CNC stroje při obrábění jednoho dílu



$N_{OP}$	[Kč]	Celkové operační náklady obrábění na CNC stroji při sériové výrobě
$N_s$	[Kč.ks <sup>-1</sup> ]	Náklady nástrojní práci CNC obráběcího centra
$N_T$	[Kč]	Náklady na nástroj a jeho výměnu
$N_{Tv}$	[Kč]	Náklady na výměnu nástroje
$N_V$	[Kč.ks <sup>-1</sup> ]	Náklady na vedlejší práci CNC obráběcího centra
$Q_T$	[ks]	Počet obrobených kusů profilů za jednu trvanlivost nástroje
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{mmax}$	[MPa]	Maximální mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Mez kluzu
$S$	[mm]	Průměr stopky
$S_f$	[Kč]	Fixní hodinová sazba
$T$	[min]	Trvanlivost nástroje
$T_i$	[min]	Aritmetický průměr trvanlivosti
$T_{ks}$	[ks]	Trvanlivost nástroje v počtu obrobených kusů
$T_{min}$	[min]	Trvanlivost nástroje v minutách
$U_f$	[W/m <sup>2</sup> K]	Součinitel prostupu tepla rámem
$U_w$	[W/m <sup>2</sup> K]	Součinitel prostupu tepla oknem
$Z$	[%]	Kontrakce
$Z$	[min]	Životnost nástroje
$Z$	[r]	Doba životnosti stroje
$Z_{VBD}$	[min]	Životnost nástroje s VBD
$i_o$	[-]	Index obrobitelnosti
$d$	[mm]	Délka obdélníkového otvoru
$f$	[mm.ot <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku
$h$	[mm]	Řezná délka
$l$	[mm]	Délka dráhy posuvu nástroje
$l_f$	[mm]	Délka obráběné plochy
$l_n$	[mm]	Délka náběhu nástroje
$l_{nx}$	[mm]	Délka náběhu nástroje při obvodovém frézování
$l_{nz}$	[mm]	Délka náběhu nástroje při zahloubení

$l_p$	[mm]	Délka přeběhu nástroje
$l_{px}$	[mm]	Délka přeběhu nástroje při obvodovém frézování
$l_{pz}$	[mm]	Délka přeběhu nástroje
$l_z$	[mm]	Hloubka frézování
$l_{z1}$	[mm]	Hloubka frézovaného otvoru prvního v pořadí
$l_{z2}$	[mm]	Hloubka frézovaného otvoru druhého v pořadí
$m$	[-]	Exponent Taylorova vztahu
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky vřetena
$q$	[-]	Kvocient indexu obrobitelnosti
$q$	[-]	Počet využitelných ostří VBD
$\check{s}$	[mm]	Šířka obdélníkového otvoru
$t_{AS}$	[min]	Strojní čas
$t_{AS}$	[min]	Strojní čas frézování nástroji původní skladby
$t_{AS13}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 13
$t_{AS13x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 13
$t_{AS13z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 13
$t_{AS17}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 17 původní skladbou nástrojů
$t_{AS17x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 17 původní skladbou nástrojů
$t_{AS17z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 17 původní skladbou nástrojů
$t_{AS19}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 19 původní skladbou nástrojů
$t_{AS19x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 19 původní skladbou nástrojů
$t_{AS19z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 19 původní skladbou nástrojů
$t_{AV}$	[min]	Vedlejší čas frézování nástroji původní skladby
$t_{ax}$	[min]	Doba výměny nástroje
$t_{BS}$	[min]	Strojní čas frézování nástroji nové skladby
$t_{BS13}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 13 novou skladbou nástrojů
$t_{BS13x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 13 novou skladbou nástrojů
$t_{BS13z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 13 novou skladbou nástrojů
$t_{BS16}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 16 novou skladbou nástrojů
$t_{BS16x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 16 novou skladbou

nástrojů		
$t_{BS16z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 16 novou skladbou nástrojů
$t_{BS21}$	[min]	Celkový strojní čas operace č. 21 novou skladbou nástrojů
$t_{BS21x}$	[min]	Strojní čas obvodového frézování operace č. 21 novou skladbou nástrojů
$t_{BS21z}$	[min]	Strojní čas zahloubení operace č. 21 novou skladbou nástrojů
$t_{BV}$	[min]	Vedlejší čas frézování nástroji nové skladby
$t_f$	[min]	Čas záběru nástroje
$t_f$	[min]	Doba frézování nástroje
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$v_{c15}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost při obrábění zkoušeného materiálu a trvanlivost 15 minut
$v_{c15\text{ etalonu}}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost při obrábění etalonu a trvanlivost 15
$v_{cT}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost při trvanlivosti T=konst.
$v_f$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	Posuvová rychlost
$v_{fx}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Rychlost posuvu
$v_{fz}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Rychlost zanoření
$x$	[-]	Počet ostření nástroje
$x_v$	[-]	Exponent, vliv hloubky řezu
$y_v$	[-]	Exponent, vliv posuvu na otáčku
$\alpha$	[°]	Úhel
$\rho_{Al}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Hustota hliníku
$\rho_{Mg}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Hustota hořčíku
$\tau$	[-]	Podíl čistého času frézování