



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY DRŽÁKU JEHELNÍ TYČE

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING EFFICIENCY OF NEEDLE BAR HOLDER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Paděra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Radek Paděra
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Zefektivnění výroby držáku jehelní tyče

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Popis, rozbor a charakteristika technologií použitých na výrobu součásti držáku jehelní tyče
3. Analýza stávajícího stavu výroby
4. Návrh inovace výrobního procesu – zefektivnění stávajícího stavu výroby
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude návrh nového výrobního procesu součásti držáku jehelní tyče pro firmu MINERVA Boskovice, a.s. V práci bude provedena analýza stávajícího výrobního procesu a bude navrženo řešení vedoucí k zefektivnění výroby dané součásti. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením včetně rozboru navrženého řešení a porovnáním se stávající variantou výroby.

Seznam literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

LEINVEBER, J. Strojnické tabulky. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999, 911 s. ISBN 80-718-3164-6.

HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 28. 11. 2015



M. Píška

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

J. Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výrobou součásti držáku jehelní tyče pro firmu MINERVA BOSKOVICE, a.s. za účelem návrhu zefektivnění výroby. První část diplomové práce je věnována rozboru použitých technologií na výrobu součásti. Druhá část práce je zaměřena na rozbor součásti a její stávající výrobu. Ve třetí části je proveden návrh inovace výrobního procesu obsahující popis přípravku a nových strojů použitých pro výrobu, volbu nástrojů, technologický postup a strojní výpočty. V poslední části je zhodnocena stávající a nově navržená výroba s jejich vzájemným porovnáním.

Klíčová slova

šicí stroj, výrobní dávka, CNC stroj, přípravek, technologický postup

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the manufacturing of the needle bar holder for the company MINERVA BOSKOVICE, a.s. to propose the efficient production. The first part of diploma thesis is dedicated to the analysis of the technologies used for manufacturing the component. The second part of the thesis is focused on the analysis of the component and its current production. The third part suggests a design for a manufacturing process innovation containing the description of a new machine used for manufacturing, tool selection, technological process and mechanical calculations. The last part evaluates the current and a newly designed production and makes a comparison between the two ways.

Key words

sewing machine, production charge, CNC machine, preparation, technological process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PADĚRA, R. *Zefektivnění výroby držáku jehelní tyče*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 68 s. 4 přílohy. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Zefektivnění výroby držáku jehelní tyče** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Bc. Radek Paděra

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu TPV panu Ing. Kavanovi z firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. za cenné připomínky, rady a návrhy při vypracování diplomové práce a za poskytnuté téma k řešení.

Poděkování patří také vedoucímu práce doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a konzultace vedoucí ke správnému vypracování práce.

Dále bych chtěl poděkovat svojí rodině a přítelkyni za podporu při studiu a hlavně svým rodičům za finanční podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIÍ POUŽITÝCH NA VÝROBU SOUČÁSTI DRŽÁKU JEHELNÍ TYČE.....	10
1.1 Základy obrábění	10
1.1.1 Princip tvorby třísky	10
1.1.2 Základní pohyby při obrábění.....	12
1.1.3 Teplo vzniklé při obrábění	14
1.2 Nástrojové materiály	15
1.2.1 Nástrojové oceli, rychlořezná ocel.....	16
1.2.2 Slinuté karbidy	16
1.3 Vliv řezného prostředí na obráběcí proces	18
1.3.1 Požadavky na řezná média.....	19
1.3.2 Druhy řezných médií	20
1.4 Technologie frézování	21
1.4.1 Kinematika frézování.....	21
1.4.2 Volba řezných podmínek	23
1.4.3 Výpočty strojních časů při frézování	23
1.4.4 Základní druhy frézovacích nástrojů	25
1.5 Technologie vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování	26
1.5.1 Kinematika řezného procesu.....	26
1.5.2 Výpočty strojních časů.....	27
1.5.3 Vrtání	27
1.5.4 Vyhrubování	28
1.5.5 Vystružování	29
1.5.6 Zahlubování	29
1.6 Technologie řezání závitů	30
1.6.1 Kinematika řezání závitů a výpočet strojního času	31
1.6.2 Řezání závitů.....	31
2 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY	33
2.1 Rozbor součásti držáku jehelní tyče	33
2.1.1 Konstrukce součásti	33

2.1.2	Popis funkce součásti	35
2.1.3	Šicí stroje s danou součástí	37
2.2	Stávající výroba	37
2.2.1	Stávající výrobní zařízení	38
2.2.2	Stávající technologický postup a stávající výrobní časy	39
3	NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU - ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY	40
3.1	Nové stroje použité pro výrobu	40
3.1.1	CNC stroj HAAS VF-2SS a otočný stůl HRT210	40
3.1.2	Čisticí stroj PERO R1-EX	42
3.2	Nástroje použité na výrobu	43
3.2.1	Frézovací nástroje	43
3.2.2	Vrtací nástroje	45
3.2.3	Výstružníky a ostatní nástroje	47
3.3	Přípravek použitý na CNC stroji	48
3.4	Nový technologický postup	49
3.5	Výpočty výrobních časů	51
3.6	Potřebné množství nástrojů pro výrobu součástí	55
3.7	Průběžná doba výroby	56
3.8	Celkové náklady na výrobu	56
4	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	57
4.1	Zhodnocení stávající varianty výroby	57
4.2	Zhodnocení navržené varianty výroby	57
4.3	Porovnání navržené a stávající varianty výroby	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
	SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

Firma MINERVA BOSKOVICE, a.s. je v současné době jedním z členů skupiny DÜRKOPP ADLER GROUP, a to od roku 1997. Na jejich šicích strojích se vyrábí výrobky známých světových výrobců, jako je například Baťa, Adidas, Puma, Hugo Boss, Johnson Controls a další. Historie firmy sahá až do roku 1881, kdy Emil Rezler a Josef Komárek založili ve Vídni firmu na výrobu šicích strojů pro domácnosti. V roce 1936 bylo zahájeno budování výrobního závodu v Boskovicích a roku 1938 se sem výroba šicích strojů přestěhovala. V roce 1953 zahajuje firma výrobu průmyslových šicích strojů pro různé aplikace v průmyslu jako například šicí stroje pro šití obuvi, galanterie, nábytkářství, ale také využití v automobilním průmyslu na pošívání volantů, šití sedadel, autopotahů apod. Roku 1968 byla ukončena výroba šicích strojů pro domácnosti a roku 1991 byla založena akciová společnost MINERVA BOSKOVICE, a.s. Roku 2011 byl zahájen vývoj těžké řady strojů H-Type. V Roce 2014 firma zahájila výrobu těžkých průmyslových šicích strojů nové řady H-Type s vysokou mírou automatizace a unifikace pro použití v různých oblastech průmyslu [1,2].

Cílem diplomové práce má být návrh nového výrobního procesu součásti držáku jehelní tyče, která patří k dílcům s nejdělsí průběžnou dobou výroby, pro firmu MINERVA BOSKOVICE, a.s. Návrh by měl mít za následek zefektivnění stávající zdlouhavé výroby na běžných konvenčních strojích a vést tak ke zkrácení dlouhé průběžné doby výroby zadané součásti, kvůli které se prodlužuje výroba šicího stroje jako celku, protože na tuto součást čeká montáž, i když už mohou být ostatní součásti šicího stroje dávno vyrobeny a připraveny ke smontování.

Úkolem práce bude provést rozbor technologií použitých na výrobu součásti držáku jehelní tyče. Součástí práce bude analýza stávajícího výrobního procesu a navržení řešení, které povede k zefektivnění výroby zadané součásti. Na závěr práce bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navržené varianty výroby včetně porovnání nového návrhu se stávajícím výrobním procesem.

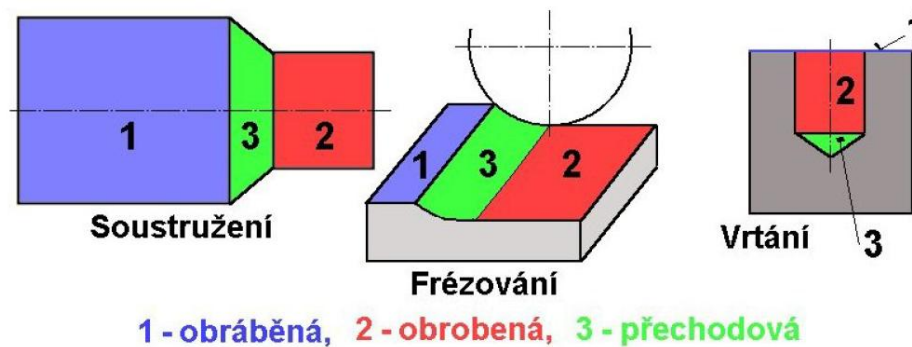
1 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIÍ POUŽITÝCH NA VÝROBU SOUČÁSTI DRŽÁKU JEHELNÍ TYČE

Tato kapitola se bude zabývat teoretickými základy obrábění, nástrojovými materiály, řezným prostředím a technologiemi, které jsou použity na výrobu součásti držáku jehelní tyče, a to na jejích popis, rozbor a charakteristiku.

1.1 Základy obrábění

Obrábění je proces, při kterém se vytváří plochy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti povrchů odebráním částic materiálu obrobku za působení určitého druhu sil. Je především procesem intenzivních plastických deformací v rovině maximálních smykových napětí. Materiál obrobku při tvorbě třísky velmi rychle prochází mezními stavy pružné napjatosti, plastické deformace a oddělení materiálu formou lomového porušení. Kvůli vysoké rychlosti deformace tyto fyzikální mechanismy probíhají rychle a k oddělení části třísky dochází ve velmi krátkém čase a je tedy složité sledovat jednotlivé stavy. Obrábění probíhá v soustavě stroj - nástroj - obrobek (S-N-O), případně v soustavě stroj - nástroj - obrobek - přípravek (S-N-O-P) [3, 4].

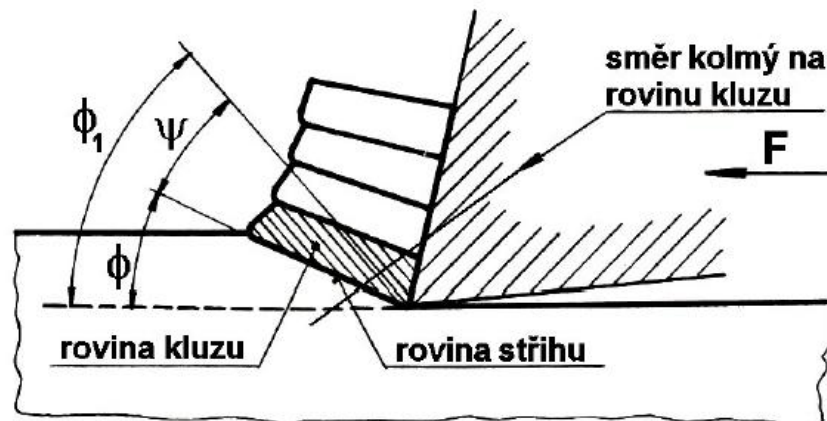
Obráběním vzniká na obrobku několik typů ploch, a to obráběná plocha, přechodová plocha a plocha obrobená (viz obr. 1.1). Obráběná plocha je plocha, která je přetvářena obráběním. Přechodová plocha je plochou, která leží mezi obráběnou a obrobenou plochou a je vytvářena okamžitým působením nástroje. Obrobená plocha je plocha obrobku, která vznikla za působení řezného nástroje a je určována svým tvarem, rozměry a vlastnostmi povrchu [3].



Obr. 1.1 Plochy na obrobku [3].

1.1.1 Princip tvorby třísky

Při tvorbě třísky vniká řezný klín nástroje za působení řezných sil do materiálu obrobku, který je jeho působením elasticky a plasticky deformován. Při překročení meze kluzu začíná vznikat tříska ve střížné rovině. Úhel mezi směrem řezu a střížnou rovinou se nazývá úhel stříhu a je označován ϕ (viz obr. 1.2). Aby mohl probíhat proces řezání, je zapotřebí, aby byl použit materiál nástroje, který má vyšší tvrdost než materiál obráběný. Oddělování třísky při obráběcím procesu závisí na mnoha činitelích, zejména pak na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu obrobku a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace [5, 6, 7].

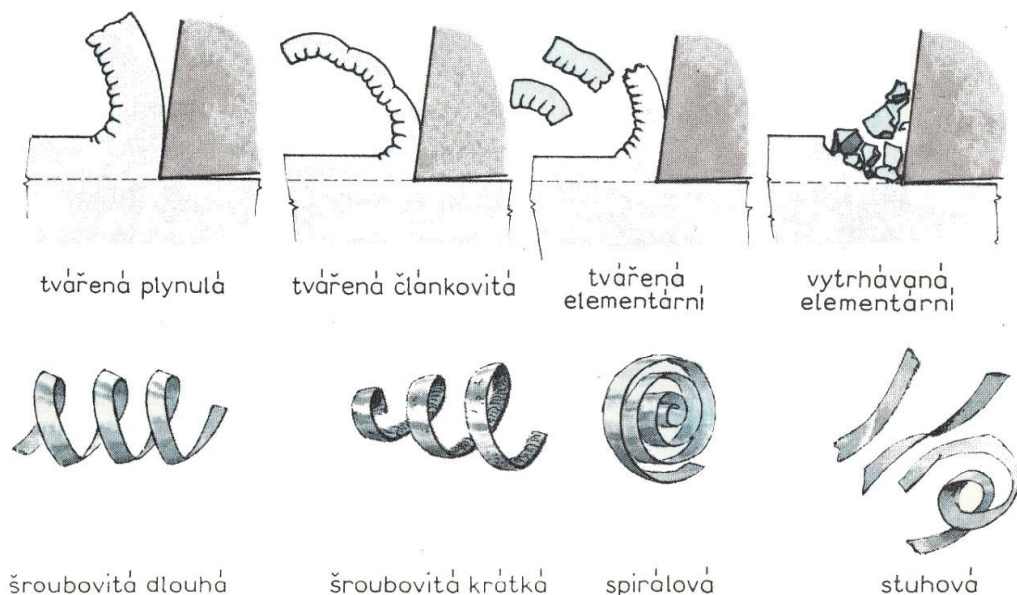


Obr. 1.2 Princip tvorby třísky [3].

Třísky jsou vedlejším produktem obráběcího procesu, ale jejich technologické charakteristiky vypovídají o obráběcím procesu jak z hlediska energetického, tak z hlediska odchodu z řezné zóny [7].

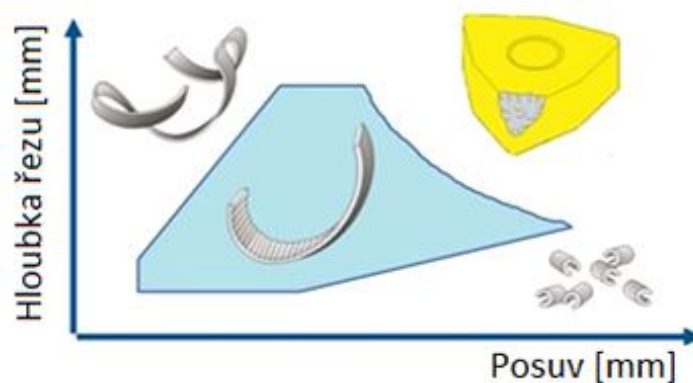
Třísky je možné dělit na [7] (viz obr. 1.3):

- tvářenou soudržnou třísku - materiál obrobku je intenzivně plasticky tvářen a následně oddělován, vznik třísky plastickým kluzem, typické pro ocele, tvárné litiny, slitiny Al a slitiny Cu,
- částečně tvářená tříska - materiál obrobku je před oddělením částečně tvářen, typické pro litiny a bronzy,
- netvářená tříska - tříska vzniká štěpením, materiál je odtržen, typické pro sklo, dřevo apod.



Obr. 1.3 Tvary a druhy třísek [8].

Tvorbu třísky a její tvar ovlivňuje velké množství různých faktorů. Mezi tyto ovlivňující faktory patří zejména materiál obrobku. Čím má materiál obrobku vyšší tvrdost, tím jsou třísky kratší a naopak čím je vyšší tažnost obráběného materiálu, tím jsou třísky delší. Mezi další faktor patří také geometrie obráběcího nástroje, zejména řezná hrana a geometrie utvařeče třísek. Velký vliv na utváření třísky a její tvar mají řezné podmínky, a to zejména hloubka řezu a velikost posuvu, proto je nutné věnovat velkou pozornost správné volbě řezných parametrů a pokusit se najít správný poměr mezi hloubkou řezu a velikostí posuvu. Závislost hloubky řezu a velikosti posuvu můžeme vidět na schématu utváření třísky (viz obr. 1.4) [9].



Obr. 1.4 Schéma utváření třísek [9].

1.1.2 Základní pohyby při obrábění

Hlavním pohybem (viz obr. 1.5) je nazýván vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem, který je realizován obráběcím strojem. Rozeznává se otáčivý pohyb obrobku, a to zejména při soustružení, broušení nebo také někdy při vrtání. Při frézovacích, brousicích a vrtacích technologiích se místo obrobku otáčí nástroj. Při obrábění se nástroj pohybuje přímočaře a naopak při hoblování se pohybuje přímočaře obrobek [3].

Základní pojmy hlavního pohybu [3]:

- **směr hlavního pohybu** (viz obr. 1.6) je určen jako směr okamžitého hlavního pohybu určitého bodu na ostří nástroje vůči obrobku,
- k hlavnímu pohybu se vztahuje pojem **řezná rychlost** v_c , která je okamžitou rychlostí hlavního pohybu v určitém bodu ostří nástroje vůči obrobku, kdy řeznou rychlost lze vypočítat podle vztahu (1.1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr nástroje nebo obráběný průměr obrobku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

Posuvový pohyb (viz obr. 1.5) je další relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem realizovaný obráběcím strojem. Společně s hlavním pohybem poskytuje posuvový pohyb přerušované nebo plynulé odřezávání třísky z povrchu obrobku. Posuvový pohyb je buď realizován plynule, nebo postupně. Při některých obráběcích technologiích, jako je například protahování, není posuvový pohyb použit [3].

Základní pojmy posuvového pohybu [3]:

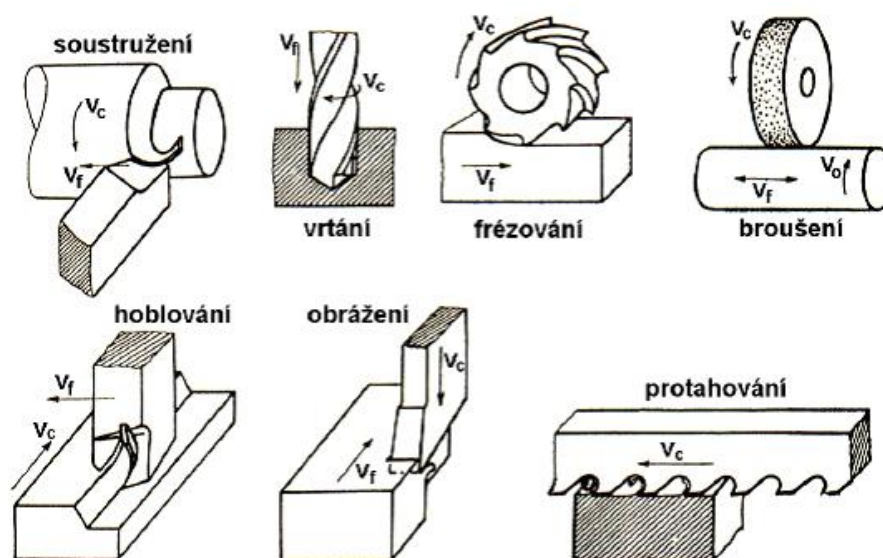
- **směr posuvového pohybu** (viz obr. 1.6) je stanovený směrem okamžitého posuvového pohybu určitého bodu ostří nástroje vůči obrobku,
- úhel mezi směry současného hlavního a posuvového pohybu, který se měří v boční pracovní rovině P_{fe} , se nazývá **úhel posuvového pohybu φ** ,
- rychlost určená jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v určitém bodě ostří nástroje vůči obrobku se nazývá **posuvová rychlost v_f** .

Řezný pohyb (viz obr. 1.6) vychází ze společného hlavního a posuvového pohybu. Řezným pohybem je výsledný vzájemný pohyb nástroje oproti obrobku vzniklý sečtením vektoru hlavního a posuvového pohybu [3].

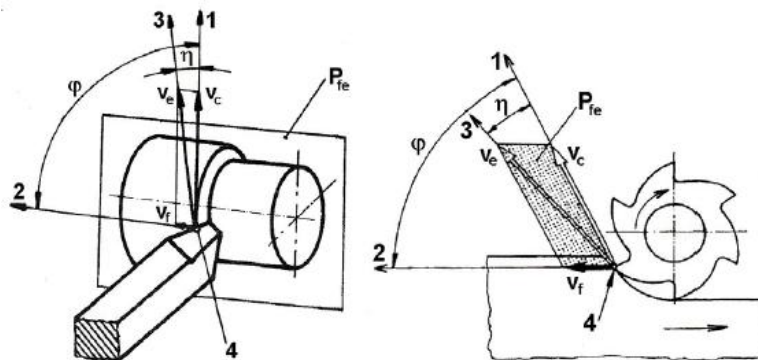
Základní pojmy řezného pohybu [3]:

- **směr řezného pohybu** je určen směrem okamžitého řezného pohybu v určitém bodu ostří nástroje vůči obrobku,
- úhel mezi směrem řezného pohybu a směrem hlavního pohybu měřený v boční pracovní rovině P_{fe} se nazývá **úhel řezného pohybu η** ,
- **rychlost řezného pohybu v_e** je okamžitá rychlost řezného pohybu určitého bodu ostří nástroje vůči obrobku.

Přísuv je pohyb obrobku či nástroje, kterým je nástroj nastavován do pracovní polohy o určité šířce záběru ostří a_p . Po dosažení požadované hodnoty šířky záběru ostří a_p je tento pohyb zastaven [3].



Obr. 1.5 Hlavní a posuvový pohyb některých metod obrábění [3].



Obr. 1.6 Základní pohyby při soustružení a frézování [3].

1.1.3 Teplo vzniklé při obrábění

Teplo při obrábění vzniká přeměnou vynaložené práce. V teplo se transformuje všechna práce vynaložená na řezání kromě práce, která je potřebná na pružné deformace, a práce spotřebované na deformaci mřížky kovu a vytvoření nových povrchů. Přibližně 95 až 98 % vynaložené energie E_e na tvorbu třísky při obrábění se přemění na tepelnou energii. Celkové teplo Q se skládá z několika složek podle vztahu (1.2) [4, 7].

$$Q = Q_{pd} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} \cong E_e \quad (1.2)$$

- kde:
- Q [J] - celkové teplo,
 - Q_{pd} [J] - teplo vzniklé v oblasti plastických deformací,
 - Q_{γ} [J] - teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele,
 - Q_{α} [J] - teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku,
 - E_e [J] - vynaložená energie.

Vzniklé teplo (viz obr. 1.7) je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího systému podle vztahu (1.3) [7].

$$Q = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad (1.3)$$

- kde:
- Q_t [J] - teplo odvedené třískou,
 - Q_o [J] - teplo odvedené obrobkem,
 - Q_n [J] - teplo odvedené nástrojem,
 - Q_{pr} [J] - teplo odvedené prostředím.

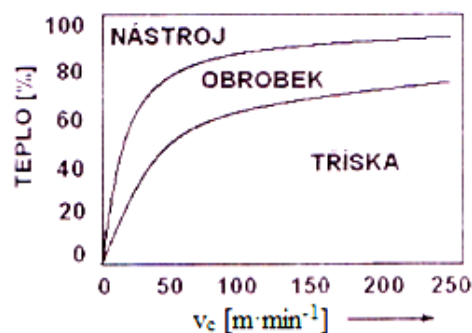


Obr. 1.7 Teplo a teplota při obrábění [10].

Vzniklé teplo má značný vliv na řezný proces, a to tak, že [4]:

- negativně působí a ovlivňuje řezné vlastnosti nástroje,
- ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu obrobku,
- ovlivňuje pēchování a zpevňování obráběného materiálu,
- ovlivňuje třecí podmínky na hřbetě a na čele nástroje.

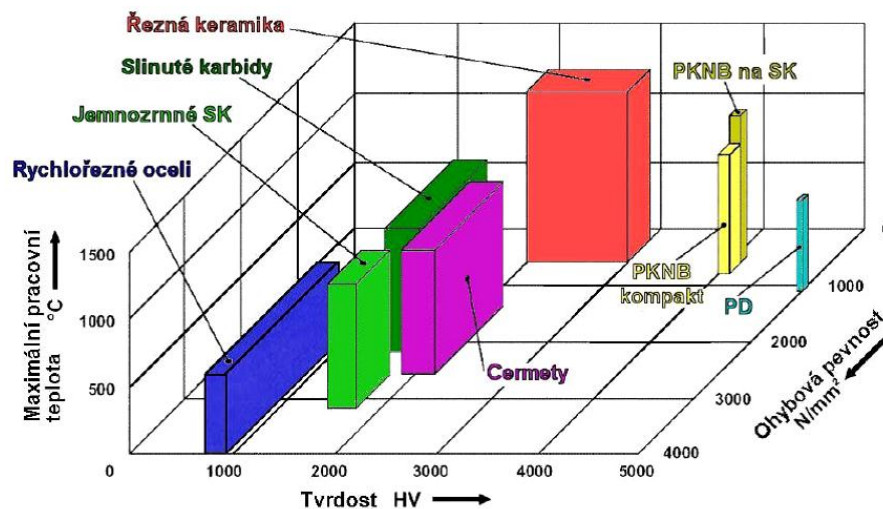
Rozložení tepelné energie a odvod tepla jednotlivými prostředními není konstantní. Na rozložení tepla a jeho odvod z místa řezu má zejména vliv tepelná vodivost řezného a obráběného materiálu, použitá obráběcí technologie, geometrie nástroje a nastavené řezné podmínky jako například vliv řezné rychlosti na rozložení tepla (viz obr. 1.8) [4].



Obr. 1.8 Rozložení tepla v závislosti na řezné rychlosti [4].

1.2 Nástrojové materiály

Řezný proces významným dílem ovlivňují použité nástroje, zejména materiály, ze kterých je vyrobena řezná část nástroje. V současnosti existuje velký výběr nástrojových materiálů od nástrojových ocelí až po super tvrdé řezné materiály. S vývojem nových konstrukčních materiálů a vývojem nových obráběcích strojů je nutné vyvíjet i nové řezné materiály, které budou schopny snášet vyšší řezné rychlosti, vyšší posuvy a vyšší teploty. Mezi nejdůležitější vlastnosti řezných materiálů patří zejména tvrdost, houževnatost, pevnost v ohybu, tepelná vodivost, ořezuvzdornost a maximální pracovní teplota (viz obr. 1.9). V následujících podkapitolách budou rozebrány nástrojové oceli a slinuté karbidy. [3, 11].



Obr. 1.9 Vlastnosti řezných materiálů [3].

1.2.1 Nástrojové oceli, rychlořezná ocel

Na vlastnosti nástrojových materiálů jsou kladeny různé požadavky podle podmínek, za kterých má daný nástroj pracovat. Někdy je u nástrojů požadována vysoká tvrdost, pevnost a otěruvzdornost materiálu, jindy zase vyšší houževnatost na úkor tvrdosti a pevnosti. U nástrojových ocelí je vyžadováno, aby si nástroj udržoval své specifické vlastnosti i za zvýšených teplot, které vznikají při obráběcím procesu. Nástrojové oceli patří dle ČSN do třídy ocelí č. 19, kterou je možno dále dělit na nelegované a legované nástrojové oceli (viz tab. 1.1), z nichž mezi nejdůležitější patří ocel rychlořezná [3].

Tab. 1.1 Rozdělení nástrojových ocelí [11].

Základní rozdělení	Popis	
19 0xx 19 1xx 19 2xx	Uhlíkové nástrojové oceli	Nelegované nástrojové oceli
19 3xx	Oceli manganové, křemíkové, wolframové	Legované nástrojové oceli
19 4xx	Oceli chromové	
19 5xx	Oceli chrom-molybdenové	
19 6xx	Oceli niklové	
19 7xx	Oceli wolframové	
19 8xx	Oceli rychlořezné	
19 9xx	Volná značka	

Rychlořezná ocel (RO) je vysoce legovaná nástrojová ocel a dle ČSN se značí 19 8xx. Mezi legující prvky rychlořezných ocelí patří prvky karbidotvorné a nekarbidotvorné. Mezi karbidotvorné prvky patří například wolfram, chrom, vanad, molybden a mezi nekarbidotvorné prvky patří například kobalt. Rychlořezné oceli neobsahují zpravidla více než 1 % uhlíku. Nástroje z rychlořezné oceli je možné použít k obrábění široké škály materiálů, jako jsou oceli, litiny, neželezné kovy, plasty, dřevo apod. Rychlořezné oceli se značí vysokou lomovou pevností a střední odolností vůči opotřebení, což jim dává možnost širokého uplatnění v obráběcím procesu. Rychlořezná ocel se nejčastěji používá na vrtáky, výstružníky, závitníky, frézy, soustružnické nože, protahovací trny apod., ale je ji možno použít i na velmi tvarově složité nástroje. Používání nástrojů z rychlořezné oceli v obráběcím procesu vyžaduje aplikaci vhodného řezného prostředí, jako například chlazení emulzí. Vlastnosti nástrojů z rychlořezné oceli lze také výrazně zlepšit povlakováním [11].

1.2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) se oproti rychlořezným ocelím značí vyšší tvrdostí, pevností v tlaku, otěruvzdorností a vyšší pracovní teplotou, na úkor toho jsou ale křehké a mají sklon k vydrolování. Slinuté karbidy se vyrábějí pomocí práškové metalurgie z různých druhů karbidů. Mezi nejčastěji používané karbidy patří: karbid wolframu (WC), titanu (TiC), tantalu (TaC), vanadu (VC), chromu (Cr_3C_2) a karbid niobu (NbC). Jako pojivo se ve slinutých karbidech nejčastěji používá kobalt Co [11, 12, 13].

Slinuté karbidy se vyrábí podle následujícího postupu (viz obr. 1.10) [3, 11, 13]:

1. Příprava směsi:

- nejprve se podle vyráběného druhu slinutého karbidu připraví mletím prášky příslušných karbidů a pojících prvků,
- při mletí prášků dochází k míchání a homogenizaci směsi, což je velmi důležité pro výslednou strukturu slinutého karbidu,
- mletí se nejčastěji provádí v kulových mlýnech,
- v případě předchozího mokrého mletí je nutné prášky vysušit a granulovat.

2. Formování směsi:

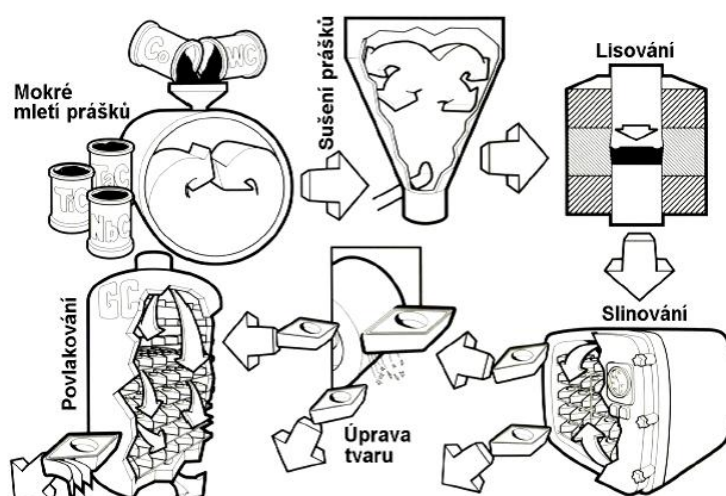
- v další operaci se připravená směs vloží do dutiny lisovnice, která má požadovaný tvar například pro některý typ VBD,
- aby byl výlisek rovnoměrně zhutněn, tak se nejčastěji provádí lisování tak, že se pohybují dva písty s lisovnicí proti sobě,
- lisovnice mohou mít rovná čela, nebo na nich může být vytvořen tvar utvařeče třísek,
- výsledná velikost výlisku musí být větší, než jsou rozměry požadovaného výrobku, protože při procesu slinování dochází k rovnoměrnému smrštění výlisku ve všech směrech, a to i o více než 20 %.

3. Slinování:

- v další operaci je výlisek zvětšený o přídavek na smrštění vložen do slinovací pece a následně je slinován,
- slinování může probíhat ve vakuu nebo v ochranné atmosféře,
- nejdříve dochází k předehřevu na 700 až 1000 °C, kdy dochází k odstranění plastifikátoru,
- následně dochází k pracovnímu ohřevu na teplotu 1350 až 1650 °C, tedy nad teplotu vzniku tekuté fáze, kdy se teplota volí zejména podle obsahu kobaltu ve slinované směsi,
- po slinování následuje ochlazení.

4. Úprava tvaru a povlakování:

- v poslední operaci se slinuté výrobky tvarově a rozměrově upravují, a to nejčastěji broušením na požadovaný tvar a rozměr,
- někdy se výrobky také lapují a leští,
- některé slinuté karbidy je podle jejich použití také možno povlakovat, čímž dochází ke zlepšení jejich vlastností,
- vytvořené povlaky jsou velmi tenké a často mají lepší vlastnosti než základní slinutý karbid, mohou mít vyšší tvrdost, ořezuvzdornost a vyšší odolnost vůči teplotě.



Obr. 1.10 Obecný postup výroby slinutých karbidů [14].

Slinuté karbidy se podle použití dělí do šesti skupin, z nichž každá je barevně označena (viz tab. 1.2).

Tab. 1.2 Rozdělení slinutých karbidů [15].

Skupina	Barevné označení	Použití
P	Blue	Pro obrábění materiálů tvořících dlouhou plynulou třísku, jako je nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automatová ocel, martenzitická korozivzdorná ocel apod.
M	Yellow	Pro obrábění materiálů tvořících dlouhou a střední třísku, jako je austenitická a feriticko austenitická korozivzdorná ocel, žáruvzdorné a žárovevné oceli.
K	Red	Pro obrábění materiálů tvořících krátkou a drobnou třísku, jako jsou litiny.
N	Green	Pro obrábění neželezných materiálů, jako jsou slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, tvrdá guma apod.
S	Brown	Pro obrábění žáruvzdorných slitin na bázi Fe, superslitin na bázi Ni nebo Co a pro obrábění titanu a jeho slitin.
H	Grey	Pro obrábění zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa a kalené oceli.

1.3 Vliv řezného prostředí na obráběcí proces

Řezné prostředí v místě řezání má velký vliv na kvalitativní, kvantitativní a ekonomické parametry obráběcího procesu. Vlastnosti řezného prostředí, ve kterém je uskutečňován řezný proces, mohou ovlivnit primární a sekundární plastickou deformaci třísky. Řezné prostředí může snížit teplotu řezu a řezný odpor, může zvýšit trvanlivost řezného nástroje a také může ovlivnit dosaženou přesnost a jakost obrobeného povrchu. Vhodným řezným prostředím je možné zvýšit hospodárny úběr v porovnání s prací za sucha o 50 až 200 %. Řezné prostředí je nejčastěji vytvářeno pastami, kapalinami, olejovými mlhami nebo plynem. Hlavním úkolem řezného prostředí je odvod tepla z místa řezu nebo mazání a tím snížení tření jak vnějšího, tak vnitřního při obrábění. Dále plní čistící funkci, například odvod třísek z místa řezu, dále potlačuje tvorbu nárůstku na nástroji a také může chránit obrobek před korozi [3, 4, 7].

1.3.1 Požadavky na řezná média

Chladicí účinek je schopnost řezného média odvádět z místa řezu teplo. Odvod tepla z místa řezu se uskutečňuje tak, že řezné médium obklopuje nástroj, obrobek i třísky, a tím tak přebírá a odvádí část vzniklého tepla při obrábění. Snížení teploty řezání má dobrý vliv na opotřebením a trvanlivost nástroje, ale také má vliv na jakost obrobeného povrchu. Chladicí účinek řezného média závisí zejména na součiniteli tepelné vodivosti, měrném a výparném teple řezné kapaliny, součiniteli přestupu tepla, smáčivosti řezné kapaliny a také na jejím průtoku [3, 4, 11].

Mazací účinek je schopnost řezného média vytvářet na povrchu obráběného materiálu vrstvu, která má za úkol zabránit přímému kovovému styku mezi nástrojem a obrobkem. Vytvořená vrstva přispívá ke snížení tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Následkem vysokých tlaků, které vznikají při obrábění, nemůže dojít ke kapalinnému tření, může ale nastat mezní tření. Mazací účinek má za následek snížení řezných sil a tím i snížení spotřeby energie a také přispívá ke zlepšení jakosti obrobené plochy. Mazací účinek je zejména závislý na viskozitě použitého maziva, ale také na pevnosti vytvořené vrstvy. Mazání se využívá zejména u technologií, jako je výroba ozubení, řezání závitů nebo při protahování [3, 4, 7].

Čistící účinek je schopnost řezného média odstraňovat odřezané třísky a jiné částice z místa řezu. Čistící účinek je významný zejména při vrtání hlubokých děr, při řezání závitů a zejména pak při broušení, kdy nám čistí brousící kotouč [3, 7, 11].

Ochranný účinek řezného média má tu vlastnost, že nenapadá obráběný materiál a tím nezpůsobuje korozi obrobku. Tato vlastnost je důležitá zejména proto, že není nutné obrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat. Ochranný účinek působí nejen na obráběný materiál, ale také i na přípravky, upínací zařízení, nástroje, měřidla, zejména pak působí na obráběcí stroj a tím ho také chrání vůči korozi. Důležité je ovšem také, aby řezné médium nebylo agresivní vůči nátěrům obráběcích strojů a gumovým těsněním, aby nedocházelo k jejich rozpouštění řezným médiem [3, 4, 7].

Provozní stálost řezného média je možné hodnotit dobou jeho výměny. Provozní stálost řezného média závisí zejména na jeho chemických a fyzikálních vlastnostech a na teplotě. Stárnutí řezného média se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které zhoršují mazací účinky, ochranné vlastnosti, ale také mohou způsobit i poškození stroje. Mezi jednotlivými výměnami řezných médií je požadováno, aby se jeho vlastnosti neměnily [3, 7, 11].

Zdravotní nezávadnost použitých řezných médií je vyžadována, protože při práci obsluhy na obráběcích strojích dochází ke kontaktu řezného média s pokožkou obsluhy stroje. Proto by mělo být řezné médium zdravotně nezávadné a nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku, také nesmí obsahovat jedovaté látky a zamořovat ovzduší. V provozech je také nutné zajistit základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání a preventivní ochranu pokožky [3, 7].

Provozní náklady řezného média souvisí především s jeho spotřebou. Pro rozbor nákladů je nejprve nutné posoudit vliv řezného média na obráběcí proces, jako je například opotřebením a trvanlivost nástrojů, struktura povrchu obrobené plochy apod. Také je nutné brát ohled na výměnu řezného média, jeho spotřebu a náklady na jeho likvidaci [3, 7].

1.3.2 Druhy řezných médií

Vodní roztoky jsou nejlevnější a současně nejjednodušší řezné kapaliny. Vodu je nutné chemicky upravovat jako například změkčovat ji, přidávat přísady zabraňující korozi a přísady pro zlepšení smáčivosti. U těchto kapalin nevzniká nebezpečí tvorby kalů a nepříjemného zápachu. Mají velmi dobrý chladicí a čisticí účinek, ale velmi špatný mazací účinek [3, 4].

Emulzní kapaliny jsou soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin. Jedna ze složek tvoří mikroskopické kapky, které jsou rozptýlené v kapalině druhé, kdy se nejčastěji jedná o olej rozptýlený ve vodě. Aby bylo toto spojení možné, je nutné přidat do této soustavy látku třetí, a to emulgátory, které snižují povrchové napětí emulgovaných kapalin a tím emulzi stabilizují a zabraňují koagulaci. Emulzní kapaliny částečně spojují výhody vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulze klesá s nárůstem koncentrace emulze. Ochrana proti korozi závisí zejména na pH emulze. Pro slitiny železa by se mělo pH pohybovat kolem pH 8 až 9. Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými řeznými kapalinami a jejich koncentrace se obvykle pohybuje v rozmezí 2 až 10 % [3, 7].

Syntetické a polosyntetické kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Jsou rozpustné ve vodě a obsahují místo minerálních olejů rozpouštědla (glykoly), která ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Díky průhlednosti glykolů je možné sledovat obráběcí proces. Aplikace těchto řezných médií má proti kapalinám na bázi olejů ekonomické výhody, mají dobrý čisticí účinek a rychle odvádějí teplo [3].

Zušlechtnuté řezné oleje jsou kapaliny na bázi minerálních olejů, obohacené o přísady, které zvyšují jejich tlakovou odolnost a mazací vlastnosti. První přísadou jsou mastné látky, což jsou vlastně zmýdelnitelné mastné oleje, které zvyšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací účinky. Druhou přísadou jsou organické sloučeniny na bázi síry, chloru nebo fosforu. Tyto látky jsou používány jako vysokotlaké přísady, kdy na povrchu předmětů vytváří tenkou vrstvu, která zabráňuje svařování a usnadňuje kluzný pohyb ploch, které se vzájemně třou. Poslední přidávanou přísadou do řezných olejů jsou pevná maziva, která vytváří mezní vrstvu odolnou vůči tlaku a zvyšují mazací vlastnosti oleje. Mezi tyto pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu [3].

Chlazení plynem se jako řezné médium běžně nepoužívá, protože má špatný chladicí a čisticí účinek a žádný mazací účinek. Chlazení plynem se používá jen u některých obráběných nebo nástrojových materiálů, a to chlazením vzduchem přiváděným pod tlakem do místa řezu [4].

Chlazení řeznou mlhou je přechod mezi kapalným a plynným řezným prostředím, kdy se tvoří olejová nebo emulzní mlha rozptýlená tlakem vzduchu, který vytéká z trysky rychlostí až 300 m/s. Rozptýlením kapaliny ve stlačeném vzduchu se zvyšují její chladicí účinky. Tryska bývá směřována na řeznou část nástroje a je nutné krytování stroje a odsávání částic mlhy ze stroje [4].

Mazání pevnými látkami se využívá v obtížných podmínkách, kdy se k mazání používají pevné látky ve formě gelů nebo past. Mezi tyto látky patří nejčastěji grafit rozptýlený v oleji nebo tuku, dále to mohou být pasty s obsahem fosforu a síry. Použití mazání pevnými látkami vede k tvorbě usazenin na stroji a v nádrži [4].

1.4 Technologie frézování

Frézování je efektivní univerzální obráběcí metoda, kdy je materiál obrobku odebírán geometricky určenými břity rotujícího nástroje. Hlavní pohyb při frézování koná nástroj a posuvový pohyb nejčastěji vykonává obrobek. U obráběcích center a víceosých CNC frézek jsou posuvové pohyby plynule regulovatelné a mohou být prováděny ve všech směrech současně. Při frézování je řezný proces přerušovaný, každý zub frézy odebírá krátkou třísku proměnné tloušťky. [3, 5, 6, 7]

1.4.1 Kinematika frézování

Hlavní pohyb je určen řeznou rychlostí, která se vypočítá podle vztahu (1.4), a vedlejší pohyb při frézování je určen posuvovou rychlostí, která se vypočítá podle vztahu (1.5) [4].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.4)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr nástroje,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje.

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (1.5)$$

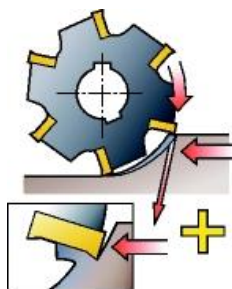
kde: v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje.

Z technologického hlediska se podle použitého nástroje dělí frézování na frézování válcové a frézování čelní. Od těchto dvou základních způsobů se odvozují další způsoby frézování, mezi které například patří [3, 5, 6, 7]:

- válcové / čelní frézování rovinných ploch,
- frézování drážek,
- frézování osazení,
- tvarové frézování,
- dělicí operace,
- frézování válcových ploch,
- frézování závitů,
- frézování ozubení,
- frézování tvarových drážek.

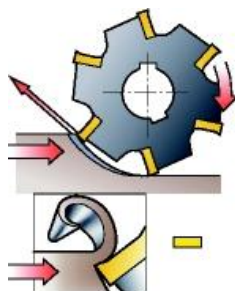
Dle vzájemného pohybu nástroje a obrobku lze frézování dělit na frézování sousledné a frézování nesousledné [7].

Při **sousledném frézování** se nástroj otáčí ve směru posuvu obrobku (viz obr. 1.11). Při vniknutí břitu nástroje do obrobku je tříska maximální a postupně se snižuje až do nulové hodnoty. Řezné síly působí obvykle směrem dolů a přitlačují nám obrobek směrem ke stolu, a proto lze použít jednodušších upínacích zařízení. Sousledné frézování by mělo probíhat na přizpůsobeném stroji s vymezenými vůlemi, protože dochází k nežádoucímu vtahování nástroje do řezu, což může mít za následek poškození nástroje, a proto se nejčastěji sousledné frézování uplatňuje na CNC strojích [3, 7, 16].



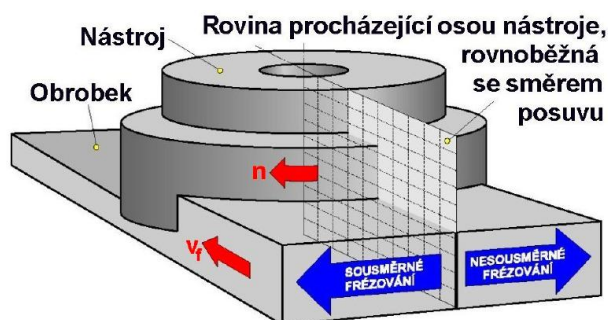
Obr. 1.11 Sousledné frézování [16].

Při **nesousledném frézování** se nástroj otáčí proti směru posuvu obrobku (viz obr. 1.12). Tloušťka třísky se při nesousledném frézování postupně zvyšuje z nulové hodnoty až do maxima. Řezné síly působí směrem nahoru a mají snahu nadzvedávat obrobek od stolu. Nesousledné frézování nevyžaduje vymezení vůlí stroje a je vhodné k obrábění součástí, kde se liší přídávky na obráběné ploše. Při nesousledném frézování dochází k vyššímu opotřebení břitů než při sousledném frézování [3, 7, 16].



Obr. 1.12 Nesousledné frézování [16].

Čelní frézování (viz obr. 1.13) se využívá při práci s čelními frézami, kdy jsou břity vytvořeny na obvodu, ale i na čele frézy. S ohledem k šířce frézované plochy k průměru nástroje a také vzhledem k poloze osy frézy vůči frézované ploše je možné čelní frézování dělit na symetrické a nesymetrické. Při čelním frézování je osa nástroje kolmá na obrobenou plochu [11].



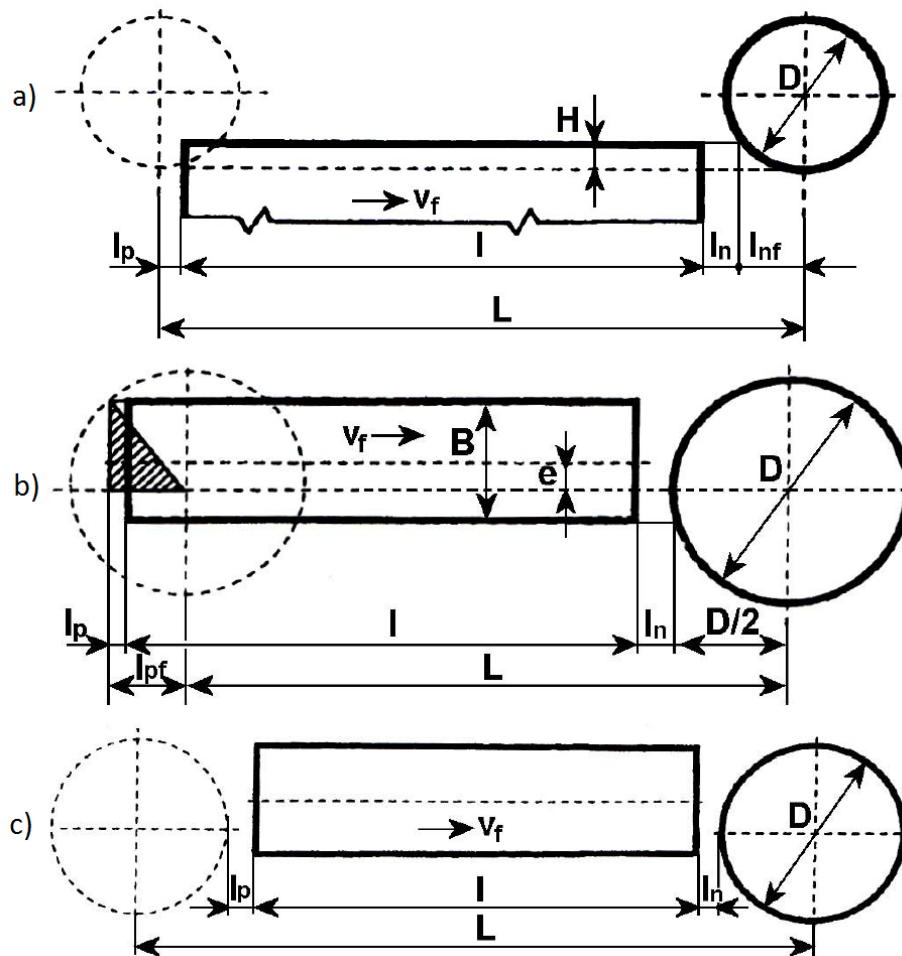
Obr. 1.13 Čelní frézování [3].

1.4.2 Volba řezných podmínek

Na volbu řezných podmínek při frézování má vliv mnoho faktorů, kdy je důležité volit řezné podmínky s ohledem na celou soustavu S - N - O - P. Mezi nejvýznamnější činitele patří zejména materiál obrobku a nástroje. Dále řezné podmínky závisí na druhu prováděné operace, typu použitého nástroje, materiálu nástroje, tuhosti obráběcího stroje, tuhosti a stability upnutí a požadované jakosti dosaženého povrchu. Pro hrubovací operace se volí vyšší posuvové rychlosti a vyšší šířky záběru ostří s ohledem na tuhost upnutí obrobku a výkon obráběcího stroje. Naopak pro dokončovací operace se volí nižší hodnoty posuvů a nižší šířky záběru ostří, aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů a jakostí obrobeného povrchu. Mezi nejdůležitější řezné podmínky patří zejména řezná rychlost v_c , šířka záběru ostří a_p , posuvová rychlost v_f , nebo místo posuvové rychlosti posuv na zub f_z . Všechny tyto parametry se vztahují k použitému nástroji a obráběnému materiálu a jsou k nalezení v katalogích jednotlivých výrobců nástrojů [7, 11].

1.4.3 Výpočty strojních časů při frézování

Výpočet strojního času při frézování se obecně řídí druhem frézování, a to zejména jedná-li se o hrubování nebo dokončování. Podle použité operace se liší celková dráha nástroje změněná o délku příslušného náběhu a přeběhu (viz obr. 1.14).



Obr. 1.14 Dráhy nástroje pro některé druhy frézovacích operací [3].

- a) Válcové frézování; b) čelní asymetrické frézování - hrubování;
c) čelní asymetrické frézování - dokončování.

Jednotkový strojní čas se obecně vypočítá podle vztahu (1.6) [3]:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (1.6)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - délka dráhy nástroje,
 i [-] - počet řezů,
 v_f [mm·min⁻¹] - posuvová rychlost.

Dráha nástroje pro válcové frézování (viz obr. 1.14a) se vypočítá dle vztahu (1.7) [3]:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \quad (1.7)$$

kde: l [mm] - obráběná délka,
 l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu,
 l_{nf} [mm] - délka náběhu frézy, která se spočítá dle vztahu (1.8).

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \quad (1.8)$$

kde: H [mm] - hloubka odebírané vrstvy,
 D [mm] - průměr nástroje.

Dráha nástroje pro čelní asymetrické frézování - hrubování (viz obr. 1.14b) se vypočítá dle vztahu (1.9) [3]:

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \quad (1.9)$$

kde: l_{pf} [mm] - délka přeběhu frézy, která se spočítá dle vztahu (1.10).

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad (1.10)$$

kde: B [mm] - šířka obrobku,
 e [mm] - vyosení.

Dráha nástroje pro čelní asymetrické frézování - dokončování (viz obr. 1.14c) se vypočítá dle vztahu (1.11) [3]:

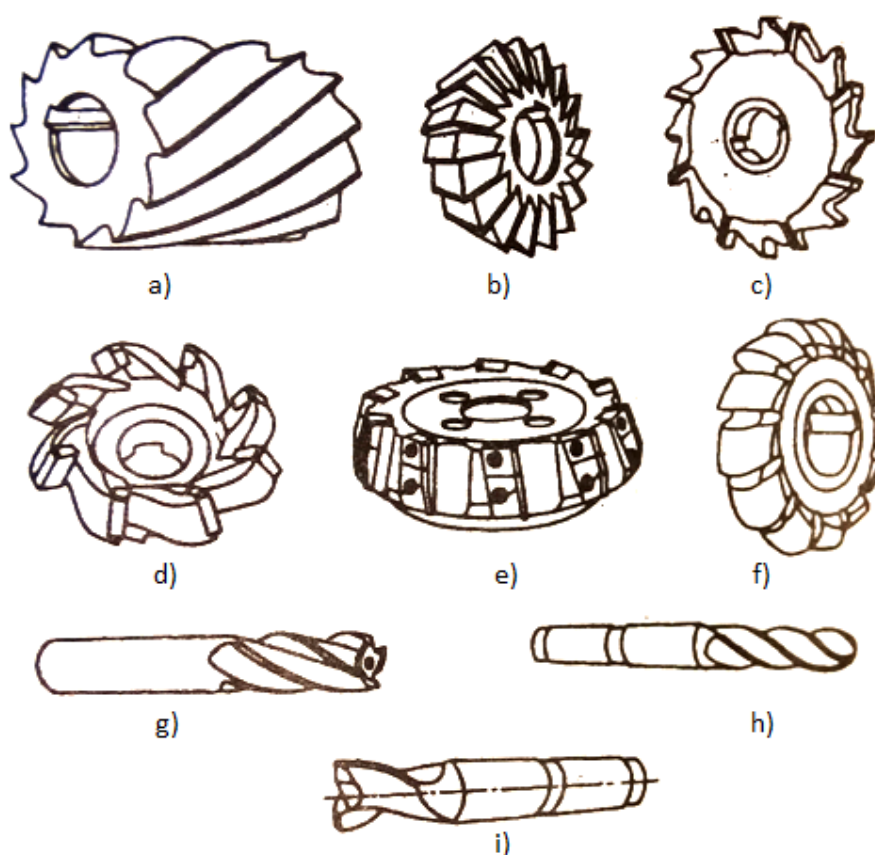
$$L = l + l_n + l_p + D \quad (1.11)$$

1.4.4 Základní druhy frézovacích nástrojů

Vzhledem k všestrannému využití frézování existuje velké množství různých typů fréz, které se mohou lišit materiálem, ze kterého jsou vyrobeny, způsobem upínání, použitím, tvarem a geometrií jednotlivých nástrojů [3].

Mezi základní druhy fréz (viz obr. 1.15) patří například [11]:

- válcová fréza,
- úhlová fréza,
- kotoučová fréza,
- čelní fréza,
- frézovací hlava,
- tvarová fréza,
- čelní válcová fréza,
- kopírovací fréza,
- drážkovací fréza.

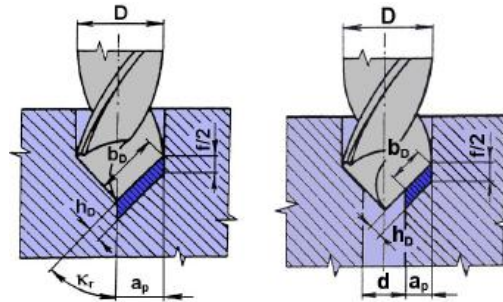


Obr. 1.15 Základní druhy frézovacích nástrojů [11].

a) Válcová fréza; b) úhlová fréza; c) kotoučová fréza; d) čelní fréza; e) frézovací hlava; f) tvarová fréza; g) čelní válcová fréza; h) kopírovací fréza; i) drážkovací fréza.

1.5 Technologie vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Vrtání je nejběžnější způsob obrábění, kterým se zhotovují do obrobků otvory, buď do plného materiálu, nebo se zvětšují již předzhotovené otvory (viz obr. 1.16). Hlavní pohyb je rotační a je vykonáván nejčastěji nástrojem. Vedlejší pohyb vykonává nástroj ve směru své osy, která je většinou kolmá na obráběnou plochu. Při vyhrubování, vystružování a zahlubování se využívají stejné pohyby jako při vrtání a dochází ke zlepšování kvality vrtaných otvorů nebo úpravě jejich konců zahlubováním [11, 17].



Obr. 1.16 Vrtání do plného materiálu a do předvrtaného otvoru [17].

1.5.1 Kinematika řezného procesu

U všech nástrojů na otvory dochází k tomu, že se řezná rychlost podél hlavního ostří snižuje ve směru od vnějšího povrchu ke středu nástroje, kde dosahuje nulové hodnoty. Hlavní pohyb je charakterizován řeznou rychlostí v_c , která se spočítá podle vztahu (1.12) a její hodnota se bere na jmenovitém průměru nástroje [17].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.12)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr nástroje nebo obráběný průměr obrobku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

Vedlejší pohyb je charakterizován posuvovou rychlostí v_f , která se spočítá podle vztahu (1.13). Jelikož jsou vrtáky, výhrubníky, výstružníky a záhlubníky většinou vícebřité nástroje, je možné definovat i posuv na zub f_z , který se spočítá dle vztahu (1.14) [17].

$$v_f = f \cdot n \quad (1.13)$$

kde: v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1.14)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

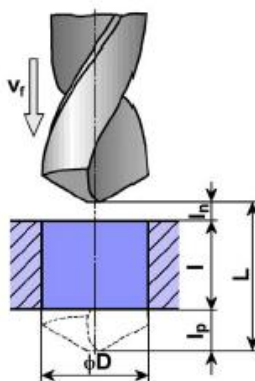
1.5.2 Výpočty strojních časů

Výpočet jednotkového strojního času je pro všechny metody stejný a provádí se podle vztahu (1.15). Rozdíl ve výpočtu jednotkového strojního času je pouze mezi obráběním průchozího otvoru a neprůchozího otvoru. Při obrábění neprůchozího otvoru je délka dráhy nástroje zkrácena o délku přeběhu.

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (1.15)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - délka dráhy nástroje,
 v_f [mm·min⁻¹] - posuvová rychlost.

Délka dráhy nástroje (viz obr. 1.17) se spočítá dle vztahu (1.16)



Obr. 1.17 Délka dráhy nástroje při vrtání průchozího otvoru [17].

$$L = l_n + l + l_p \quad (1.16)$$

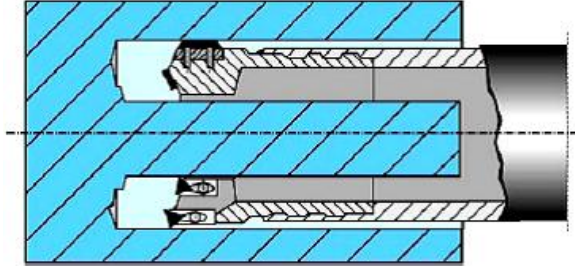
kde: l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu.

1.5.3 Vrtání

Podle použité technologie a druhu, konstrukce a geometrie použitého nástroje lze technologii vrtání rozdělit na [17]:

- vrtání středícího otvoru pro následné středění a upínání součástí v dalších operacích, nebo před vrtáním pro středění špičky vrtáku,
- vrtání krátkých děr do plného materiálu, kdy je poměr průměru vrtaného otvoru k jeho délce v rozmezí 1/5 až 1/10; používají se nejčastěji šroubovitě vrtáky, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a vrtáky s VBD,
- vrtání krátkých děr do předzhotovených otvorů, kdy se používají stejné nástroje jako u předchozího a výjimečně i dělové a hlavňové vrtáky,
- vrtání hlubokých děr, kdy je poměr průměru vrtaného otvoru k jeho délce větší než 1/10; používají se dělové vrtáky, hlavňové, ejektorové a u menších průměrů děr se používají šroubovitě vrtáky,

- vrtání průchozích děr větších průměrů tzv. „na jádro“, kdy dochází k odřezávání materiálu obrobku ve tvaru mezikruží jednobřitým nebo vícebřitým korunkovým vrtákem (viz obr. 1.18),



Obr. 1.18 Vrtání korunkovým vrtákem [17].

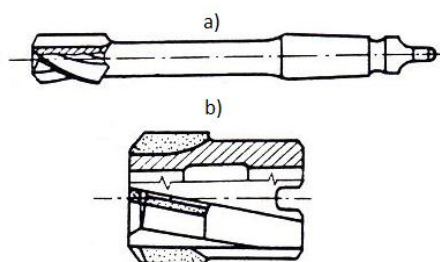
- speciální druhy vrtání, jako je vrtání děr do plechu odstupňovaným vrtákem, vrtání odstupňovaných děr, vrtání děr do tenkých profilů tvářecím vrtákem a vrtání děr kombinovaným nástrojem, jako je například vrták - výstružník, vrták - záhlubník, vrták - závitník,
- vrtání otvorů do těžkoobrobitelných materiálů, kompozitních a nekovových materiálů, jako jsou například pryž, beton, kámen a cihly; vrtá se pomocí nástrojů se speciální geometrií nebo konstrukcí.

1.5.4 Vyhrubování

Technologie vrtání je považována za hrubovací operaci, kdy má vyvrtaný otvor často špatné geometrické parametry, jako je například špatná kruhovitost, válcovitost, velká tolerance jmenovitého průměru, špatná jakost povrchu a někdy i vychýlení osy otvoru z požadovaného směru. Pokud jsou na vytvořený otvor kladeny vyšší požadavky na výslednou kvalitu, je nutné po vrtání zařadit další operace, jako je vyhrubování a vystružování [11, 17].

Otvory do průměru 10 mm se často pouze vystružují, větší otvory se před vystružováním ještě vyhrubují. Vyhrubování není nikdy konečnou operací a vždy po něm následuje vystružování. Cílem vyhrubování je zlepšení geometrických parametrů vrtaného otvoru před finálním vystružováním. Přidávky pro vyhrubování a vystružování závisí zejména na požadované přesnosti otvoru, jakosti povrchu, ale také na druhu materiálu obrobku a nástroje, konstrukci nástroje a dalších činitelích [11, 17].

Výhrubníky jsou vícebřité nástroje, které mají nejčastěji 3 až 5 břitů. Nejčastěji se vyrábí jako stopkové do průměru 32 mm a pro větší otvory se od průměru 24 mm vyrábí jako nástrčné (viz obr. 1.19) [11, 17].



Obr. 1.19 Provedení výhrubníků [17].
a) stopkový výhrubník; b) nástrčný výhrubník.

1.5.5 Vystružování

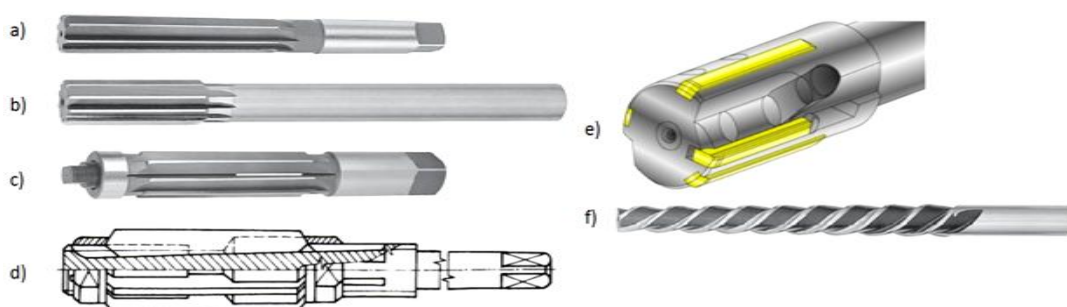
Operace vystružování se používá jako dokončovací operace při výrobě přesných děr s předepsanými geometrickými parametry a jakostí obrobeneho povrchu. Přídavek pro vystružování musí mít určitou minimální hodnotu, jinak by se obráběný materiál neodřezával, ale pouze by se elasticky a plasticky deformoval. Následkem toho by nebylo dosaženo požadovaných přesností a navíc by se vlivem zvýšených tlaků a tření více opotřebovával nástroj. Přídavek na průměr otvoru pro vystružování se nejčastěji určuje podle vztahu (1.17) [5, 17].

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad (1.17)$$

kde: p [mm] - přídavek na průměr,
 D [mm] - jmenovitý průměr vystružované díry.

Při malých hodnotách přídavků musí být výstružníky přesně broušeny a lapovány, aby jejich břity byly co nejostřejší a s minimálním poloměrem zaoblení ostří. Výstružníky mohou mít buď přímé zuby, nebo ve šroubovici a jejich počet je podle velikosti průměru v rozmezí 4 až 18. Pracovní část se skládá z řezného kužele a válcové části. Podle konstrukce a geometrie mohou být výstružníky stopkové nebo nástrčné a dále se dělí na (viz obr. 1.20) [17]:

- ruční výstružníky,
- strojní výstružníky,
- rozpínací výstružníky,
- stavitelné výstružníky,
- jednobřité výstružníky,
- loupací výstružníky.

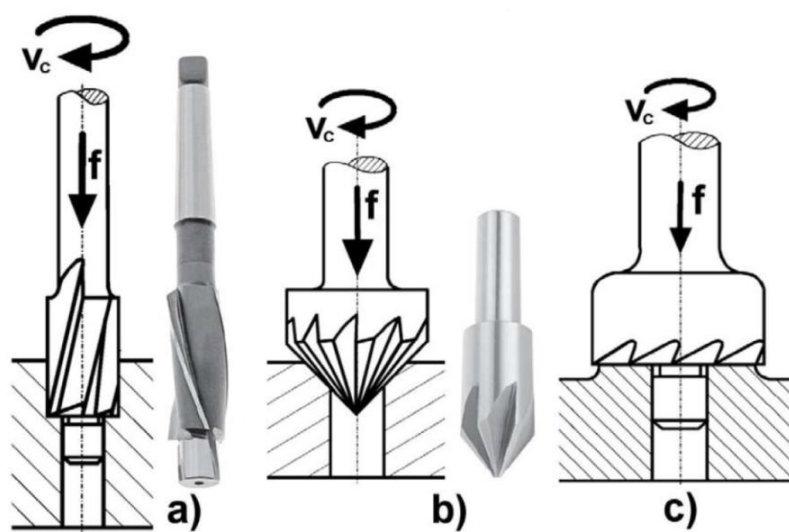


Obr. 1.20 Provedení výstružníků [17].

a) ruční výstružník; b) strojní výstružník; c) rozpínací výstružník;
d) stavitelný výstružník; e) jednobřítý výstružník; f) loupací výstružník.

1.5.6 Zahlubování

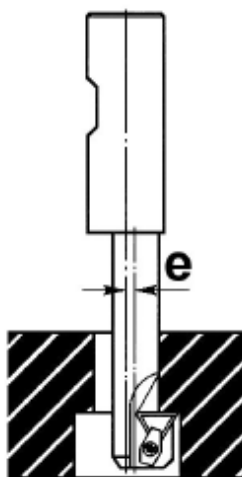
Zahlubováním se rozumí úprava konců zhotovených děr. Můžeme pomocí něj vytvářet souosá válcová zahlubení, kuželová zahlubení a zarovnávání čelních ploch (viz obr. 1.21). Zuby záhlubníků mohou být přímé, nebo ve šroubovici. Záhlubníky pro zarovnávání čel a pro vytváření válcových zahlubení mívají válcový vodící čep pro vystředění záhlubníku. Kuželové záhlubníky vodící čep nemají, protože mají samostředící efekt [17].



Obr. 1.21 Základní způsoby zahlubování [17].

a) válcové zahlubování; b) kuželové zahlubování; c) zarovnávání čela.

Pro zahlubování v nepřístupných místech slouží tzv. zpětné záhlubníky, které mají řeznou část umístěnou excentricky vůči části upínací. Záhlubník se zasune do otvoru, následně dojde k přesunu obrobku v kolmém směru na osu záhlubníku o hodnotu vyosení a nakonec je provedeno zahloubení zpětným pohybem (viz obr. 1.22) [17].



Obr. 1.22 Zpětné zahlubování [17].

1.6 Technologie řezání závitů

Závity jsou významné technologické prvky, které mohou na řadě součástí plnit pohybovou nebo spojovací funkci. Na správnou a spolehlivou funkci závitu na výrobku má vliv jeho jakost a přesnost. Závity se řezou pomocí závitníků, závitových čelistí a závitových hlav, mohou se obrábět frézováním a soustružením a přesné závity mohou být broušeny a lapovány. Výrobu závitů je možné z technologického hlediska rozdělit na výrobu vnějších a vnitřních závitů. Jednotlivé druhy závitů se mohou lišit svým profilem, stoupáním, rozměry, počtem chodů a dalšími parametry. Mezi základní druhy závitů patří například metrický závit, trubkový, lichoběžníkový, oblý závit apod. Mezi základní parametry závitů patří jmenovitý průměr, střední průměr, malý průměr, stoupání, úhel stoupání a rozteč u vícechodých závitů [5, 17].

1.6.1 Kinematika řezání závitů a výpočet strojního času

Hlavní rotační pohyb při řezání závitů může vykonávat nástroj i obrobek a je charakterizován řeznou rychlostí v_c , která se spočítá dle vztahu (1.18).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.18)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr nástroje nebo obráběný průměr obrobku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

Vedlejší posuvový pohyb může taktéž vykonávat obrobek i nástroj. Vedlejší pohyb je charakterizován posuvovou rychlostí v_f , která se spočítá podle vztahu (1.19). Při řezání závitů je velikost posuvu dána stoupáním závitu.

$$v_f = f \cdot n \quad (1.19)$$

kde: v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost,
 f [mm] - posuv na otáčku,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje nebo obrobku.

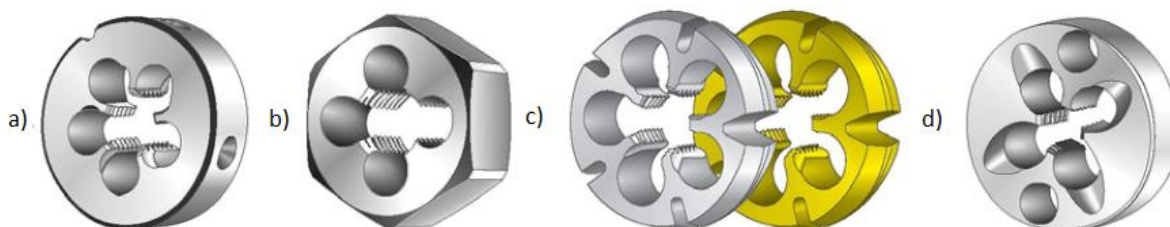
Jednotkový strojní čas se při řezání závitů spočítá podle vztahu (1.20).

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (1.20)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - délka dráhy nástroje,
 v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - posuvová rychlost.

1.6.2 Řezání závitů

Pro ruční i strojní řezání vnějších závitů se používají různé typy závitových čelistí (viz obr. 1.23). Řezané závitové požadovaného profilu a rozměru se vytváří postupným odebíráním třísky závitovými čelistmi. Závitové čelisti se vyrábí pro pravé i levé závitové a mají řezný kužel na obou stranách. Při ručním řezání závitů se závitové čelisti upínají do vratidel (viz obr. 1.24) [17].

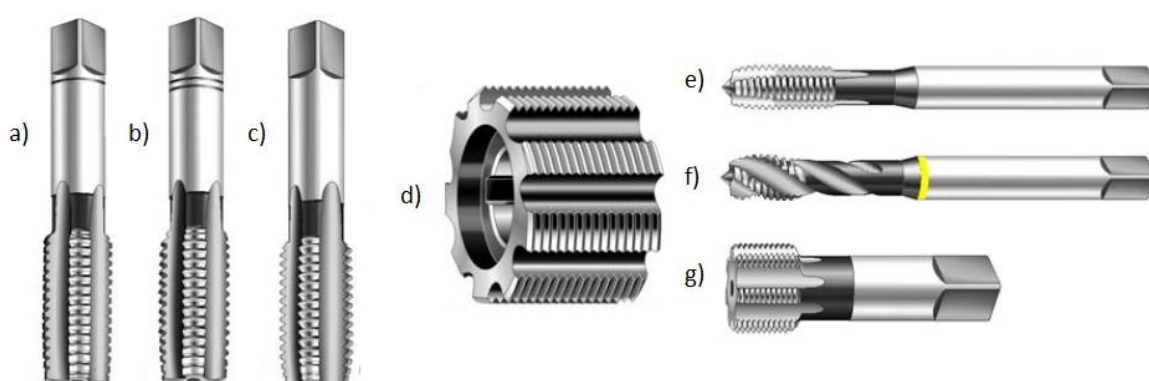


Obr. 1.23 Druhy závitových čelistí [17].
 a) kruhová závitová čelist; b) šestihránná závitová čelist;
 c) elastická kruhová závitová čelist s nastavitelnou tolerancí;
 d) automatová kruhová závitová čelist.



Obr. 1.24 Vratidlo pro kruhové závitové čelisti [17].

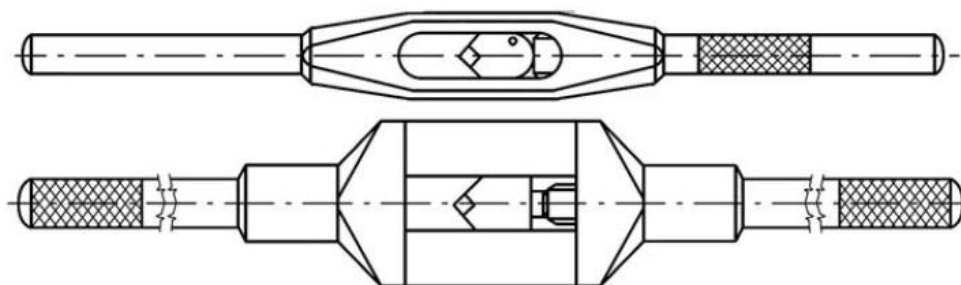
Pro strojní i ruční řezání vnitřních závitů se používají různé druhy závitníků (viz obr. 1.25). Závitník je vlastně šroub s náběhovým kuželem, na kterém jsou vytvořeny břity pomocí jedné až osmi přímých nebo šroubovitých drážek. Volba vhodného závitníku závisí zejména na vlastnostech obráběného materiálu. Do závitu M60 se používají závitníky se stopkou a pro větší průměry M52÷M100 se používají nástrčné závitníky [17].



Obr. 1.25 Druhy závitníků [17].

- a) sadový závitník předřezávací; b) sadový závitník řezací;
 c) sadový závitník dořezávací a kalibrovací; d) nástrčný závitník;
 e) strojní závitník s přímými drážkami; f) strojní závitník s drážkami ve šroubovici;
 g) krátký automatový závitník.

Pro ruční řezání se nejčastěji používají sadové závitníky, kdy se většinou sada skládá ze tří kusů. První závitník předřezává, druhý řeže a třetí dořezává a kalibruje. Ruční závitníky se nejčastěji upínají do stavitelných vratidel (viz obr. 1.26) [17].



Obr. 1.26 Stavitelná vratidla [17].

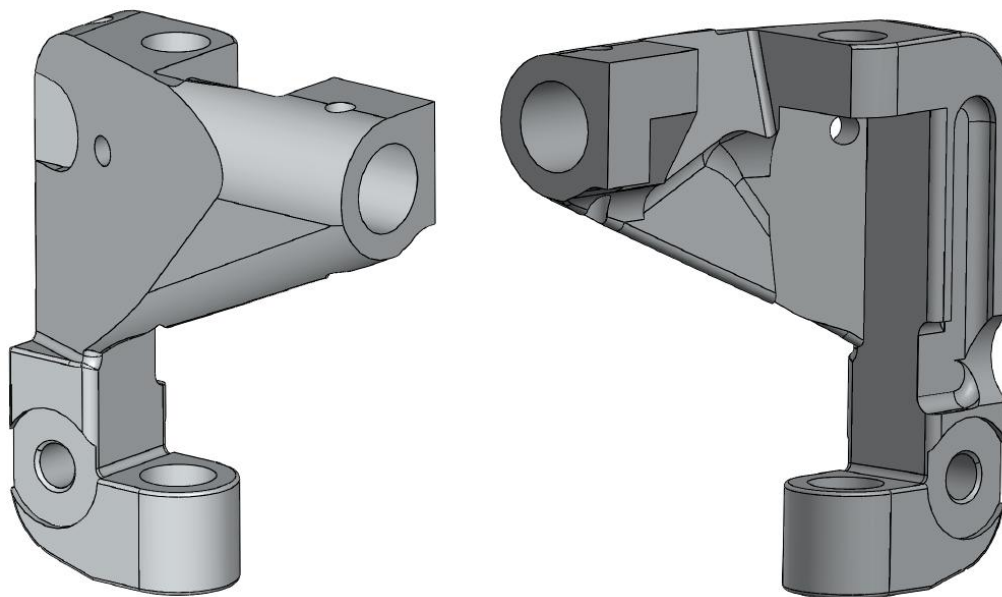
Pro strojní řezání závitů se nejčastěji používá jeden závitník, který má kratší řezný kužel a přímé nebo šroubovitě drážky, které mohou být průběžné nebo neprůběžné. Pro řezání závitů do materiálů s vyšší pevností se používají závitníky s neprůběžnými drážkami, protože snesou vyšší namáhání. Při strojním řezání na vrtačkách se závitníky upínají do závitových hlav, které umožňují okamžitou změnu směru otáčení závitníku a zamezují poškození nástroje. Při řezání na CNC strojích se závitníky upínají do běžných držáků a změnu směru otáčení po vyřezání závitu zajišťuje CNC stroj [17].

2 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY

Tato kapitola se zabývá rozborem zadané součásti, její konstrukcí, funkcí a použitím v šicích strojích. Také je v této kapitole provedena analýza stávajícího stavu výroby.

2.1 Rozbor součásti držáku jehelní tyče

Zadanou součástí firmou MINERVA BOSKOVICE, a.s. je držák jehelní tyče (viz obr. 2.1) číslo výkresu: 743.092, který je součástí šicích strojů s klikatým stehem.



Obr. 2.1 Model součásti držáku jehelní tyče z programu SOLIDWORKS.

2.1.1 Konstrukce součásti

Držák jehelní tyče je nesymetrická součást s vysokými požadavky na přesnost výroby. Součást je vyráběna z výkovku z tvářené hliníkové slitiny EN AW - 2017A (AlCu4MgSi), popis materiálu (viz tab. 2.1).

Tab. 2.1 Popis materiálu EN AW - 2017A (AlCu4MgSi) [18, 19, 20].

Chemické složení [hm. %]	Si (0,20 ÷ 0,80)	Fe (max. 0,70)	Cu (3,50 ÷ 4,50)
	Mn (0,40 ÷ 1,00)	Mg (0,40 ÷ 1,00)	Cr (max. 0,10)
	Zn (max. 0,25)	Al (zbytek)	
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Min. 230		
Mez pevnosti R_m [MPa]	Min. 380		
Tažnost A_5 [%]	Min. 10		
Tvrdość dle Brinella [HBW]	Min. 107		
Popis a použití	- Vytvrzovatelná slitina Svařitelnost plamenem podmíněná Náchylná ke tvorbě trhlin při svařování Menší chemická odolnost - Konstrukční materiál na letadla, kolejová vozidla, auta, zdvihadla, jeřáby a mosty.		

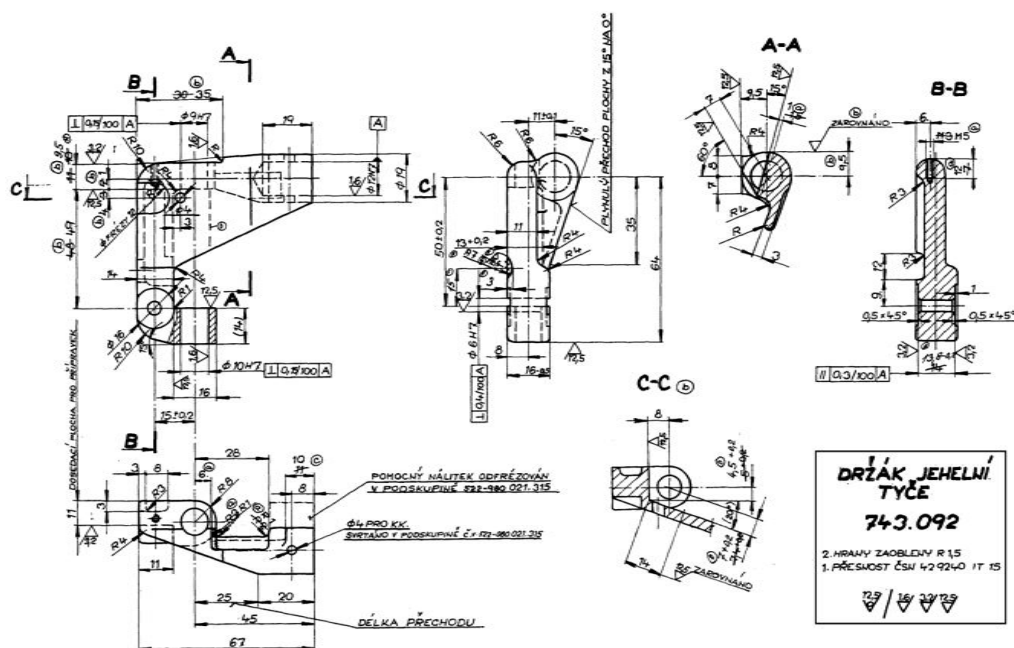
Maximální rozměry součásti jsou $72,5 \times 67 \times 28,5$ mm, které vzniknou obrobením a zarovnáním vnějšího tvaru výkovku. Dále je na součásti několik obrobených plošek a vybrání, které jsou potřebné pro požadovanou funkci součásti, nebo její upínání při obráběcím procesu.

Součást se dále sestává z otvoru v nábojce $\varnothing 12$ mm v toleranci N7, jehož osa je hlavní základnou A. Do otvoru $\varnothing 12$ N7 je nalisována hřídel držáku jehelní tyče, která je vedena v pouzdrech umístěných v rameni šicího stroje a přenáší pohyb od mechanismu klikatého stehu na jehelní tyč.

K základně A jsou vztaženy dva sousední otvory $\varnothing 9$ a $\varnothing 10$ mm v toleranci H7 s geometrickou tolerancí kolmosti k základně A. Do otvorů $\varnothing 9$ H7 a $\varnothing 10$ H7 jsou nalisována vodící pouzdra, kterými prochází jehelní tyč. Aby nedocházelo k zadírání jehelní tyče při jejím pohybu v těchto pouzdrech, musí být otvory v držáku $\varnothing 9$ H7 a $\varnothing 10$ H7 vzájemně sousední a nalisovaná pouzdra musí mít správný průměr a válcovitost otvoru. Toto vše je ještě podpořeno mazáním jehelní tyče.

Dále je k základně A vztažen otvor $\varnothing 6$ mm v toleranci H7 s geometrickou tolerancí kolmosti k základně A. Otvor $\varnothing 6$ H7 je oboustranně zahlouben na $\varnothing 16$ mm, kdy jsou čela zahloubení vztažena k základně A s geometrickou tolerancí rovnoběžnosti. V tomto zahloubeném otvoru jsou umístěny dva vodící kameny, jejichž osa musí být kolmá k základně A, a jejich čela musí být rovnoběžná s osou jehelní tyče, aby bylo zajištěno středění jehly na střed jehelního otvoru ve stehové desce. Tato poloha je zajištěna pomocí protilehlých seřizovacích čepů v rameni stroje.

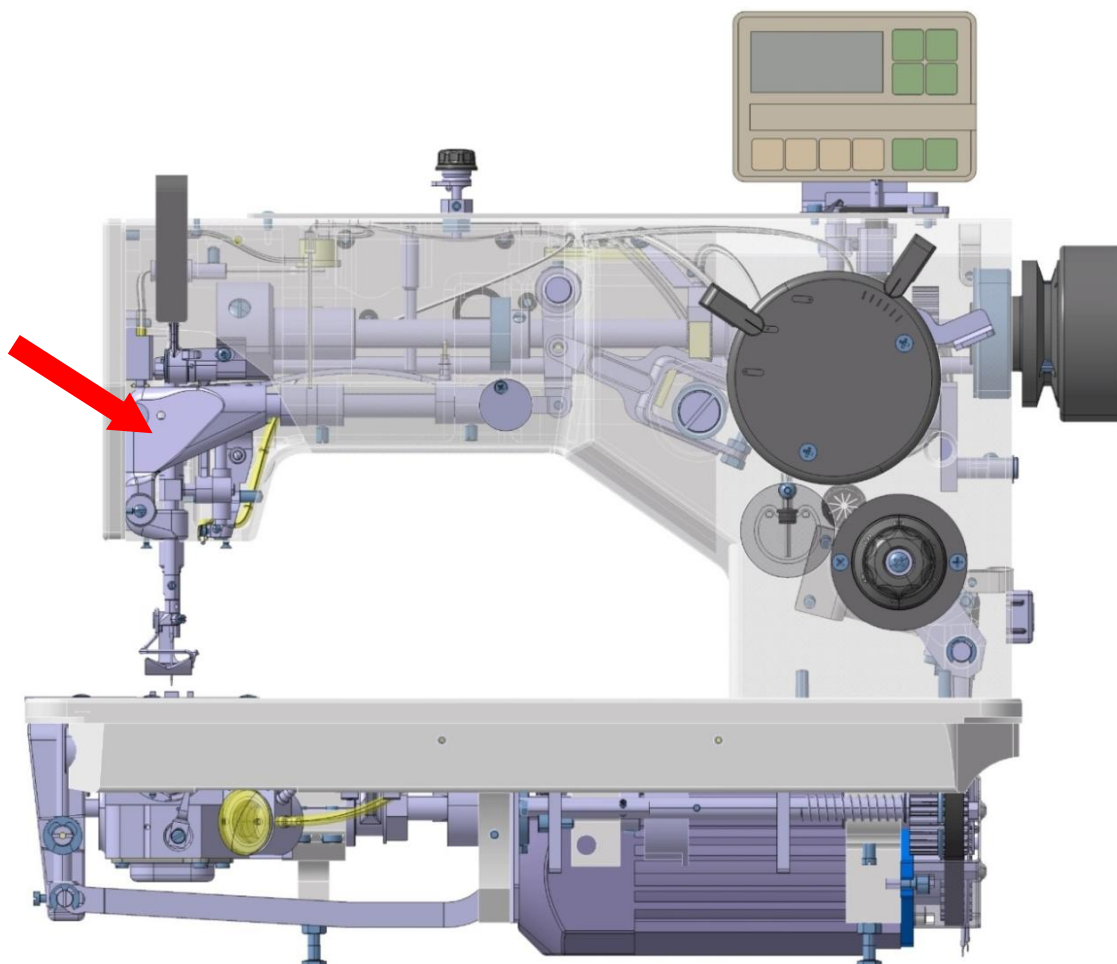
Na součásti jsou také dva otvory $\varnothing 4$ mm a jeden otvor se závitem M5, do kterého je umístěn vodící čep, který je zaveden do drážky držáku připevněného k rameni stroje a společně s vodícími kameny zajišťuje stabilní polohu vedení držáku při jeho pohybu. Všechny popisované prvky a ostatní rozměry součásti jsou vidět na ukázce výkresu převzatého od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. (viz obr. 2.2) a na výkresu, který je přiložen v přílohách (viz příloha 1).



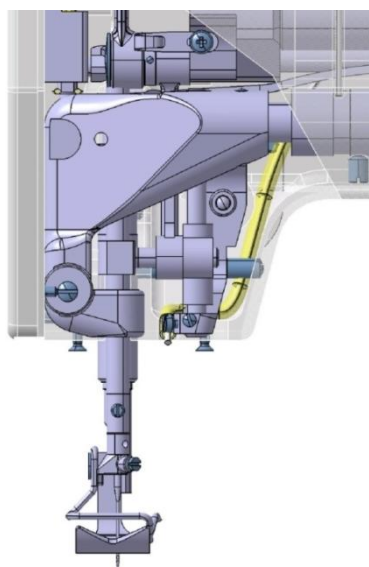
Obr. 2.2 Ukázka výkresu držáku jehelní tyče od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [21].

2.1.2 Popis funkce součásti

Umístění součásti držáku jehelní tyče na šicím stroji je znázorněno na obrázcích z CAD programu CATIA (viz obr. 2.3 a 2.4).



Obr. 2.3 Umístění držáku jehelní tyče na šicím stroji.



Obr. 2.4 Detail umístění držáku jehelní tyče na šicím stroji.

Držák jehelní tyče je součástí podsestavy S980 021353 (viz obr. 2.5), která patří do šicích strojů s klikatým stehem, a plní dvě důležité funkce.

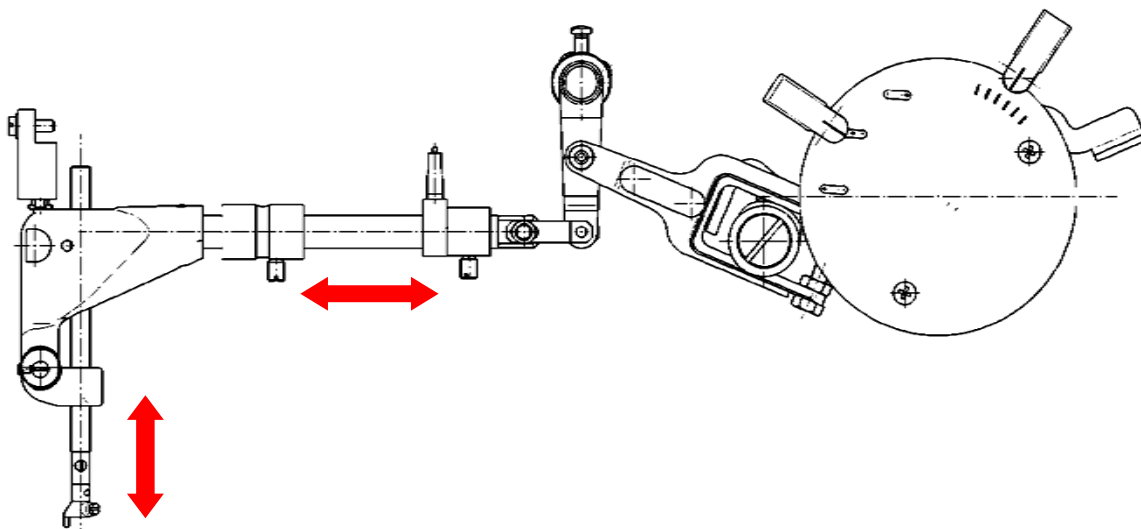


Obr. 2.5 Podsestava S980 021353.

První základní funkcí držáku jehelní tyče je to, že slouží jako vedení jehelní tyče, která se pohybuje ve vertikálním směru v pouzdrech zalisovaných v držáku. Jehelní tyč je nositelkou šicí jehly, která je jedním ze základních prvků nutných pro vytvoření stehu. Šicí jehla zavádí nit přes materiál k zachycovacímu ústrojí (chapači), které zachycuje horní nit nesenou jehlou a provléká ji spodní nití. Držák jehelní tyče je součástí celého jehelního mechanismu, který se skládá z držáku jehelní tyče, jehelní tyče s jehlou a jehelní páky, která provádí utažení stehu. Toto vše je spojeno v jeden mechanismus, který společně se zachycovacím ústrojím nitě tvoří hlavní mechanismy, které jsou potřebné pro správné vytvoření stehu. Steh je základním prvkem švu, který vytváří pevné spojení většinou dvou nebo více textilních materiálů.

Druhou funkcí držáku jehelní tyče je to, že je pevně spojen s mechanismem klikatého stehu. Je to z důvodu, aby přenášel pohyb z mechanismu klikatého stehu na jehlu a pohyboval s jehlou v horizontálním směru, což je podmínkou vytvoření klikatého stehu. Otvor pro jehlu, který je umístěn ve stehové desce, je drážka, která musí být rovnoběžná s osou hlavního hřídele šicího stroje. Pro tvoření klikatého stehu je bezpodmínečně nutné, aby jehla vpichovala střídavě na levou a pravou stranu drážky ve stehové desce.

Šicí jehla se tedy ve své pracovní dráze pohybuje současně ve vertikálním i horizontálním směru, což je znázorněno na schématu mechanismu pohybu šicí jehly (viz obr. 2.6).



Obr. 2.6 Schéma mechanismu pohybu šicí jehly.

2.1.3 Šicí stroje s danou součástí

Součást držák jehelní tyče, kterou se práce zabývá, patří do šicích strojů s klikatým stehem. Jedná se o šicí stroje typu 523i, 524i, 525i a 527i (viz obr. 2.7) použitelné v různých textilních odvětvích zejména pro šití oděvů a obuvi [22, 23].



Obr. 2.7 Šicí stroje 525i (vlevo) a 527i (vpravo) [22, 23].

Šicí stroje s klikatým stehem jsou dostupné v různých provedeních lišících se mezi sebou zejména svým použitím. Mezi rozdílné parametry jednotlivých strojů patří například maximální počet vytvořených stehů za minutu, použité velikosti jehel a šířka klikatého stehu. Dalšími rozdíly mezi jednotlivými stroji je i volitelné vybavení jednotlivých strojů, mezi které patří například automatické zvedání patky, použití dvou jehel současně a další přídatná zařízení (viz obr. 2.8) [22, 23].



Obr. 2.8 Ukázka volitelného vybavení [22, 23].

2.2 Stávající výroba

Držák jehelní tyče se vyrábí z hliníkového výkovku z materiálu EN AW - 2017A. Celková vyráběná série se pohybuje kolem 600 kusů za rok. Tato série je dále rozdělena do několika výrobních dávek po 100 kusech v průběhu roku. Rozdělení na jednotlivé výrobní dávky je z toho důvodu, aby neleželo velké množství vyrobených součástí zbytečně ve skladu a nevážalo tak značné množství finančních prostředků.

Od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. bylo zjištěno, že průběžná doba výroby jedné výrobní dávky 100 kusů součásti držáku jehelní tyče je $t_{ps} = 28,24$ pracovních dní a že celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou $N_{Cs} = 440,63$ Kč.

Hliníkové výkovky firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. dodává v kooperaci firma KOVOLIT Modřice, a.s., jejíž kovárna se zabývá výrobou zápusťkových výkovků z Cu a Al slitin. Firma také zajišťuje povrchovou úpravu tryskáním a také tepelné zpracování výkovků z hliníkových slitin. Náklady na jeden polotovár součásti jsou $N_p = 46,55$ Kč [24].

2.2.1 Stávající výrobní zařízení

V současné době se držák jehelní tyče vyrábí pouze na klasických konvenčních strojích (viz obr. 2.9). Zejména se jedná klasické stroje, jako jsou například vertikální frézky, otočné a řadové vrtačky. Při výrobě se také některé operace provádějí při ručních pracích, kdy se jedná zejména o měření nebo odjehlování obrobených hran součástí. Aby bylo dosaženo při výrobě požadované přesnosti, je součást při některých operacích upínána do speciálních přípravků.

Klasické konvenční stroje jsou spíše vhodné pro kusovou výrobu tvarově jednodušších součástí, ale pro sériovou výrobu se příliš nehodí kvůli dlouhé průběžné době výroby. S narůstajícím počtem výrobních operací roste i průběžná doba výroby a také doba od objednání stroje zákazníkem po jeho prodej a dodání zákazníkovi. Rozpracovaná výroba také váže značné finanční prostředky [2].

Také z hlediska dosahovaných přesností, průměrných aritmetických úchylek profilu a kvality opracování obráběných součástí je snaha klasické obráběcí stroje nahrazovat CNC stroji. Je to zejména kvůli jejich konstrukci, jako například vyšší tuhost a rozsah posuvů a otáček CNC strojů. Nasazením CNC strojů do obráběcího procesu dochází ke zvýšení kvality vyráběných součástí, snížení průběžné doby výroby, snížení zmetkovitosti a také snížení vlivu člověka na výrobu [2].



Obr. 2.9 Stávající výroba součásti držáku jehelní tyče.

2.2.2 Stávající technologický postup a stávající výrobní časy

Součást držák jehelní tyče patří mezi součásti s nejdelší průběžnou dobou výroby a doposud se podle stávajícího technologického postupu firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. vyráběla na **36 operací** pouze s využitím klasických konvenčních strojů a ručních prací. Celkový kusový čas všech operací je $t_{ks} = 39,746 \text{ min}$. Ukázka stávajícího technologického postupu firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. je zobrazena v následující tabulce (viz tab. 2.2). Přepis stávajícího technologického postupu s výrobními časy všech operací je umístěn v přílohách (viz příloha 2).

Tab. 2.2 Ukázka přepisu stávajícího technologického postupu a výrobních časů [25].

OPERACE	STROJ (PRACOVIŠTĚ)	ÚSEK	POPIS PRÁCE	KUSOVÝ ČAS [min]
0010	BRUSKA LEŠTIČKA	10	BROUSIT PŘESAHY V DĚLÍCÍ ROVINĚ	0,614
0020	RUČNÍ PRÁCE	10	UPRAVIT PŘESAHY NA NEPŘÍSTUPNÝCH MÍSTECH	0,484
0030	RUČNÍ PRÁCE	10	VYROVNAT VÝKOVEK	0,642
0040	RUČNÍ PRÁCE	10	PRORÝSOVAT CELÝ TVAR	1,434
0050	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,559
		20	FRÉZOVAT BOČNÍ STRANU K MÍŘE 72,5 / 35 (64-1+9,5)	
0060	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,717
		20	POROVNAT DRUHOU STRANU NA 72,5 (64-1+9,5)	
...
Celkový kusový čas				$\Sigma 39,746$

Celkový výrobní čas dávky $v_d = 100$ kusů byl vypočítán podle vztahu (2):

$$t_{Bs} = t_{ks} \cdot v_d \quad (2)$$

- kde: t_{Bs} [min] - celkový výrobní čas dávky 100 kusů stávající varianty výroby,
 t_{ks} [min] - celkový kusový čas stávající varianty výroby držáku jehelní tyče,
 v_d [ks] - výrobní dávka.

$$t_{Bs} = 39,746 \cdot 100 = 3974,6 \text{ min}$$

3 NÁVRH INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU - ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY

V každé výrobě se vždy vyskytují určité součásti, které mají krátké průběžné doby výroby, a naopak součásti, které tuto dobu mají několikanásobně delší. Na tyto součásti pak musí čekat montáž, i když ostatní součásti jsou již vyrobeny. Součástí držák jehelní tyče je typickým příkladem takové součásti s dlouhou průběžnou dobou výroby, a proto je úkolem této práce tuto dobu co nejvíce zkrátit. Práce se bude zabývat výrobou jedné průběžné dávky 100 kusů součásti držáku jehelní tyče.

3.1 Nové stroje použité pro výrobu

Při výrobě součásti držáku jehelní tyče bude využit CNC stroj HAAS VF-2SS a čištění po výrobě bude probíhat na novém čisticím stroji PERO R1-EX.

3.1.1 CNC stroj HAAS VF-2SS a otočný stůl HRT210

Prvním velkým zefektivněním výroby držáku jehelní tyče bude převedení velké části výrobních operací, které doposud probíhaly na klasických konvenčních obráběcích strojích, na CNC vertikální obráběcí centrum HAAS VF-2SS (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1 Vertikální frézovací centrum HAAS VF-2SS.

CNC stroj HAAS VF2 ve verzi Super-Speed je rychlé obráběcí centrum s vysokootáčkovým vřetenem s přímým pohonem. Dále stroj umožňuje vysoké rychlosti strojních posuvů a rychloposuvů a také je vybaven vysokorychlostním postranním měničem nástrojů. Na stroji je také možnost vnitřního chlazení nástrojů, odfukování třísek stlačeným vzduchem z pracovního prostoru od nástroje a odvod třísek ze stroje šnekovým dopravníkem [26, 27].

Nasazení CNC stroje HAAS VF-2SS do výroby, které svou konstrukcí a tuhostí umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů oproti klasickým obráběcím strojům, by mělo vést k výraznému snížení průběžné doby výroby součásti držáku jehelní tyče a ke zpřesnění jeho rozměrů kvůli snížení počtu přepínání součásti při jednotlivých výrobních operacích.

Aby bylo možné vyrobit součást držák jehelní tyče ze všech stran je stroj HAAS VF-2SS vybaven 4. osou, a to otočným stolem HAAS HRT210. Jedná se o otočný stůl se servořízením, na který bude upnut speciální upínací přípravek (viz obr. 3.2). Otáčení 4. osy umožňuje obrobít součást téměř ze všech stran. Parametry stroje HAAS VF-2SS a otočného stolu HAAS HRT210 jsou umístěny v následující tabulce (viz tab. 3.1) [28].



Obr. 3.2 Otočný stůl HRT210 s obdobným přípravkem.

Tab. 3.1 Parametry stroje HAAS VF-2SS a otočného stolu HAAS HRT210 [2, 26, 27, 28, 29].

HAAS VF-2SS		HAAS HRT210	
Maximální délka	3 175 mm	Průměr stolu	210 mm
Maximální šířka	2 769 mm	Délka	470 mm
Maximální výška	2 667 mm	Šířka	315 mm
Hmotnost	3 629 kg	Výška	178 mm
Rozměry stolu	914 × 356 mm	Hmotnost stolu	74,8 kg
Pojezd v ose x	762 mm	Otvor ve stole	50,8 mm
Pojezd v ose y	406 mm	Max. krouticí moment	285 Nm
Pojezd v ose z	508 mm	Převodový poměr	90:1
Maximální zatížení stolu	680 kg	Maximální krouticí moment	285 Nm
Otáčky	12 000 min ⁻¹	Rozlišení	0,001°
Maximální výkon vřetene	22,4 kW	Přesnost	15"
Maximální krouticí moment	122 Nm		
Velikost kuželu	Kužel č. 40		
Rychloposuv	35,6 m·min ⁻¹		
Maximální rychlost obrábění	21,2 m·min ⁻¹		
Kapacita zásobníku nástrojů	24 + 1		
Objem procesní kapaliny	208 l		

3.1.2 Čisticí stroj PERO R1-EX

Místo stroje ROLL bude na čištění po výrobě použit nový čisticí stroj PERO R1-EX (viz obr. 3.3). Stroj pero není pro výsledek práce příliš důležitý, proto je v práci pouze zmíněn.



Obr. 3.3 Čisticí stroj PERO R1-EX.

3.2 Nástroje použité na výrobu

Druhé zefektivnění výroby součásti držáku jehelní tyče bude zapříčiněno použitím modernějších nástrojů snášejících vyšší řezné rychlosti. Nástroje použité na výrobu součásti jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.2). Nástroje pro frézování nakupuje firma MINERVA BOSKOVICE, a.s. od firmy ISCAR, GÜHRING a z velkoobchodu s nástroji M&V. Nástroje pro vrtání, závitování apod. odebírá od firmy GÜHRING. Práce se bude zabývat pouze nástroji použitými pro obrobení součásti držáku jehelní tyče. Měřidla a ostatní nástroje budou v práci pouze zmíněna.


Tab. 3.2 Seznam nástrojů a měřidel.

T1	Stopková fréza Ø12 mm	M1	Digitální posuvné měřítko 150 mm
T2	Fréza Ø20 mm	M2	Válečkový kalibr Ø4H7
T3	Stopková fréza Ø8 mm	M3	Válečkový kalibr Ø6H7
T4	Tvarová fréza Ø45,5 mm	M4	Válečkový kalibr Ø12N7
T5	NC navrtávák Ø8 mm	M5	Válečkový kalibr Ø8,98H7
T6	Spirálový vrták Ø3,8 mm	M6	Válečkový kalibr Ø9,98H7
T7	Spirálový vrták Ø5,8 mm	M7	Závitový kalibr M5 - 6H
T8	Výstružník Ø4H7		
T9	Výstružník Ø6H7		
T10	Spirálový vrták Ø11,8 mm		
T11	Výstružník Ø12N7		
T12	Spirálový vrták Ø9,8 mm		
T13	Výstružník Ø9,98H7		
T14	Spirálový vrták Ø4 mm		
T15	Spirálový vrták Ø4,2 mm		
T16	Závitník M5-6H		
T17	Spirálový vrták Ø8,8 mm		
T18	Výstružník Ø8,98H7		
T19	Kuželový záhlubník Ø15 mm		
T20	Stopková fréza Ø8 mm		

3.2.1 Frézovací nástroje



Nástrojem T1 stopkovou frézou Ø12 mm bude prováděna většina frézovacích úkonů prováděných na CNC stroji HAAS VF-2SS. Jedná se o tříbřitou vysoce výkonnou stopkovou frézu RF 100 A s břitem přes střed od firmy GÜHRING z nepovlakovaného řezného materiálu VHM. Fréza je výrobcem doporučována pro obrábění hliníkových slitin a má prodloužený osazený průměr s řeznou částí, což je žádoucí kvůli přečnávajícím částem upínacího zařízení. Parametry řezného nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.3).

Tab. 3.3 Nástroj T1 stopková fréza Ø12 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Stopková fréza Ø12 mm RF 100 A	Obj. č.: 3473-12
	Mat.: VHM
	v_c : 500 - 1000 m·min ⁻¹
	f_z : 0,07 - 0,085 mm
	l_f : 24 mm
	z: 3

Nástroj T2 je fréza s VBD od firmy ISCAR, kterou bude hrubován zbytek pomocného nákovku na nábojce a šikmé vybrání pod úhlem 15°. VBD je z nepovlakovaného řezného materiálu IC28 vhodného pro obrábění hliníkových slitin a její povrch je leštěn pro snížení ulpívání obráběného materiálu na povrchu VBD. Parametry držáku a nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.4).

Tab. 3.4 Nástroj T2 fréza Ø20 mm od firmy ISCAR [32].

Držák: HM90 E90A-D20-3-W20		
VBD: APCR 1003PDFR-P		
		Mat. VBD: IC28
		r_g : 0,5 mm
	v_c : 400 - 640 m·min ⁻¹	
	a_{pmax} : 10,3 mm	
	f_z : 0,07-0,25 mm	
	z: 3	

Nástrojem T3 stopkovou frézou Ø8 mm z nepovlakovaného řezného materiálu VHM od firmy GÜHRING bude dokončováno vnitřní vybrání vyhrubované nástrojem T1. Parametry nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.5).

Tab. 3.5 Nástroj T3 stopková fréza Ø8 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Stopková fréza Ø8 mm	Obj. č.: 3197-8
	Mat.: VHM
	v_c : 180 - 240 m·min ⁻¹
	f_z : 0,032 mm
	l_f : 19 mm
	z: 4

Nástrojem T4 tvarovou frézou Ø45,5 mm z nepovlakované rychlořezné oceli obohacené 5 % Co z velkoobchodu s nástroji M&V bude zarovnána vnitřní část náboje na rozměr 14 mm. Parametry frézy jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.6).

Tab. 3.6 Nástroj T4 tvarová fréza Ø45,5 mm z velkoobchodu s nástroji M&V [33, 34].

Nástroj: Tvarová fréza Ø45,5 mm	Obj. č.: 258300037
	Mat.: HSS-Co5
	v_c: 160 - 250 m·min ⁻¹
	f_z: 0,05 mm
	l_r: 8 mm
	z: 12

Nástroj T20 je stopková fréza z nepovlakované rychlořezné oceli M42 od výrobce GÜHRING, která je doporučována pro obrábění hliníku. Fréza bude použita na klasické vertikální frézce pro obrobení vnitřního šikmého vybrání, které nemohlo být vyrobeno na CNC stroji HAAS VF-2SS. Parametry nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.7).

Tab. 3.7 Nástroj T20 stopková fréza Ø8 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Stopková fréza Ø8 mm	Obj. č.: 3459-8
	Mat.: M42
	v_c: 90 - 100 m·min ⁻¹
	f_z: 0,035 mm
	l_r: 19 mm
	z: 3

3.2.2 Vrtací nástroje

Nástroj T5 NC navrtávák Ø8 mm bude použit pro navrtávání a případné navrtávání se zahloubením pro malé průměry otvorů před vrtacími úkony. Jedná se o 90° NC navrtávák, který je doporučován pro obrábění lehkých barevných kovů, od firmy GÜHRING z nepovlakovaného řezného materiálu VHM. Parametry řezného nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.8).

Tab. 3.8 Nástroj T5 NC navrtávák Ø8 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: NC navrtávák Ø8 mm	Obj. č.: 723-8
	Mat.: VHM
	v_c: 250 m·min ⁻¹
	f: 0,15 mm

Nástroje T6, T7, T14 a T15 jsou spirálové vrtáky z nepovlakované rychlořezné oceli od firmy GÜHRING. Vrtáky jsou výrobcem doporučeny pro vrtání do hliníkových slitin a budou jimi vrtány otvory pro Ø4H7 a Ø6H7, které se budou dále vystružovat, otvor Ø4 mm v nábojce a otvor pro závit M5-6H. Parametry nástrojů jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.9)

Tab. 3.9 Nástroje T6, T7, T14 a T15 spirálové vrtáky od firmy GÜHRING [30, 31].

Mat.: HSS $v_c: 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 	Nástroj T6: Spirálový vrták Ø3,8 mm	Obj. č.: 1260-3,8
		f: 0,16 mm
	l_f: 43 mm	
	Nástroj T7: Spirálový vrták Ø5,8 mm	Obj. č.: 1260-5,8
		f: 0,2 mm
	l_f: 57 mm	
	Nástroj T14: Spirálový vrták Ø4 mm	Obj. č.: 1260-4
		f: 0,16 mm
l_f: 43 mm		
Nástroj T15: Spirálový vrták Ø4,2 mm	Obj. č.: 1260-4,2	
	f: 0,16 mm	
l_f: 43 mm		


Nástroj T10 je spirálovým vrtákem Ø11,8 mm z řezného materiálu VHM s povlakem TiN od firmy GÜHRING. Nástrojem bude předvrtán otvor, který se bude dále vystružovat na Ø12N7. Parametry nástroje jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.10).

Tab. 3.10 Nástroj T10 spirálový vrták Ø11,8 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Spirálový vrták Ø11,8 mm	Obj. č.: 1702-11,8
	Mat.: VHM
	Povlak: TiN
	$v_c: 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
	f: 0,4 mm
	l_f: 47 mm

Nástroje T12 a T17 jsou spirálové vrtáky od firmy GÜHRING budou použity pro předvrtání otvorů Ø10H7 a Ø9H7, které budou dále vystružovány. Vrtáky jsou z nepovlakovaného řezného materiálu VHM a jsou doporučovány pro obrábění hliníkových slitin. Parametry vrtáků jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.11)


Tab. 3.11 Nástroje T12 a T17 spirálové vrtáky od firmy GÜHRING [30, 31].

	Mat.: VHM
	$v_c: 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Nástroj T12: Spirálový vrták Ø9,8 mm	Obj. č.: 732-9,8
	f: 0,315 mm
	l_f: 87 mm
Nástroj T17: Spirálový vrták Ø8,8 mm	Obj. č.: 732-8,8
	f: 0,28 mm
	l_f: 81 mm

3.2.3 Výstružníky a ostatní nástroje

Nástroje T8 a T9 jsou výstružníky z nepovlakované rychlořezné oceli od firmy GÜHRING v toleranci H7, kterými budou vystružovány předvrtané otvory. Parametry výstružníků jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.12).

Tab. 3.12 Nástroje T8a T9 výstružníky od firmy GÜHRING [30, 31].

	Mat.: HSS v_c: 18 m·min ⁻¹ z: 6
Nástroj T8: Výstružník Ø4H7	Obj. č.: 490-4
	f: 0,16 mm
	l_ř: 19 mm
Nástroj T9: Výstružník Ø6H7	Obj. č.: 490-6
	f: 0,2 mm
	l_ř: 26 mm

Nástroje T11, T13 a T18 jsou speciální výstružníky vyráběné ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s., kterými budou vystružovány otvory Ø12N7, Ø9,98H7 a Ø8,98H7. Speciální výstružníky firma vyrábí přebroušením nově nakupovaných výstružníků s větším průměrem na požadovanou toleranci a rozměr. Řezné parametry jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.13) a budou brány stejné jako u ostatních výstružníků použitých pro výrobu součásti držáku jehelní tyče.

Tab. 3.13 Nástroje T11, T13 a T18 speciální výstružníky.

Nástroj T11: Výstružník Ø12N7	f: 0,315 mm	Mat.: HSS v_c: 18 m·min ⁻¹ z: 6
Nástroj T13: Výstružník Ø9,98H7	f: 0,315 mm	
Nástroj T18: Výstružník Ø8,98H7	f: 0,28 mm	

Nástroj T16 je závitník M5-6H z rychlořezné oceli s povlakem TiN od firmy GÜHRING. Nástroj je výrobcem doporučován pro obrábění hliníkových slitin a jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.14).

Tab. 3.14 Nástroj T16 závitník M5-6H od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Závitník M5-6H	Obj. č.: 914-5
	Mat.: HSS Povlak: TiN v_c: 25 m·min ⁻¹ l_ř: 8,5 mm

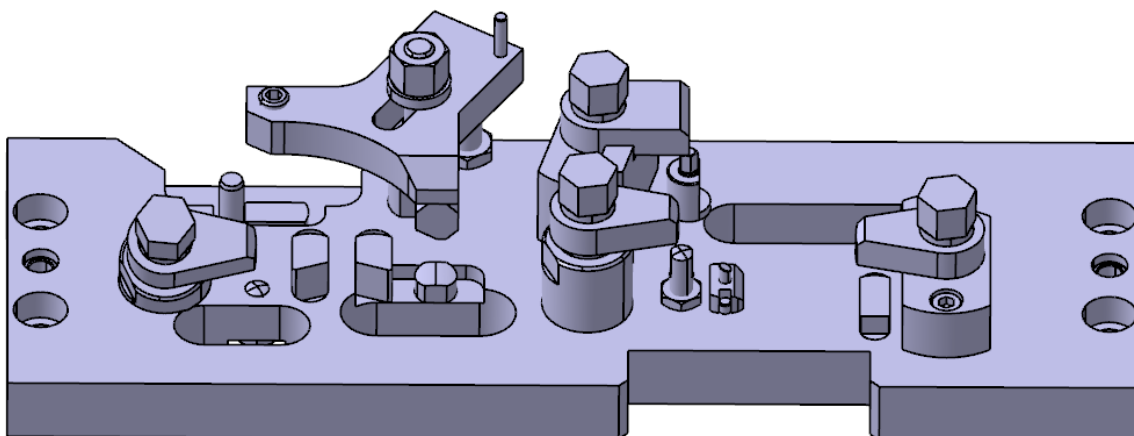
Nástroj T19 je kuželový záhlubník z nepovlakované rychlořezné oceli od firmy GÜHRING, kterým budou odjehlovány a zahlubovány otvory po obrobení na CNC stroji HAAS VF-2SS. Parametry záhlubníku jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.15).

Tab. 3.15 Nástroj T19 kuželový záhlubník Ø15 mm od firmy GÜHRING [30, 31].

Nástroj: Kuželový záhlubník Ø15 mm GÜHRING	Obj. č.: 476-15
	Mat.: HSS
	v_c: 90 m·min ⁻¹
	f: 0,23 – 0,31 mm
	z: 3

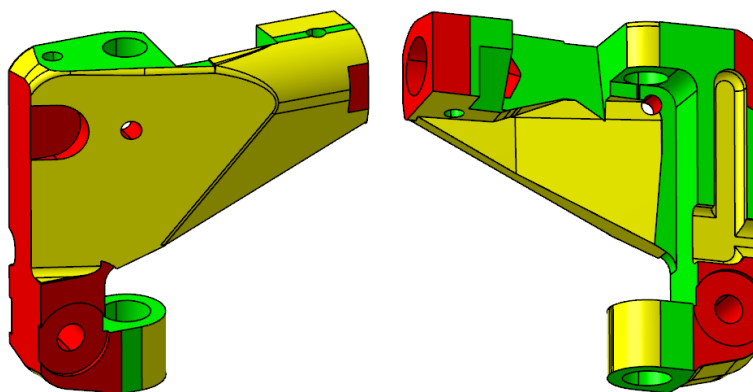
3.3 Přípravek použitý na CNC stroji

Třetím a současně posledním velkým zefektivněním je použití speciálního upínacího přípravku (viz obr. 3.4) pro upínání součásti držáku jehelní tyče při obrábění na CNC vertikálním frézovacím centru HAAS VF-2SS.



Obr. 3.4 Speciální upínací přípravek firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. z programu CATIA.

Speciální upínací přípravek byl navržen ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. v oddělení konstrukce nástrojů. Pomocí tohoto přípravku, vertikálního CNC stroje HAAS VF-2SS a otočného stolu HRT210 bude možné součást držák jehelní tyče obrobít téměř ze všech stran na dvě upnutí (viz obr. 3.5).

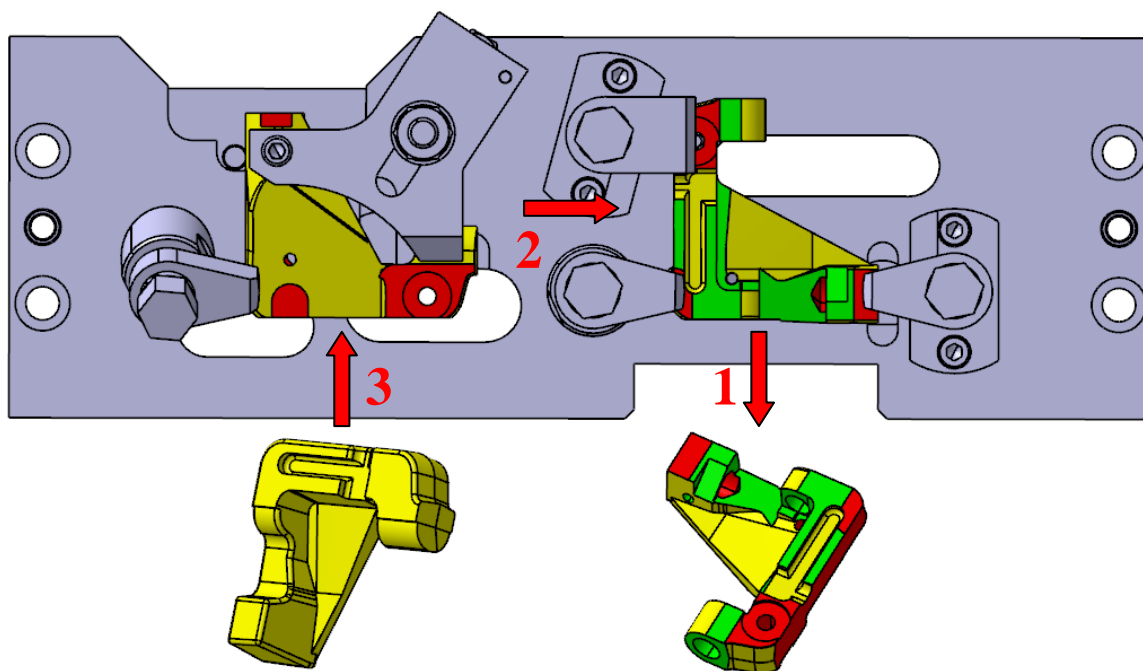


Obr. 3.5 Obrobené plochy součásti po operacích prováděných na CNC stroji.
(Žlutá = neobrobena, červená = obrobena v první poloze, zelená = obrobena v druhé poloze.)

Obrábění v přípravku bude prováděno tak, že po ukončení jednoho obráběcího cyklu vždy dostaneme jednu téměř hotovou součást odebranou z druhé polohy.

Postup upínání a odepínání součásti po zaběhnutí výroby (viz obr. 3.6):

1. Odepnutí hotové součásti z druhé polohy.
2. Přepnutí obrobeného výkovku z první polohy do polohy druhé.
3. Upnutí polotovaru součásti do první obráběcí polohy.



Obr. 3.6 Postup upínání a odepínání součásti po zaběhnutí výroby.

(Žlutá = neobrobena, červená = obrobena v první poloze, zelená = obrobena v druhé poloze.)

3.4 Nový technologický postup

Technologický postup je nedílnou součástí každé výroby a také je jedním z nejdůležitějších dokumentů, který je potřeba pro správné plánování výroby a hlavně správné vyrobení dané součásti v požadovaném tvaru, rozměrech, a aby vyráběná součást byla po vyrobení schopna plnit požadovanou funkci. Zkrácený technologický postup pro výrobu součásti držáku jehelní tyče je uveden v tabulce (viz tab. 3.16). Celý technologický postup je uveden v přílohách (viz příloha 3). Technologický postup, který je v přílohách, je napsán pro obrábění v každé poloze zvlášť, ale při výrobě na CNC stroji by jednotlivé nástroje nejprve přejížděli mezi oběma polohami, a až následovně by docházelo k polohování otočného stolu do další obráběcí pozice a výměně nástrojů. [2].

Návrh nového technologického postupu vychází ze stávajícího technologického postupu firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s., kdy některé operace byly převzaty a některé operace nahrazeny, upraveny nebo zcela odstraněny kvůli nahrazení stávajících obráběcích strojů použitých k výrobě součásti držáku jehelní tyče CNC vertikálním obráběcím centrem HAAS VF-2SS. Aby bylo možné součást správně upínat do speciálního přípravku, byl otvor $\varnothing 4$ mm na šikmé ploše součásti technologicky zpřesněn na $\varnothing 4H7$ a na nábojce bylo vytvořeno malé vybrání pro správné dosednutí součásti do přípravku. Dále byly na požadavek montáže zmenšeny rozměry otvorů $\varnothing 9H7$ a $\varnothing 10H7$ na $\varnothing 8,98H7$ a $\varnothing 9,98H7$.

Tab. 3.16 Zkrácený návrh technologického postupu.

Název: Držák jehelní tyče		Číslo výkresu: 743.092			
Pol.: Výkovek ČSN EN 573-3		Hm. součásti: 0,064 kg	Materiál: EN AW – 2017A		
Č. op.	Název stroje, třídící číslo	Úk.	Popis práce v operaci	Nástroj, měřidlo	K. čas [min]
010	BRUSKA LEŠTIČKA 26271	010	BROUSIT PŘESAHY V DĚLÍCI ROVINĚ		0,614
020	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	UPRAVIT PŘESAHY NA NEPŘÍSTUPNÝCH MÍSTECH		0,484
030	RUČNÍ PRÁCE 09424	010	VYROVNAT VÝKOVEK		0,642
040	VERTIKÁLNÍ FRÉZOVACÍ CENTRUM HAAS VF-2SS 45231	010	UPNOUT POLOTOVAR DO PŘÍPRAVKU	T1- T18	10,186
		020	OBROBIT SOUČÁST DLE PROGRAMU		
		030	PŘEPNOUT DO DRUHÉ POLOHY		
		040	OBROBIT SOUČÁST DLE PROGRAMU		
050	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	ODJEHLIT VŠECHNY PLOCHY PO FRÉZOVÁNÍ		3,353
		020	NAPOJIT RÁDIUSY NA OPRACOVANÉ PLOCHY DLE VÝKRESU		
		030	ODJEHLIT A ZAHLOUBIT VŠECHNY OTVORY	T19	
060	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ 09892	010	MĚŘIT VŠECHNY ROZMĚRY SOUČÁSTI ČETNOST 5%	M1	
		020	KONTROLOVAT VŠECHNY TOLEROVANÉ OTVORY ČETNOST 100%	M2- M7	
070	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ 05225	010	UPNOUT DO PŘÍPRAVKU	T20	1,359
		020	FRÉZOVAT VNITŘNÍ ZAROVNÁNÍ NA ROZMĚR $14 / 7^{+0.2} / 4,5^{+0.2} / 20^\circ$		
080	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	ODJEHLIT PO FRÉZOVÁNÍ		0,549
090	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ 09892	010	KONTROLOVAT GEOMETRICKÉ TOLERANCE VŮČI ZÁKLADNĚ A DLE VÝKRESU ČETNOST 100%		
100	ČISTICÍ STROJ PERO 96314	010	ČISTIT VE STROJI PERO DLE NÁVODKY		0,075
Celkový kusový čas					Σ 17,262

3.5 Výpočty výrobních časů

Výrobní časy byly vypočteny pouze pro operace probíhající na CNC stroji HAAS VF-2SS. Ostatní výrobní časy byly převzaty ze stávajícího technologického postupu, nebo od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. Jednotlivé výrobní časy a k nim příslušné parametry byly vypočteny podle následujících vztahů. Obráběné délky při jednotlivých operacích byly zjištěny pomocí programu CATIA a délky náběhů a přeběhů byly voleny s ohledem na polotovar součásti.

Otáčky nástroje byly vypočteny podle vztahu (3.1):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.1)$$

kde: n [min^{-1}] - otáčky nástroje,
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr nástroje.

Ukázka výpočtu otáček pro nástroj T1.

$$n = \frac{500 \cdot 1000}{\pi \cdot 12} = 13263 \text{ min}^{-1}$$

Otáčky nástroje T1 a T5 byly sníženy na 10000 min^{-1} s ohledem na dostupné otáčky stroje HAAS VF-2SS a přetěžování vřetena stroje při obrábění. Tyto snížené otáčky byly dále dosazovány do výpočtových vztahů.

Posuv na otáčku jednotlivých nástrojů byl vypočten dle vztahu (3.2):

$$f = z \cdot f_z \quad (3.2)$$

kde: f [mm] - posuv na otáčku,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 f_z [mm] - posuv na zub.

Ukázka výpočtu posuvu na otáčku pro nástroj T1.

$$f = 3 \cdot 0,07 = 0,21 \text{ min}^{-1}$$

Strojní časy byly vypočteny podle vztahu (3.3):

$$t_{AS} = \frac{(l_n + l_o + l_p) \cdot i}{n \cdot f} \quad (3.3)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 l_n [mm] - délka náběhu,
 l_o [mm] - obráběná délka,
 l_p [mm] - délka přeběhu,
 i [-] - počet řezů.

Ukázka výpočtu strojního času je pro nástroj T1 při obrábění drážky v operaci č. 40 v úkonu č. 20.

$$t_{AS} = \frac{(3 + 13 + 0) \cdot 1}{10000 \cdot 0,21} = 0,0076 \text{ min}$$

Všechny vypočtené a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce umístěné v přílohách (viz příloha 4). V následující tabulce (viz tab. 3.17) jsou uvedeny pouze nejdůležitější údaje jednotlivých nástrojů a jejich celkové strojní časy.

Tab. 3.17 Důležité údaje a celkové strojní časy jednotlivých nástrojů.

Nástroj	v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	n [min^{-1}]	f [mm]	t_{ASj} [min]
T1	500	(10000)	0,210	0,6363
T2	500	7958	0,450	0,0846
T3	210	6496	0,315	0,0589
T4	205	573	0,315	0,0488
T5	250	(10000)	0,150	0,0191
T6	90	7539	0,160	0,0101
T7	90	4939	0,200	0,0197
T8	18	1432	0,160	0,0436
T9	18	955	0,200	0,1037
T10	200	5395	0,400	0,0114
T11	18	477	0,315	0,1331
T12	200	6496	0,315	0,0103
T13	18	573	0,315	0,1108
T14	90	7162	0,160	0,0211
T15	90	6821	0,160	0,0176
T16	25	1592	0,800	0,0220
T17	200	7234	0,280	0,0080
T18	18	637	0,280	0,0869

Celkový jednotkový strojní čas pro operace prováděné na CNC stroji byl vypočítán podle vztahu (3.4):

$$t_{ASH} = \sum_{j=1}^{18} t_{ASj} \quad (3.4)$$

kde: t_{ASH} [min] - celkový jednotkový strojní čas na stroji HAAS,
 t_{ASj} [min] - jednotkový strojní čas jednotlivých nástrojů.

$$t_{ASH} = 1,446 \text{ min}$$

Celkový výrobní kusový čas se skládá nejen z jednotkových strojních časů, ale také z vedlejších strojních časů, což jsou časy, kdy nástroj neodebírá třísku. Mezi tyto vedlejší časy patří například přejezdy nástroje rychloposuvem mezi jednotlivými řezy, polohování otočného stolu HAAS HRT210 apod. Tyto vedlejší časy byly konzultovány ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. s vedoucím TPV a byly stanoveny na hodnotu $t_v = 2,5$ min, ke kterým jsou ještě přičteny $t_u = 2$ min na upínání a výměnu kusů, včetně ofukování výrobků a přípravku a odjehlení dosedacích ploch při přepínání z první polohy do druhé. Dále sem patří celkový čas výměn nástroje, kdy výrobce udává, že průměrný čas výměny nástroje mezi jednotlivými řezy je 2,2 vteřiny, ale ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. byly rychlosti výměn sníženy na $t_{vn} = 8$ vteřin z důvodu spolehlivé výměny nástroje, protože při plné rychlosti docházelo ke špatným výměnám, nespolehlivému upnutí držáku do vřeteně a v krajních případech i případnému vypadnutí držáku s nástrojem z vřetene stroje. Celkový počet výměn nástrojů je $n_v = 21$.

Další čas, který je zahrnut do celkového kusového výrobního času, je čas na přípravu. Do tohoto času patří například čas potřebný na prostudování výkresu součásti obsluhou stroje, cesta do výdejny nástrojů a zpět, příprava upínacího zařízení do stroje, upínání jednotlivých nástrojů do stroje a jejich zaměření, výměna nebo ostření opotřebených nástrojů, korekce při obrábění, měření, nahrání CNC programu do stroje, seřízení obráběcího stroje, výroba prvního kusu, schválení výroby kontrolou apod. Tento čas byl opět konzultován ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. a byl stanoven na hodnotu $t_{PH} = 144$ min.

Vedlejší strojní čas t_{AVH} se vypočítá podle vztahu (3.5):

$$t_{AVH} = t_v + t_u + t_{vn} \cdot n_v \quad (3.5)$$

- kde: t_{AVH} [min] - vedlejší strojní čas na stroji HAAS,
 t_v [min] - některé vedlejší časy,
 t_u [min] - čas upínání a výměny kusů,
 t_{vn} [min] - čas průměrné výměny nástroje mezi řezy,
 n_v [-] - počet výměn nástroje.

$$t_{AVH} = 2,5 + 2 + \frac{8 \cdot 21}{60} = 7,3 \text{ min}$$

Celkový výrobní čas součásti držáku jehelní tyče o výrobní dávce $v_d = 100$ kusů na CNC stroji HAAS VF-2SS byl vypočítán podle vztahu (3.6):

$$t_{BH} = t_{ASH} \cdot v_d + t_{AVH} \cdot v_d + t_{PH} \quad (3.6)$$

- kde: t_{BH} [min] - celkový výrobní čas dávky na stroji HAAS,
 t_{ASH} [min] - celkový jednotkový strojní čas na stroji HAAS,
 v_d [ks] - výrobní dávka,
 t_{PH} [min] - čas přípravy na stroji HAAS.

$$t_{BH} = 1,446 \cdot 100 + 7,3 \cdot 100 + 144 = 1018,6 \text{ min}$$

Kusový čas výroby pro operace prováděné na CNC stroji HAAS VF-2SS byl vypočítán podle vztahu (3.7):

$$t_{KH} = \frac{t_{BH}}{v_d} \quad (3.7)$$

kde: t_{KH} [min] - kusový čas operací prováděných na CNC stroji HAAS,
 t_{BH} [min] - celkový výrobní čas dávky na stroji HAAS,
 v_d [ks] - výrobní dávka.

$$t_{KH} = \frac{1018,6}{100} = 10,186 \text{ min}$$

Kusové časy jednotlivých operací nově navržené výroby jsou uvedeny v následující tabulce (viz tab. 3.18) včetně celkového kusového času nově navržené varianty výroby.

Tab. 3.18 Kusové časy jednotlivých operací.

Operace	Kusový čas [min]
10	0,614
20	0,484
30	0,642
40	10,186
50	3,353
60	-
70	1,359
80	0,549
90	-
100	0,075
Celkem	17,262

Celkový kusový čas výroby držáku jehelní tyče byl vypočítán podle vztahu (3.8):

$$t_{Kn} = \sum_{j=1}^{10} t_{Kj} \quad (3.8)$$

kde: t_{Kn} [min] - celkový kusový čas nové varianty výroby držáku jehelní tyče,
 t_{Kj} [min] - kusový čas jednotlivých operací.

$$t_{Kn} = 17,262 \text{ min}$$

Celkový výrobní čas dávky $v_d = 100$ kusů byl vypočítán podle vztahu (3.9):

$$t_{Bn} = t_{Kn} \cdot v_d \quad (3.9)$$

- kde: t_{Bn} [min] - celkový výrobní čas dávky 100 kusů nové varianty výroby,
 t_{Kn} [min] - celkový kusový čas nové varianty výroby držáku jehelní tyče,
 v_d [ks] - výrobní dávka.

$$t_{Bn} = 17,262 \cdot 100 = 1726,2 \text{ min}$$

3.6 Potřebné množství nástrojů pro výrobu součásti

Pro určení počtu jednotlivých nástrojů je brána standardní trvanlivost 45 minut pro frézy, 30 minut pro vrtací nástroje a 15 minut pro VBD na nástroji T2.

Celkové časy v řezu jednotlivých nástrojů pro výrobu jedné dávky 100 kusů součásti držáku jehelní tyče jsou uvedeny v tabulce níže (viz tab. 3.19) a byly vypočteny podle vztahu (3.10):

$$t_{řj} = t_{ASj} \cdot v_d \quad (3.10)$$

- kde: $t_{řj}$ [min] - doba v řezu jednotlivých nástrojů,
 t_{ASj} [min] - jednotkové strojní časy jednotlivých nástrojů,
 v_d [ks] - výrobní dávka.

$$t_{ř1} = 0,6363 \cdot 100 = 63,63 \text{ min}$$

Tab. 3.19 Časy v řezu jednotlivých nástrojů a potřebné počty jednotlivých nástrojů.

Nástroj	t_{ASj} [min]	$t_{řj}$ [min]	Počet nástrojů nebo VBD [ks]	Nástroj	t_{ASj} [min]	$t_{řj}$ [min]	Počet nástrojů nebo VBD [ks]
T1	0,6363	63,63	2	T10	0,0114	1,14	1
T2	0,0846	8,46	3	T11	0,1331	13,31	1
T3	0,0589	5,89	1	T12	0,0103	1,03	1
T4	0,0488	4,88	1	T13	0,1108	11,08	1
T5	0,0191	1,91	1	T14	0,0211	2,11	1
T6	0,0101	1,01	1	T15	0,0176	1,76	1
T7	0,0197	1,97	1	T16	0,0220	2,20	1
T8	0,0436	4,36	1	T17	0,0080	0,80	1
T9	0,1037	10,37	1	T18	0,0869	8,69	1

Pro výrobu jedné výrobní dávky 100 kusů součásti držáku jehelní tyče budou potřeba dva kusy nástroje T1, i když je možné, že vzhledem ke sníženým otáčkám bude stačit pouze jeden kus nástroje T1. Dále budou potřeba tři kusy VBD pro nástroj T2. Od ostatních nástrojů použitých pro výrobu na CNC stroji by měl stačit od každého nástroje jeden kus.

Kromě nástroje T10, který je povlakovaný, je možné ostatní vrtáky po opotřebení znovu naostřit. Pokud by byl nástroj T10 po opotřebení také nabroušen, bylo by vhodné nástroj odeslat k opětovnému povlakování, což ale není nezbytně nutné.

Pokud by došlo k poškození nebo zlomení některého z nástrojů, nebo by závitník a vystružovací nástroje nevyrobily rozměry v požadované toleranci, musel by být nový nástroj vyzvednut obsluhou stroje ve výdejně nástrojů.

3.7 Průběžná doba výroby

Průběžná doba výroby je vlastně celkový čas od okamžiku, kdy je zadán požadavek na výrobu součásti, až po její zhotovení. Hodnota průběžné doby výroby je vázána na velké množství různých faktorů, jako je například čekání na dovoz polotovaru součásti (pokud již není na skladě), transport součástí mezi jednotlivými operacemi, čekání na dokončení jiných součástí na daném pracovišti, kde má probíhat daná operace, různá zpoždění apod.

Průběžná doba ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. je často určována podle zkušeností pracovníků s danou problematikou výroby. V práci bude zmíněna pouze výsledná hodnota průběžné doby výroby navržené varianty výroby, aby nebyly zveřejňovány vnitřní informace firmy. Ve spolupráci s firmou bylo zjištěno, že průběžná doba výroby dávky 100 kusů součásti držáku jehelní tyče navržené varianty výroby bude $t_{pn} = 6,64$ pracovních dní.

3.8 Celkové náklady na výrobu

Do celkových nákladů na výrobu součásti je zahrnuto velké množství různých dílčích nákladů, jako jsou například náklady na pořízení polotovaru součástí, uskladnění polotovarů součástí, náklady na osvětlení dílny, náklady na pořízení nástrojů a přípravků, uskladnění přípravků, hodinové sazby strojů, plat obsluhy jednotlivých strojů, různé náklady spojené s administrativou apod.

Stejně jako v případě průběžné doby výroby, kdy si firma MINERVA BOSKOVICE, a.s. nepřeje zveřejňovat vnitřní informace, bude v práci pouze zmíněna výsledná hodnota celkových nákladů na výrobu součásti držáku jehelní tyče. Ve spolupráci s firmou bylo zjištěno, že pro novou variantu výroby budou celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti držáku jehelní tyče $N_{Cn} = 204,66$ Kč.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se bude zabývat technicko-ekonomickým zhodnocením stávajícího stavu výroby součásti držáku jehelní tyče a navržené varianty zefektivnění výroby. Dále bude proveden rozbor klíčových hodnot obou variant výroby a jejich následné porovnání a zhodnocení.

4.1 Zhodnocení stávající varianty výroby

Ve druhé kapitole diplomové práce, která se zabývala rozбором stávající výroby součásti držáku jehelní tyče, již bylo zmíněno, že stávající výroba součásti probíhá pouze na klasických konvenčních obráběcích strojích. Vzhledem ke klasickým strojům, na kterých byla součást obráběna, je stávající výroba velmi náročná. Při každé obráběcí operaci musela být součást upínána buď do klasických upínacích zařízení, nebo do speciálních jednoúčelových upínačů vhodných jen pro některé z operací.

Velké množství operací na klasických obráběcích strojích má za následek velké prodloužování průběžné doby výroby dané součásti. Také při jednotlivých upínáních v daných operacích dochází ke vnášení nepřesnosti do výroby součásti.

S velkým množstvím prováděných operací také narůstají celkové náklady na výrobu dané součásti. Velké náklady na výrobu jsou spojeny s větším počtem jednotlivých obráběcích strojů, na kterých je součást vyráběna, kdy také do nákladů patří platy jednotlivých pracovníků obsluhujících dané stroje, náklady na údržbu strojů, náklady na výrobní plochy a také velký počet operací zapříčiňuje velké náklady spojené s manipulací s materiálem. Značné finanční náklady také vznikají nutností uskladnění velkého množství speciálních přípravků, když není zrovna součást ve výrobě.

Ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. bylo zjištěno, že součást držák jehelní tyče se ve stávající výrobě vyrábí na **36 operací** s celkovým kusovým časem $t_{Ks} = 39,746 \text{ min}$. Dále bylo zjištěno, že průběžná doba výroby jedné výrobní dávky $d_v = 100 \text{ kusů}$ je $t_{Ps} = 28,24 \text{ pracovních dní}$, a že celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti držáku jehelní tyče jsou $N_{Cs} = 440,63 \text{ Kč}$.

4.2 Zhodnocení navržené varianty výroby

Návrh nové varianty výroby součásti držáku jehelní tyče spočívá zejména v nahrazení většiny klasických obráběcích strojů jedním CNC vertikálním obráběcím centrem HAAS VF-2SS s otočným stolem HAAS HRT210. Dále je to nahrazení většiny přípravků používaných na klasických obráběcích strojích jedním komplexním přípravkem, který bude použit při obrábění na CNC stroji a bude upínán na otočný stůl HAAS HRT210. Posledním klíčovým prvkem návrhu je použití moderních řezných nástrojů, které umožňují vyšší hodnoty řezných rychlostí a posuvů na CNC stroji HAAS VF-2SS.

Nahrazením klasických obráběcích strojů CNC strojem dojde ke sloučení příslušných operací, které na nich probíhaly, do jedné operace, která bude realizována na CNC stroji. Minimalizování počtu výrobních operací a snížení počtu upínání a přepínání součásti povede ke zkrácení průběžné doby výroby, snížení výrobních nákladů, zvýšení výrobní přesnosti a jakosti vyráběných dílců a také snížení zmetkovitosti.

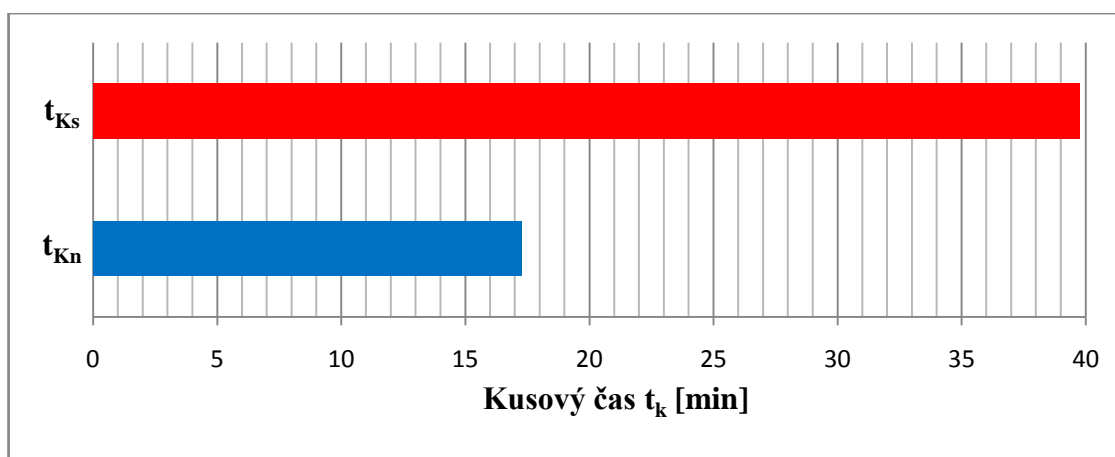
Díky návrhu nové varianty výroby by se součást držák jehelní tyče měla vyrábět na **10 operací**. Ve spolupráci s firmou MINERVA BOSKOVICE, a.s. bylo zjištěno, že celkový kusový čas výroby součásti bude $t_{Kn} = 17,262 \text{ min}$. Průběžná doba výroby výrobní dávky $d_v = 100 \text{ kusů}$ by se měla pohybovat kolem $t_{Pn} = 6,64 \text{ pracovních dní}$ a celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti držáku jehelní tyče budou $N_{Cn} = 204,66 \text{ Kč}$.

Kusový čas, průběžná doba výroby a celkové náklady se mohou ještě měnit v závislosti na odladování výroby na CNC stroji HAAS VF-2SS, kdy může docházet k úpravě obrábění a změně řezných parametrů, kdy se mohou zvyšovat nebo snižovat řezné a posuvové rychlosti podle pozorování obráběcího procesu při zavádění výroby a výrobě prvních kusů součásti držáku jehelní tyče. Pro návrh nového řešení byly použity řezné podmínky doporučené výrobcem nástrojů, ale konečné hodnoty řezných podmínek budou určeny až na základě pozorování obráběcího procesu při zavádění výroby a výrobě prvních kusů. Dále bude nutné po vyrobení prvních kusů rozhodnout, zda bude nutné zařadit do výrobního postupu operaci na vyrovnání geometrických tolerancí otvorů, nebo bude požadované přesnosti dosaženo již při obrábění na CNC stroji.

4.3 Porovnání navržené a stávající varianty výroby

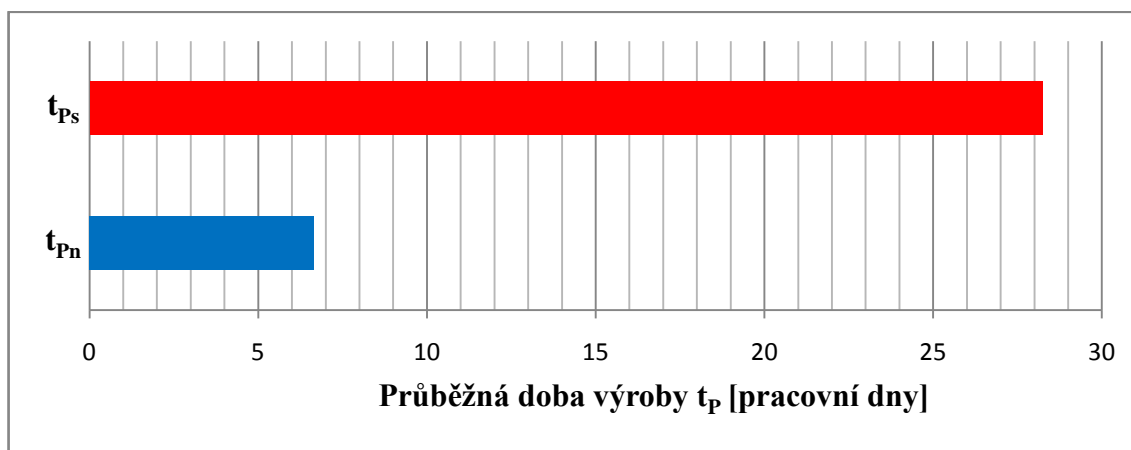
Nahrazením stávající výroby novou variantou výroby by došlo ke snížení počtu výrobních operací ze stávajících 36 operací na 10 operací. To by mělo vést ke zvýšení výrobní přesnosti a jakosti obroběných dílců a také ke snížení zmetkovitosti vzhledem ke snížení počtu operací a jednotlivých přepínání součásti.

Celkový kusový čas stávající výroby by se mohl změnou varianty výroby snížit ze současného stavu $t_{Ks} = 39,746 \text{ min}$ na $t_{Kn} = 17,262 \text{ min}$, což je znázorněno v následujícím grafu (viz obr. 4.1). Nahrazením výroby by kusový čas klesl o **22,484 min**.



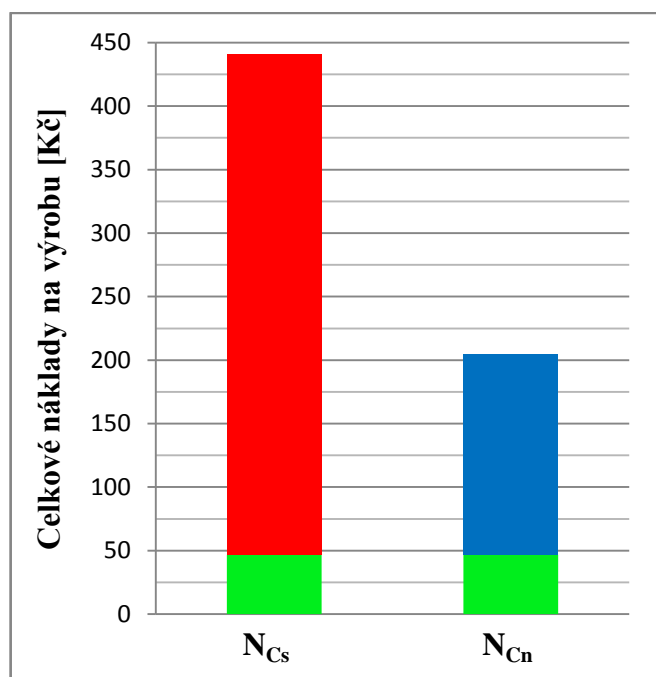
Obr. 4.1 Porovnání kusových časů stávající a navržené varianty výroby.

Průběžná doba výroby jedné výrobní dávky $d_v = 100 \text{ kusů}$ by se změnou výroby snížila ze současného stavu $t_{Ps} = 28,24 \text{ pracovních dní}$ na $t_{Pn} = 6,64 \text{ pracovních dní}$, klesla by tedy o **21,6 pracovních dní**. Porovnání obou variant je znázorněno v následujícím grafu (viz obr. 4.2).



Obr. 4.2 Porovnání průběžné doby výroby 100 kusů stávající a navržené varianty výroby.

Celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti držáku jehelní tyče by s nasazením nové varianty výroby klesly ze stávajících $N_{Cs} = 440,63$ Kč na $N_{Cn} = 204,66$ Kč. Celkové výrobní náklady by tedy klesly o **235,97 Kč**. Část celkových nákladů, která se změnou výroby nemění, jsou náklady na nákup polotovaru součásti od dodavatele, které jsou $N_p = 46,55$ Kč. Změna celkových výrobních nákladů je graficky znázorněna níže (viz obr. 4.3).



Obr. 4.3 Porovnání celkových výrobních nákladů obou variant výroby.

Zeleně znázorněná část z celkových výrobních nákladů jsou náklady na nákup polotovaru.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout zefektivnění výroby součásti držáku jehelní tyče, která je nedílnou součástí šicích strojů s klikatým stehem pro firmu MINERVA BOSKOVICE, a.s., která patří mezi nejvýznamnější výrobce a dodavatele průmyslových šicích strojů na světě.

Polotovarem součásti držáku jehelní tyče je hliníkový výkovek z materiálu EN AW - 2017A, který firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. dodává v kooperaci firma KOVOLIT Modřice, a.s. Náklady na nákup polotovaru jsou $N_p = 46,55$ Kč.

Návrh nové varianty výroby spočívá zejména v nahrazení většiny klasických obráběcích strojů jedním CNC vertikálním frézovacím centrem HAAS VF-2SS, které je vybaveno otočným stolem HAAS HRT210. Nahrazením klasických strojů dojde ke sloučení většího počtu operací do jedné operace, která bude prováděna na CNC stroji.

Dále je to nahrazení velkého počtu speciálních upínacích přípravků, které byly používány na klasických obráběcích strojích jedním komplexním přípravkem. Přípravek bude upnut na otočný stůl HAAS HRT210 a umožní obrobení součásti držáku jehelní tyče téměř ze všech stran na dvě upnutí.

Na celkový výsledek návrhu mají také velký vliv zvolené nástroje. Jelikož bude k výrobě použito CNC vertikální frézovací centrum HAAS VF-2SS umožňující vysoké otáčky vřetene a posuvové rychlosti, mohly být pro výrobu součásti použity moderní nástroje, které umožňují vysoké řezné rychlosti.

Snížením počtu klasických obráběcích strojů a jednotlivých operací, při kterých musela být součást držák jehelní tyče opakovaně upínána, bude dosaženo snížení vlivu člověka na výrobní proces díky využití CNC techniky, ale hlavně zvýšení produktivity výroby, přesnosti a jakosti obráběných dílců a také snížení zmetkovitosti.

Ve firmě bylo dohodnuto, že celková roční vyráběná série, která se pohybuje kolem 600 kusů, bude rozdělena do šesti průběžných výrobních dávek po 100 kusech, aby vyrobené dílce zbytečně neležely ve skladu a nevázaly tak značné finanční prostředky. Další výpočty a výsledky v práci se proto vztahují k této výrobní dávce.

Nahrazením stávající varianty výroby novou variantou by klesl počet operací, které jsou potřebné pro výrobu součásti držáku jehelní tyče ze stávajících 36 operací na 10 operací. Nahrazení výroby by také vedlo ke snížení celkového kusového výrobního času ze současného stavu $t_{Ks} = 39,746$ min na $t_{Kn} = 17,262$ min. Dále by také klesla celková průběžná doba výroby jedné průběžné dávky 100 kusů ze současných $t_{Ps} = 28,24$ pracovních dní na $t_{Pn} = 6,64$ pracovních dní a celkové náklady na výrobu jednoho kusu součásti by klesly z aktuálních nákladů $N_{Cs} = 440,63$ Kč na $N_{Cn} = 204,66$ Kč.

Výrobní časy navržené varianty výroby a výrobní náklady s nimi spojené se mohou ještě v průběhu zavádění do výroby měnit. V práci bylo počítáno s řeznými podmínkami nástrojů, které jsou doporučovány výrobcem a jedná se tak o hraniční podmínky. Tyto podmínky bude nutné na CNC stroji nejprve vyzkoušet, zda nebude docházet k nežádoucím vibracím při obrábění a zda bude upnutí součásti držáku jehelní tyče v přípravku dostatečné. Dále bude nutné po výrobě prvních kusů rozhodnout, zda bude nutné do technologického postupu zařadit ještě některé doplňující operace, jako například operace na vyrovnání geometrických tolerancí, pokud nebude požadované přesnosti dosaženo již při výrobě na CNC stroji HAAS VF-2SS.

Shrnutí výsledků práce:

- snížení počtu operací ze současných 36 na 10 operací,
- nahrazení klasických obráběcích strojů jedním CNC strojem,
- nahrazení velkého množství speciálních přípravků jedním komplexním přípravkem,
- snížení vlivu člověka na obráběcí proces,
- zvýšení přesnosti a jakosti obráběných dílců,
- snížení zmetkovitosti,
- snížení kusového času výroby o 22,484 min tedy o 56,6 %,
- snížení průběžné doby výroby průběžné dávky 100 kusů o 21,6 pracovních dní tedy o 76,49 %,
- snížení celkových nákladů na výrobu jednoho kusu součásti držáku jehelní tyče o 235,97 Kč tedy o 53,55 %.

Výsledkem navržené varianty výroby je zvýšení přesnosti a jakosti vyráběných dílců, zvýšení produktivity výroby a snížení výrobních nákladů, a proto lze konstatovat, že všechny cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *MINERVA* [online]. 2008 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.minerva-boskovice.com/dmp/printflo/content/18/17/default.aspx>
2. PADĚRA, Radek. *Výroba součásti pro šicí stroj* [online]. Brno, 2014, 38 s. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85330. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
3. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003, 138 s. [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
5. GARANT. *GARANT PŘÍRUČKA OBRÁBĚNÍ*. 39. vyd. 843 s. ISBN 3-00-016882-6
6. AB SANDVIK COROMANT. *Produktivní obrábění kovů*. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.
7. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
8. ELUC: Vznik třísky a její druhy. *Elektronická učebnice* [online]. [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1190>
9. DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Jak rozpoznat správné utváření třísek? *MM Spektrum* [online]. 2012, (4) [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-rozpoznat-spravne-utvareni-trisek.html>
10. DE VOS, Patrick. Příručka pro technology: Není teplota příliš vysoká nebo nízká? *MM Spektrum* [online]. 2012, (5) [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-neni-teplota-prilis-vysoka-nebo-nizka.html>
11. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
12. KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Brno: PC-DIR, 1998, 213 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1187-2.
13. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
14. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997, 1 svazek v různém stránkování. ISBN 91-972-2994-6.
15. ELUC: Základní pojmy ze soustružení. *Elektronická učebnice* [online]. [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1219>

16. Frézování: Poloha frézy vůči obrobk. *SANDVIK Coromant* [online]. Sweden: Sandviken, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx
17. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 2. část* [online]. 2004 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://ust.fime.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
18. NORMA. *Hliník a slitina hliníku: Chemické složení a druhy tvářených výrobků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 40 s.
19. Tabulka slitin. *STROJMETAL* [online]. eBRÁNA s.r.o., 2016 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
20. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
21. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *Výkres součásti držáku jehelní tyče*. Boskovice, 1979.
22. *Zigzag machines for medium-weight applications and decorative stitching with DAC* [online]. Germany: Dürkopp Adler AG, 2012, 6 s. [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.minerva-boskovice.cz/dmp/printFLO/preferences/Clients/18/assetFlo/files/1100932819169.pdf>
23. *Zigzag machines for medium-weight application with DAC* [online]. Germany: Dürkopp Adler AG, 2012, 6 s. [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.minerva-boskovice.cz/dmp/printFLO/preferences/Clients/18/assetFlo/files/1084011177448.pdf>
24. Kovárna. KOVOLIT [online]. KOVOLIT, a.s. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.kovolit.cz/kovarna>
25. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *Technologický postup držáku jehelní tyče*. Boskovice.
26. HAAS VF-2SS. *HAAS Automation* [online]. Belgium: HAAS Automation, 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1029&id=VF-2SS&webID=SUPER_SPEED_VMC
27. *Haas SS Series* [online]. Belgium: HAAS Automation, 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://haascnc.com/DOCLIB/datasheets/DS_SSseries_US.pdf
28. HAAS HRT210. *HAAS Automation* [online]. Belgium: HAAS Automation, 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1029&id=HRT210&webID=ROTARY_TABLE_ROTARY
29. *HRT 210 Machine Layout Drawing* [online]. Belgium: HAAS Automation, 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://haascnc.com/DOCLIB/dimensions/ROTARY/MLD-HRT210_Rev_A.pdf

30. GÜHRING, s.r.o. *GÜHRING přesné řezné nástroje: Ceník*. 42. vyd. Německo, 2012, 1728 s.
31. GÜHRING: Navigator. *GÜHRING* [online]. Německo, 2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://navigator.guehring.de/navigator/index.php?mod=sta>
32. ISCAR: eCatalog. *ISCAR* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/>
33. M&V: E-katalog pro nakupování. *M&V* [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://katalog.mav.cz/detail.php?id=53076>
34. Nástroje pro frézování [online]. 4. vyd. NAREX Consult, a.s., 2010 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.mav.cz/data/katalog/k_frez.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	[-]	Computer Aided Design
CNC	[-]	Computer Numeric Control
ČSN	[-]	Česká státní norma
HBW	[-]	Tvrдость podle Brinella
HSS	[-]	High Speed Steel
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinutý karbid
S-N-O	[-]	Stroj - nástroj - obrobek
S-N-O-P	[-]	Stroj - nástroj - obrobek - přípravek
TPV	[-]	Technická příprava výroby
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A₅	[%]	Tažnost
B	[mm]	Šířka obrobku
D	[mm]	Průměr nástroje nebo obráběný průměr obrobku
E_e	[J]	Vynaložená energie
H	[mm]	Hloubka odebírané vrstvy
L	[mm]	Délka dráhy nástroje
M_i	[-]	Měřidlo
N_{Cn}	[Kč]	Celkové náklady nové varianty výroby
N_{Cs}	[Kč]	Celkové náklady stávající varianty výroby
N_P	[Kč]	Náklady na polotovar
P_{fe}	[-]	Boční pracovní rovina
Q	[J]	Celkové teplo
Q_n	[J]	Teplo odvedené nástrojem
Q_o	[J]	Teplo odvedené obrobkem
Q_{pd}	[J]	Teplo vzniklé v oblasti plastických deformací

Q_{pr}	[J]	Teplo odvedené prostředím
Q_t	[J]	Teplo odvedené třískou
Q_a	[J]	Teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku
Q_γ	[J]	Teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	Mez kluzu
T_i	[-]	Nástroj
a_p	[mm]	Šířka záběru hlavního ostří
e	[mm]	Vyosení
f	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
i	[-]	Počet řezů
l	[mm]	Obráběná délka
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_{nf}	[mm]	Délka náběhu frézy
l_p	[mm]	Délka přeběhu
l_{pf}	[mm]	Délka přeběhu frézy
l_f	[mm]	Řezná délka
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje nebo obrobku
n_v	[-]	Počet výměn nástroje
p	[mm]	Přídavek na průměr
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
t_{ASH}	[min]	Celkový jednotkový strojní čas na stroji HAAS
t_{ASj}	[min]	Jednotkový strojní čas jednotlivých nástrojů
t_{AVH}	[min]	Vedlejší strojní čas na stroji HAAS
t_{BH}	[min]	Celkový výrobní čas dávky na stroji HAAS
t_{Bn}	[min]	Celkový výrobní čas dávky 100 kusů nové varianty výroby
t_{Bs}	[min]	Celkový výrobní čas dávky 100 kusů stávající varianty výroby
t_{KH}	[min]	Kusový čas operace prováděné na CNC stroji HAAS

t_{Kj}	[min]	Kusový čas jednotlivých operací
t_{Kn}	[min]	Celkový kusový čas nové varianty výroby držáku jehelní tyče
t_{Ks}	[min]	Celkový kusový čas stávající varianty výroby držáku jehelní tyče
t_{PH}	[min]	Čas přípravy na stroji HAAS
t_{Pn}	[dny]	Průběžná doba nové varianty výroby
t_{Ps}	[dny]	Průběžná doba stávající varianty výroby
$t_{řj}$	[min]	Doba v řezu jednotlivých nástrojů
t_u	[min]	Čas upínání a výměny kusů
t_v	[min]	Některé vedlejší časy
t_{vn}	[min]	Čas průměrné výměny
v_c	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_d	[ks]	Výrobní dávka
v_e	[m·min ⁻¹]	Rychlost řezného pohybu
v_f	[mm·min ⁻¹]	Posuvová rychlost
z	[-]	Počet zubů nástroje
ϕ	[°]	Úhel stříhu
φ	[°]	Úhel posuvového pohybu
η	[°]	Úhel řezného pohybu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Stávající výkres součásti držáku jehelní tyče od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [21].
- Příloha 2 Přepis stávajícího technologického postupu firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [25].
- Příloha 3 Návrh nového technologického postupu pro výrobu součásti držáku jehelní tyče.
- Příloha 4 Naměřené a vypočítané hodnoty.

PŘÍLOHA 2

Přepis stávajícího technologického postupu firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [25].

OPERACE	STROJ (PRACOVISTĚ)	ÚSEK	POPIS PRÁCE	KUSOVÝ ČAS [min]
0010	BRUSKA LEŠTIČKA	10	BROUSIT PŘESAHY V DĚLÍCI ROVINĚ	0,614
0020	RUČNÍ PRÁCE	10	UPRAVIT PŘESAHY NA NEPŘÍSTUPNÝCH MÍSTECH	0,484
0030	RUČNÍ PRÁCE	10	VYROVNAT VÝKOVEK	0,642
0040	RUČNÍ PRÁCE	10	PRORÝSOVAT CELÝ TVAR	1,434
0050	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,559
		20	FRÉZOVAT BOČNÍ STRANU K MÍŘE 72,5 / 35 (64-1+9,5)	
0060	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,717
		20	POROVNAT DRUHOU STRANU NA 72,5 (64-1+9,5)	
0070	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,820
		20	FRÉZOVAT BOČNÍ STRANU K MÍŘE 67	
0080	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT PO FRÉZOVÁNÍ	0,549
0090	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,577
		20	FRÉZOVAT STRANU BEZ VYBRÁNÍ K MÍŘE 16 _{0,1}	
0100	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,577
		20	FRÉZOVAT DRUHOU STRANU NA MÍRU 16 _{0,1}	
0110	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT BOČNÍ STRANY PO FRÉZOVÁNÍ VČETNĚ VYBRÁNÍ NA BOČNÍ STRANĚ	0,513
0120	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,559
		20	FRÉZOVAT NÁBOJKU NA MÍRU 67	
0130	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	1,145
		20	FRÉZOVAT VNITŘNÍ VYBRÁNÍ R4 / 10 K MÍŘE 49 VČETNĚ POROVNÁNÍ BOČNÍ STRANY DO HLOUBKY 12,7 (8+4,5+0,2)	

0140	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,913
		20	FRÉZOVAT ČELO NÁBOJKY NA MÍRU 14, NAPOJÍ NA BOČNÍ PLOCHU	
		30	FRÉZOVAT R4 - NAPOJÍ NA ZEŠIKMENÍ	
0150	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU	0,661
		20	FRÉZOVAT VYBRÁNÍ 12 / 11 / R6	
0160	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚRÁKU NA DORAZ	0,475
		20	FRÉZOVAT DRÁŽKU R7 / 3	
0170	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT PO FRÉZOVÁNÍ	1,304
		20	NAPOJIT RÁDIUSY NA OPRACOVANÉ PLOCHY DLE VÝKRESU	
		30	ZAČISTIT NAPOJENÉ RÁDIUSY	
0180	OMÍLACÍ BUBNY	10	OMÍLAT VE VIBRAČNÍM BUBNU, TĚLÍSKA 16X16	0,131
		20	VYSUŠIT	
0190	OMÍLACÍ BUBNY	10	VYLEŠTIT V KULIČKÁCH V LEŠTÍCÍM ROZTOKU	0,131
		20	OPLÁCHNOUT, VYSUŠIT	
0200	RUČNÍ PRÁCE	10	ZAČISTIT DOSEDACÍ PLOCHY	0,876
		20	VYROVNAT PO OMÍLÁNÍ	
0210	VRTAČKY OTOČNÉ	10	UPNOUT DO PV	9,144
		20	VRTAT OTVOR Ø8	
		30	VRTAT OTVOR Ø9 Z DRUHÉ STRANY	
		40	VYHRUBOVAT Ø9,4/Ø8,4	
		50	VYHRUBOVAT Ø9,8/Ø8,8	
		60	VYSTRUŽIT Ø9,98H7 / Ø8,98H7	
		--	MIMO PV	
		120	ODJEHLIT OTVORY, VE VYBRÁNÍ ODJEHLIT OTVORY TECHNICKOU FRÉZOU	
130	KALIBROVAT OTVOR Ø9,98H7 / Ø8,98H7			

0220	VRTAČKY OTOČNÉ	10	UPNOUT DO PV, NASUNE TRN	2,859
		20	VRTAT OTVOR Ø10,1	
		30	PŘEVRTAT NA Ø11,5	
		40	VYHRUBOVAT Ø11,7	
		50	VYHRUBOVAT Ø11,9	
		60	VYSTRUŽIT Ø12N7	
		70	MIMO PV ODJEHLIT OTVOR Ø12N7	
0230	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ	10	KONTRLOVAT Ø9,98H7 / Ø8,98H7 A Ø12N7 100%	--
0240	VRTAČKY ŘADOVÉ	10	UPNOUT DO PV	3,343
		20	VRTAT OTVOR Ø4,2 PRO M5	
		30	VRTAT OTVOR Ø4	
		40	VRTAT OTVOR Ø5	
		50	VYHRUBOVAT NA Ø5,8	
		60	VYSTRUŽIT NA Ø6H7	
		70	ZAHLOUBIT OBOUSTRANNĚ Ø16 NA MÍRU 13,8 _{0,2}	
		80	MIMO PV OBOUSTRANNĚ ODJEHLIT Ø6H7	
0250	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT A UPRAVIT OBOUSTRANNĚ ZAHLOUBENÍ Ø16	0,484
0260	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO PF	0,755
		20	FRÉZOVAT VYBRÁNÍ 15° / 28 / 6 / 1 / R1	
0270	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO SVĚŘÁKU	0,577
		20	ZAROVNAT BOČNÍ STRANU NÁBOJKY NA MÍRU 9,5 DLE VÝKRESU	
0280	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO PF	0,568
		20	ODFRÉZOVAT POMOCNÝ NÁLITEK	
0290	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT POMOCNÝ NÁLITEK	0,438
0300	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO PF	0,652
		20	FRÉZOVAT VYBRÁNÍ 60° / 7 / 9,5	

0310	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ	10	UPNOUT DO PF	1,359
		20	FRÉZOVAT VYLEHČENÍ NA MÍRY 4,5 ^{+0,2} / 7 ^{+0,2} / 20° / 14	
0320	RUČNÍ PRÁCE	10	ODJEHLIT VYBRÁNÍ POD ÚHLEM 15°	1,052
		20	ODJEHLIT VYBRÁNÍ POD ÚHLEM 60° A VYLEHČENÍ POD ÚHLEM 20°	
		30	ODJEHLIT NÁBOJKU Ø19	
		40	KALIBROVAT OTVOR Ø12N7	
0330	RUČNÍ PRÁCE	10	UPNOUT DO PZV	0,894
		20	ŘEZAT ZÁVIT M5 / 12	
0340	RUČNÍ PRÁCE	10	KALIBROVAT OTVOR Ø10H7 / Ø9H7	3,865
		20	VYROVNAT ROZTEČ 11±0,1	
		30	VYROVNAT ROVNOBĚŽNOST OTVORŮ Ø10H7 / Ø9H7 / 0,01 A KOLMOST OTVORU Ø12N7 / 0,1 / 100	
0350	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ	10	KONTROLOVAT OTVORY Ø10H7 / Ø9H7 A Ø12N7	--
		20	KONTROLOVAT KOLMOST 0,15 / 100 - 100%	
0360	ROLL	10	ČISTIT VE STROJI ROLL DLE NÁVODKY	0,075
Celkový kusový čas				Σ 39,746

PŘÍLOHA 3

Návrh nového technologického postupu pro výrobu součásti držáku jehelní tyče.

Název: Držák jehelní tyče		Číslo výkresu: 743.092		
Pol.: Výkovek ČSN EN 573 – 3		Hm. součásti: 0,064 kg	Materiál: EN AW – 2017A	
Č. op.	Název stroje, třídicí číslo	Úkon	Popis práce v operaci	Nástroj, měřidlo
010	BRUSKA LEŠTIČKA 26271	010	BROUSIT PŘESAHY V DĚLÍCÍ ROVINĚ	
020	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	UPRAVIT PŘESAHY NA NEPŘÍSTUPNÝCH MÍSTECH	
030	RUČNÍ PRÁCE 09424	010	VYROVNAT VÝKOVEK	
040	VERTIKÁLNÍ FRÉZOVACÍ CENTRUM HAAS VF-2SS 45231	1. POLOHA		
		010	UPNOUT POLOTOVAR DO PŘÍPRAVKU (VÝCHOZÍ HORNÍ POLOHA)	
		020	FRÉZOVAT DRÁŽKU NA ROZMĚRY 11 / 11 / R6	T1
		030	FRÉZOVAT DOSEDACÍ PLOCHU PRO PŘÍPRAVEK VŮČI ROZMĚRU 16 _{-0,5} KOLEM PŘÍPRAVKU	T1
		040	FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø16 DO HLOUBKY 1,1 VŮČI ROZMĚRU 13,8 _{-0,2}	T1
		050	OTOČIT O 90° NA ČELO NÁBOJKY	
		060	FRÉZOVAT ČELO NÁBOJKY VŮČI ROZMĚRU 45 / 67	T1
		070	FRÉZOVAT DOSEDACÍ PLOŠKU NA NÁBOJCE NA ROZMĚR 8 / 4,5	T1
		080	ODFRÉZOVAT ČÁST POMOCNÉHO NÁLITKU NA NÁBOJCE NA ROZMĚR 19 DO HLOUBKY 8	T1
		090	OTOČIT O 90° NA ZADNÍ STRANU	
		100	FRÉZOVAT UPÍNACÍ PLOCHU NA ROZMĚR 16 _{-0,5} KOLEM PŘÍPRAVKU	T1
		110	FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ Ø16 DO HLOUBKY 1,1 NA ROZMĚR 13,8 _{-0,2}	T1
		120	FRÉZOVAT UPÍNACÍ PLOŠKU NA ROZMĚR 6 / 18	T1
		130	OTOČIT O 90° NA BOK SOUČÁSTI	

140	FRÉZOVAT BOK SOUČÁSTI NA ROZMĚR 67	T1
150	OTOČIT O 90° NA HORNÍ STRANU	
160	NAVRTAT SE ZAHLOUBENÍM PRO OTVOR Ø4H7	T5
170	NAVRTAT SE ZAHLOUBENÍM PRO OTVOR Ø6H7	T5
180	VRTAT PRŮCHOZÍ OTVOR Ø3,8 PRO Ø4H7	T6
190	VRTAT PRŮCHOZÍ OTVOR Ø5,8 PRO Ø6H7	T7
200	VYSTRUŽIT OTVOR Ø4H7	T8
210	VYSTRUŽIT OTVOR Ø6H7	T9
220	OTOČIT O 90° NA ČELO NÁBOJKY	
230	NAVRTAT PRO OTVOR Ø12N7	T5
240	VRTAT OTVOR Ø11,8 DO HLOUBKY 19 PRO OTVOR Ø12N7	T10
250	VYSTRUŽIT OTVOR Ø12N7	T11
260	KONTROLOVAT OTVORY Ø4H7, Ø6H7 A Ø12N7 ČETNOST 100%	M2, M3, M4
2. POLOHA		
270	PŘEPNOUT SOUČÁST DO 2. POLOHY V PŘÍPRAVKU (VÝHOZÍ POLOHA)	
280	HRUBOVAT ZBYTEK POMOCNÉHO NÁLITKU S PŘÍDAVKEM 1mm	T2
290	OTOČIT O 15°	
310	HRUBOVAT ŠIKMÉ VYBRÁNÍ 1 / 22 / 15° S PŘÍDAVKEM 1mm	T2
320	OTOČIT DO VÝCHOZÍ POLOHY	
330	FRÉZOVAT HORNÍ POLOCHU NA ROZMĚR 16 _{-0,5}	T1
340	FRÉZOVAT NÁBOJKU NA ČISTO NA ROZMĚR 19	T1
350	OTOČIT O 60°	
360	FRÉZOVAT ŠIKMÉ VYBRÁNÍ NA ROZMĚR 7 / 10 / 60°	T1
370	OTOČIT O 75°	

380	FRÉZOVAT ŠIKMÉ VYBRÁNÍ NA ROZMĚR 1 / 22 / 15°	T1
390	OTOČIT DO VÝCHOZÍ POLOHY	
400	HRUBOVAT VNITŘNÍ ZAROVNÁNÍ S PŘÍDAVKEM 0,5mm VŮČI ROZMĚRU 14 / 9,5	T1
410	OTOČIT O 90°	
420	FRÉZOVAT ČELO NÁBOJE VŮČI ROZMĚRU 64	T1
430	ZAROVNAT BOK NÁBOJE NA ROZMĚR 16 _{.0,5}	T1
440	OTOČIT O 180°	
450	FRÉZOVAT BOK SOUČÁSTI NA ROZMĚR 64	T1
460	ZAROVNAT ČÁST BOKU S NÁBOJKOU NA ROZMĚR 19	T1
470	OTOČIT DO VÝCHOZÍ POLOHY	
480	FRÉZOVAT VNITŘNÍ VYBRÁNÍ NA ČISTO NA ROZMĚRY 9,5 / 14 / R4	T3
490	OTOČIT O 90°	
500	ZAROVNAT VNITŘNÍ ČELO NÁBOJE NA ROZMĚR 14	T4
510	NAVRTAT PRO OTVOR Ø10H7	T5
520	VRTAT PRŮCHOZÍ OTVOR Ø9,8 PRO OTVOR Ø10H7	T12
530	VYSTRUŽIT OTVOR Ø10H7	T13
540	OTOČIT O 180°	
550	NAVRTAT PRO OTVOR Ø9H7	T5
560	NAVRTAT PRO OTVOR Ø4 SE ZAHLOUBENÍM	T5
570	NAVRTAT PRO OTVOR Ø4,2 SE ZAHLOUBENÍM PRO M5	T5
580	VRTAT PRŮCHOZÍ OTVOR Ø4 V NÁBOJCE	T14
590	VRTAT OTVOR Ø4,2 PRO ZÁVIT M5 DO HLOUBKY 16	T15
600	ŘEZAT ZÁVIT M5 DO HLOUBKY 12	T16
610	VRTAT PRŮCHOZÍ OTVOR Ø8,8 PRO OTVOR Ø9H7	T17
620	VYSTRUŽIT OTVOR Ø9H7	T18

050	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	ODJEHLIT VŠECHNY PLOCHY PO FRÉZOVÁNÍ	
		020	NAPOJIT RÁDIUSY NA OPRACOVANÉ PLOCHY DLE VÝKRESU	
		030	ODJEHLIT A ZAHLOUBIT VŠECHNY OTVORY	T19
060	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ 09892	010	MĚŘIT VŠECHNY ROZMĚRY SOUČÁSTI ČETNOST 5%	M1
		020	KONTROLOVAT VŠECHNY TOLEROVANÉ OTVORY ČETNOST 100%	M2-M7
070	FRÉZKA VERTIKÁLNÍ 05225	010	UPNOUT DO PŘÍPRAVKU	T20
		020	FRÉZOVAT VNITŘNÍ ZAROVNÁNÍ NA ROZMĚR $14 / 7^{+0,2} / 4,5^{+0,2} / 20^\circ$	
080	RUČNÍ PRÁCE 09426	010	ODJEHLIT PO FRÉZOVÁNÍ	
090	RUČNÍ PRÁCE PŘI MĚŘENÍ 09892	010	KONTROLOVAT GEOMETRICKÉ TOLERANCE VŮČI ZÁKLADNĚ A DLE VÝKRESU ČETNOST 100%	
100	ČISTICÍ STROJ PERO 96314	010	ČISTIT VE STROJI PERO DLE NÁVODKY	

PŘÍLOHA 4

Naměřené a vypočítané hodnoty.

Úkon	L [mm]	i [-]	n [min ⁻¹]	f _z [mm]	z [-]	f [mm]	T _{ASj} [min]
Nástroj T1							
020	16	1	10000	0,07	3	0,21	0,0076
030	79	1	10000	0,07	3	0,21	0,0376
040	16	1	10000	0,07	3	0,21	0,0077
090	177	1	10000	0,07	3	0,21	0,0843
100	35	1	10000	0,07	3	0,21	0,0167
120	31	1	10000	0,07	3	0,21	0,0148
140	73	1	10000	0,07	3	0,21	0,0348
160	58	3	10000	0,07	3	0,21	0,0529
180	86	1	10000	0,07	3	0,21	0,0410
190	21	1	10000	0,07	3	0,21	0,0100
200	34	3	10000	0,07	3	0,21	0,0486
210	45	1	10000	0,07	3	0,21	0,0214
220	15	1	10000	0,07	3	0,21	0,0071
240	72	1	10000	0,07	3	0,21	0,0343
250	16	1	10000	0,07	3	0,21	0,0077
260	23	1	10000	0,07	3	0,21	0,0110
280	156	1	10000	0,07	3	0,21	0,0743
290	164	1	10000	0,07	3	0,21	0,0781
300	35	1	10000	0,07	3	0,21	0,0167
Nástroj T2							
050	41	3	7958	0,15	3	0,45	0,0343
070	45	4	7958	0,15	3	0,45	0,0503
Nástroj T3							
320	63	1	8356	0,032	4	0,128	0,0589
Nástroj T4							
340	42	1	1434	0,05	12	0,6	0,0488
Nástroj T5							
360	5,3	1	10000	-	-	0,15	0,0035
370	6,3	1	10000	-	-	0,15	0,0042
430	4	1	10000	-	-	0,15	0,0027
440	4	1	10000	-	-	0,15	0,0027
500	4	1	10000	-	-	0,15	0,0027
510	4,3	1	10000	-	-	0,15	0,0029
520	4,8	1	10000	-	-	0,15	0,0032

Nástroj T6							
380	12,2	1	7539	-	-	0,16	0,0101
Nástroj T7							
390	19,5	1	4939	-	-	0,2	0,0167
Nástroj T8							
400	10	1	1432	-	-	0,16	0,0436
Nástroj T9							
410	19,8	1	955	-	-	0,2	0,1037
Nástroj T10							
450	24,5	1	5395	-	-	0,4	0,0114
Nástroj T11							
460	20	1	477	-	-	0,315	0,1331
Nástroj T12							
470	21	1	6496	-	-	0,315	0,0103
Nástroj T13							
480	20	1	573	-	-	0,315	0,1108
Nástroj T14							
530	24,2	1	7162	-	-	0,16	0,0211
Nástroj T15							
540	19,2	1	6821	-	-	0,16	0,0176
Nástroj T16							
550	14	2	1592	-	-	0,8	0,0220
Nástroj T17							
560	16,1	1	7234	-	-	0,28	0,0080
Nástroj T18							
570	15,5	1	637	-	-	0,28	0,0869