



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY ROTAČNÍ  
SOUČÁSTI**

EFFICIENCY IMPROVEMENT CONCEPT OF PRODUCTION OF ROTARY COMPONENT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Radim Trčka

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Radim Trčka</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

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:

### Návrh na zefektivnění výroby rotační součásti

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešen návrh na zefektivnění technologie výroby rotační součásti z kompozitních materiálů. V práci budou charakterizovány druhy kompozitních materiálů, které jsou ve výrobě používány. Součástí práce bude návrh řešení za účelem zefektivnění výrobního procesu. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením včetně rozboru navrženého řešení a porovnáním se stávajícím způsobem výroby.

#### Cíle diplomové práce:

1. Představení společnosti LABARA, s.r.o.
2. Charakteristika kompozitních materiálů.
3. Analýza současného stavu technologie výroby.
4. Návrh inovace výrobního procesu.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

#### Seznam literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

JANČÁŘ, J. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.

HUMÁR, A. Obrábění vláknově vyztužených kompozitů: Machining fibre reinforced composites : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Strojírenská technologie. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2004, 26 s. ISBN 80-214-2740-X.


AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

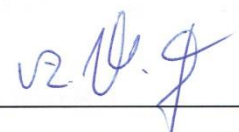
AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá obráběním rotační součásti z kompozitního materiálu. Na součásti bylo provedeno porovnání dvou výrobních technologií. Cílem práce je rozbor a výpočet nákladů daných technologií, pro rozdílné výrobní dávky. V závěru diplomové práce je provedeno technologicko-ekonomické zhodnocení a rozhodnutí, která technologie výroby bude použita.

### **Klíčová slova**

kompozitní materiály, obrábění, soustružení, náklady, efektivita

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with machining of rotating components made of composite material. Components of the two manufacturing technologies are compared. The aim of the thesis was to analyze and calculate the costs of the given technologies for different production batches. At the end of the diploma thesis there is a technological-economic evaluation and decision on which production technology will be used.

### **Key words**

composite materials, machining, turning, cost, efficiency

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TRČKA, R. *Návrh na zefektivnění výroby rotační součásti*. Brno 2017 Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ustav strojírenské technologie 59 s a 1 s přílohy. Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh na zefektivnění výroby rotační součásti vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Radim Trčka

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé práce doc. Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. z Vysokého učení technického v Brně za cenné připomínky a rady udělené při vypracování této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Tomáši Prátovi ze společnosti Labara s.r.o. za poskytnutí informací potřebných k vypracování mé práce.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům a přítelkyni za podporu při studiu.

## Obsah

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
ÚVOD.....	9
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI LABARA s.r.o. ....	10
2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY .....	12
2.1 Vytzužující vlákna .....	13
2.1.1 Skelná vlákna.....	13
2.1.2 Orientace vláken .....	14
2.2 Matrice .....	15
2.2.1 Nenasycené polyestery (UP).....	15
2.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE) .....	16
2.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP).....	16
2.2.4 Fenolové pryskyřice (PF).....	16
2.3 Výroba tyčí a trubek.....	16
2.4 Druhy elektroizolačních kompozitních materiálu pro výrobu rotačních součástí..	17
2.4.1 Sklotextit EPGC.....	17
2.4.2 Textit PFCC .....	17
2.4.3 Kartit PFCP.....	18
3 TECHNOLOGIE VÝROBY .....	19
3.1 Soustružení.....	19
3.2 Nástrojové materiály .....	20
4 POPIS STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE .....	21
4.1 Součást Spojovací válec .....	21
4.2 Polotovar pro výrobu součástí.....	21
4.3 CNC soustružnické centrum .....	22
4.4 Nástroje používané při výrobě .....	22
4.5 Postup výroby součásti.....	25
4.6 Jednotkový čas strojní $t_{AS}$ .....	28
4.7 Výtěžnost materiálu .....	32
5 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE .....	33
5.1 Dlouhotočné automaty .....	33
5.2 Dlouhotočný automat Manurhin K'MX 432.....	34
5.3 Polotovar pro výrobu součástí.....	36

5.4	Postup výroby součásti.....	36
5.5	Jednotkový čas strojní $t_{AS}$ .....	39
5.6	Výtěžnost materiálu .....	43
6	NÁKLADY NA VÝROBU SOUČÁSTI .....	44
6.1	Náklady na jednotkovou práci .....	44
6.2	Náklady na nástroje.....	44
6.3	Náklady na materiál .....	45
6.4	Režijní náklady.....	45
6.5	Sazba CNC stroje .....	46
6.5.1	Sazba stroje Topturn S20.....	47
6.5.2	Sazba stroje Manurhin K'MX 432.....	47
6.6	Odpisy stroje .....	48
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	50
7.1	Stanovení nákladové ceny jednoho kusu pro stávající technologii.....	50
7.2	Stanovení nákladové ceny jednoho kusu pro navrhovanou technologii .....	50
7.3	Porovnání výrobních variant .....	51
	ZÁVĚR .....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	57
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

## ÚVOD

Společnost Labara s.r.o. vznikla v roce 1995 za účelem obchodování s elektroizolačním materiálem. Na základě postupných požadavků svých zákazníků, začala tyto materiály i obrábět. Elektroizolační materiály spadají pod kompozitní materiály. Dnes se tato společnost zabývá opracováním mnoha druhů kompozitních materiálů, jejichž poptávka stále roste. Tyto materiály tvoří více než šedesát procent výrobní kapacity, proto je inovace technologií pro opracování těchto materiálů velice důležitá.

V současné době podnik využívá strojní vybavení pro výrobu součástí rotačních, nerotačních, tvarově jednoduchých i složitých dílců. Zabývá se kusovou i velkosériovou výrobou. Při inovaci strojního vybavení je snahou sledovat požadavky zákazníka, aby byla firma schopna vyrobit všechny jeho konstrukční požadavky na dílce za konkurenceschopnou cenu.

Podnik začal hledat alternativy pro výrobu rotačních součástí malého průměru, vyráběných v tisícových sériích. Na základě těchto požadavků, byli poptáni výrobci soustružnických automatů s podavačem. Na základě cenové nabídky a technických parametrů stroje byl vybrán stroj Manurhin K'MX 432 od firmy TAJMAC-ZPS, a.s.

Cílem této práce je porovnání stávající technologie výroby rotační součásti na soustružnickém centru DK machinery Topturn S20, s výrobou na dlouhotočném soustružnickém automatu Manurhin K'MX 432. Diplomová práce popíše technologii výroby dané součásti, stanoví řezné podmínky při výrobě a výpočet minimální velikosti výrobní dávky, kdy dochází k úspoře nákladů na výrobu.

Výstupem práce bude zhodnocení a porovnání daných technologií na strojním vybavení, a dále také stanovení, která z technologií je výhodnější, pro jak velkou výrobní dávku. Na základě velikosti výrobní dávky, dojde k rozhodnutí, zda je výhodné vyrábět nově navrženou technologii.

## 1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI LABARA S.R.O.

Společnost Labara s.r.o. sídlí nedaleko Velké Bíteše, v obci Jindřichov (obr. 1.1). Vznikla v roce 1995 jako obchodní společnost. V počátcích se firma zabývala nákupem a prodejem vrstvených elektroizolačních materiálů. S rostoucí poptávkou se sortiment komponentů v průběhu let rozšířil o kompletní dodávky pro elektrotechnický průmysl. Kvalita činnosti společnosti je garantována certifikovaným systémem ISO 9001:2001 [1].

Nejdříve se firma zabývala obchodní činností, nákupem a prodejem elektroizolačních materiálů. S postupným rozvojem společnosti, zejména díky narůstajícímu počtu zákazníků, začala tyto materiály také opracovávat dle požadavků výkresové dokumentace. Dále podnik začal opracovávat také neželezné kovy a plasty. Podnik je vybudován v bývalém areálu JZD, kde se v průběhu let stále rozrůstá.



Obr. 1.1 Firma Labara s.r.o.

Firma se rozšiřuje také do zahraničí. V Rusku vznikla dceřiná společnost Labara-Rus, na českém trhu firma Labara Cables s.r.o., která se zabývá prodejem kabelů. Společnost Labara s.r.o. se neorientuje pouze na tuzemský trh, ale snaží se své produkty uplatnit po celém světě. Konkurenci poráží zejména dlouhodobými zkušenostmi v opracování kompozitních materiálů, o které je v konstrukčních řešeních stále velký zájem, a to díky specifickým vlastnostem, jako je nízká hmotnost, dobré mechanické vlastnosti, elektrická a tepelná izolace. Tyto vlastnosti jsou vždy podmíněny tepelnou zatížeností materiálu. Tyto pozitivní charakteristiky zajistily náhradu dříve používaných materiálů. Díky kombinaci z více rozdílných materiálů, lze tyto materiály použít pro různé účely, které lze uplatnit např. v automobilovém průmyslu, elektroprůmyslu, ale také ve strojírenství a chemickém průmyslu (viz obr. 1.2).

Výrobci nástrojů neurčili optimální řezné podmínky pro obrábění kompozitních materiálů, a tak firma v počátcích experimentovala a odvozovala je od materiálů podobných. V současné době má firma po dlouholeté praxi ucelené řezné podmínky pro dané typy materiálů.

Výroba používá při opracování těchto materiálů vertikální tříosá frézovací centra od firmy Kovosvit MAS, a.s., s možností použití čtvrté otočné osy, pětiosý stroj SAHOS – Dynamik, CNC soustružnická centra od firmy DK machinery a.s.

Stěžejními výrobky společnosti jsou opracované vrstvené izolanty, polyesterové desky, glastherm (teplotně izolační desky), speciální vyztužené desky, vodiče pro vinutí, elektroizolační tkanice, elektroizolační kabely, bandážované a drážkové izolanty, slídové materiály, skelné tkaniny a závoje rohože [1].

Mezi hlavní zákazníky se řadí převážně výrobci motorů, rozvaděčů, transformátorů, vypínačů, výrobci forem pro vstřikování plastů a podniky ze stavebního průmyslu.



Obr. 1.2 Ukázka výrobků firmy Labara s.r.o. [1]

Kompozit je materiál složený ze dvou nebo více odlišných materiálů s rozdílnými vlastnostmi. Pokud tyto materiály spojíme v jeden, vznikne nový materiál kombinující dobré mechanické, chemické i fyzikální vlastnosti předchozích materiálů. Jednu složku tvoří pojivo a druhou vyztuž.

## 2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály jsou heterogenní materiály, složené ze dvou a více složek s rozdílnými fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi, které jsou výrazně odlišné od vlastností výsledného kompozitu. Jednu složku kompozitních materiálu tvoří matrice (pojivo), druhou různým prostorovým způsobem uspořádaná výztuž (vyztužující vlákna). Výztuže jsou různé druhy tkanin, které navyšují mechanické vlastnosti materiálu, jako pevnost, tuhost, ale i elektrické vlastnosti. Dále tvrditelná pryskyřice, která se využívá jako matrice. Pojivo chrání výztuž zejména před mechanickým poškozením, udržuje ji v daném tvaru a umožňuje přenos vnějších napětí do výztuže. Vyztužujícími vlákny jsou např. skleněná, uhlíková a kevlarová vlákna. Každé z těchto vláken se využívá pro různé materiály, pro jejich rozdílné vlastnosti. Elektroizolační materiály jsou vyztuženy vlákny skelnými, bavlněnými, případně tvrzeným papírem [2, 3, 5]

K základním přednostem vláknových kompozitů patří [2, 5]:

- nízká měrná hmotnost,
- dobré mechanické vlastnosti,
- flexibilita tvarů, povrchů a barev,
- vysoká rozměrová stálost,
- korozivzdornost,
- elektrická nevodivost, nízká tepelná vodivost.

Za nevýhody těchto materiálů lze považovat:

- nižší tepelnou odolnost (řádově mezi 100 °C až 200 °C),
- menší množství dat ze zkoušek těchto materiálů, pro rozhodování při použití na konstrukční aplikace,
- nedostatek základních údajů pro stanovení řezných podmínek [2, 5].

## 2.1 Vyztužující vlákna

Materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu u kompozitního materiálu. Podíl vláken může v některých případech dosáhnout až 80 % [2, 3].

### 2.1.1 Skelná vlákna

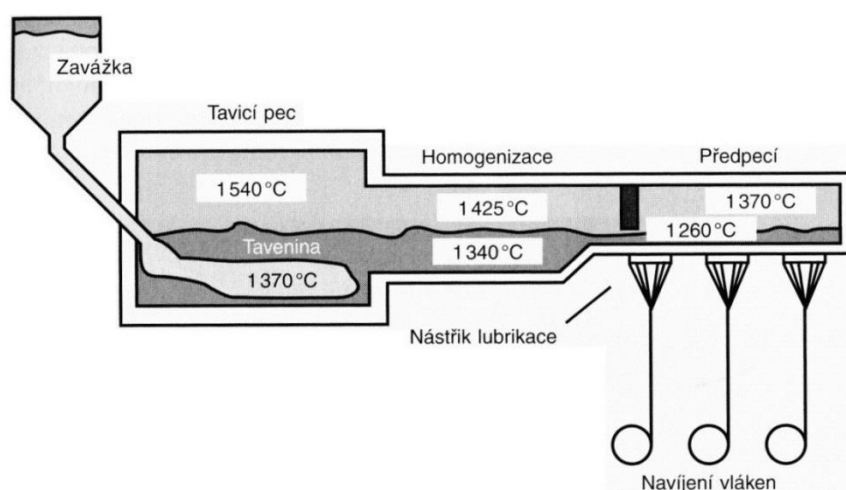
Textilní skelné vlákno je společný název pro tenké vlákno ( $\varnothing$  3,5  $\mu\text{m}$  až  $\varnothing$  24  $\mu\text{m}$ ) s pravidelným kruhovým průřezem, taženým z roztavené skloviny, které se navíjí na cívku.

Rozdílným chemickým složením vzniklo více druhů sklovin. Pro výrobu kompozitních materiálů se nejčastěji používají skelná vlákna z bezalkalické skloviny (E - sklovina, téměř 90% vláken), jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou propustností záření [2, 4].

Vyrábějí se tažením taveniny směsi oxidů Si (s příměsí oxidů Al, Ca, Mg, Pb a B) a většinou s malým podílem oxidů Na a K. Teplota tavení je přibližně 1 400 °C, několik dní se číří, a pak se v tekutém stavu vede kanálky předpecí do spřádacích trysek. Vlákna jsou na výstupu trysky 1 až 2 mm tlustá, v závislosti na průměru trysky. Trysky musejí být zahřáté na takovou teplotu, aby sklovina pomalu vytékala a rychle tuhla. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání skloviny a jejím odtahováním. Odtahová rychlost může být až 50  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při odtahování se na sklovinu nanáší lubrikace, poté jsou sdružovány do pramene a navíjejí se na cívku (obr. 2.1).

Lubrikace zajišťuje [2, 14]:

- spojení jednotlivých vláken do manipulovatelného, ohebného vlákna,
- chrání citlivý povrch vlákna,
- zlepšení vazeb mezi organickou pryskyřicí a anorganickým vláknem.

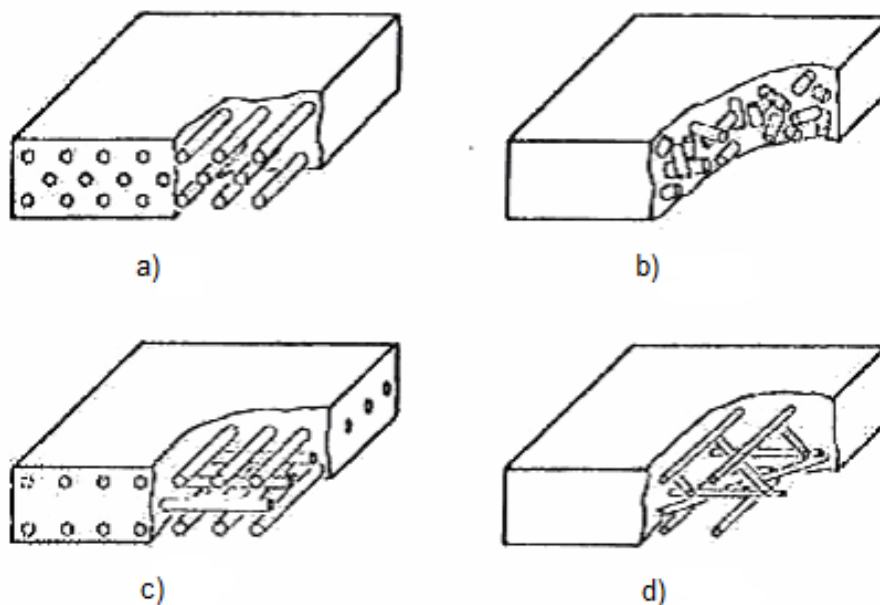


Obr. 2.1 Výroba skelných vláken tažením [2].

### 2.1.2 Orientace vláken

Dělení dle způsobu prostorového uspořádání (obr. 2.2) [3]:

- lamina - jedná se o jednu vrstvu kompozitu, která má zanedbatelnou tloušťku ve srovnání s ostatními rozměry,
- lamináty - střídání vrstev lamin, s různými vzájemnými orientacemi výztuže,
- lamináty s tkanou výztuží - vlákna jsou před prosycením pryskyřicí utkána běžnými nebo speciálními textilními technologiemi,
- lamináty s netkanou výztuží - střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna zpracována do roun, aniž by byla tkána,
- tažené profily - komplikovanější tvary s kombinací vyztužujících vláken a tkaných, či netkaných rohoží, např. desky, trubky,
- navíjené profily - kruhové nebo oválné tvary průřezu, např. tlakové nádoby, trubky.



Obr. 2.2 Uspořádání vláken [3]: a) průběžná jednosměrně orientovaná vlákna, b) nahodile orientovaná krátká vlákna, c) ortogonální (kolmá) vlákna, d) několikavrstvé uspořádání vláken.

## 2.2 Matrice

Existují tyto typy matic [2, 3]:

- pryskyřice, polymery: - reaktoplasty (UP - polyestery, EP - epoxidy, fenolické pryskyřice PR),  
- termoplasty (PP - polypropylény, PA - polyamidy),  
- kaučuky (kordy),
- silikáty (sklo, cement, keramika),
- kovy (hliník a slitiny).

Tato práce se zabývá obráběním kompozitních materiálů, které využívají matrice z reaktoplastů, proto budou rozvedeny dále.

### 2.2.1 Nenasycené polyestery (UP)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při reakci se uvolňuje teplo a dochází ke smrštění o 5 až 9 %. Mezi výhody patří dobré mechanické, elektrické a chemické vlastnosti. Tyto matrice se používají do slabě kyselého, nebo alkalického prostředí [2, 3].

Základní druhy nenasyčených polyesterových pryskyřic [2, 3, 7]:

- orthoftalová (nízká cena),
- izoftalová (dobrá chemická i tepelná vodivost),
- fumarová (dobrá chemická i tepelná vodivost),
- chlorftalová (nehořlavá),
- tereftalová (dobrá chemická a tepelná vodivost).

### **2.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE)**

Vinylesterové pryskyřice oproti nenasyčeným polyesterovým pryskyřicím jsou výrazně houževnatější a mají vyšší chemickou odolnost. Používají se zejména v oblastech s vysokým korozním namáháním. Vysoká pevnost těchto pryskyřic se využívá u velkých nosných konstrukcí. Skelná vlákna s pryskyřicí jsou specifická tepelnou a elektrickou izolací [2, 3].

### **2.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP)**

Epoxidová pryskyřice je polymerní materiál syntetického původu, který se vyznačuje velmi dobrou adhezí k různým materiálům. Vyniká malou smrštitivostí při vytvrzování. V oblasti vyztužených kompozitů se využívají jako matrice pro vysoce kvalitní materiály v elektrotechnice (vzhledem k dobrým izolačním vlastnostem). Má nejlepší přilnavost k povrchově neupraveným skelné výztuži v porovnání s UP a VE pryskyřicemi. Často se využívají jako matrice pro drahé výztuže, např. uhlíková vlákna [2, 8].

### **2.2.4 Fenolové pryskyřice (PF)**

Fenolové pryskyřice jsou nejvšestrannější reaktoplasty. Největší předností této pryskyřice je její vynikající termomechanická, povětrnostní a elektrická odolnost [2].

## **2.3 Výroba tyčí a trubek**

Vrstvené tyče z kompozitního materiálu s EP, PF, UP pryskyřicí jsou vyráběny ve formě rolováním impregnovaných vrstev materiálu na trnu. Rolování probíhá při vysokých teplotách, následuje vytvrzení tyče. Tolerance vnějšího průměru, je závislá na velikosti průměru tyče. V rozsahu +/- 0,3 mm až +/- 3,5 mm.

Trubky jsou vyráběny válcováním EP, PF pryskyřicí naimpregnovaných vrstev materiálu na ocelové trny a následným vytvrzením při určité teplotě. Vnitřní průměr trubky je dán průměrem ocelového trnu. Tolerance vnějšího průměru dle ISO 2768-mK, vnější průměr tolerován v závislosti na síle stěny trubky [9, 17].

## 2.4 Druhy elektroizolačních kompozitních materiálu pro výrobu rotačních součástí

Níže jsou uvedeny materiály, které jsou dodávány v tyčích, nebo trubkách.

### 2.4.1 Sklotextit EPGC

Jedná se o vrstvený materiál, výztuž tvoří skelná tkanina, pojivem je epoxidová pryskyřice (viz obr. 2.3). Je dodáván v deskách, tyčích, trubkách v různých typech rozměrů a vlastností materiálů (viz tab. 2.1). Používá se na výrobu součástí pro elektrická zařízení při vyšších teplotách nebo ve vlhkém prostředí, při namáhaných elektroizolačních součástkách do transformátorů, rozvaděčů, elektrických strojů atd. [1].

Tab. 2.1 Materiály Sklotextit.

Materiál	Norma	Měrná hustota	Operační teplota	Pevnost v ohybu	Výrobní průměr	Délka
	<b>EN-60893</b>	[g/m <sup>3</sup> ]	[°C]	[MPa]	[mm]	[mm]
<b>Sklotextit G10</b>	EPGC41 / TSE130	1,7 - 1,9	130	540	8 - 100	570 +/- 20
<b>Sklotextit G11 155°C</b>	EPGC42 / TSE150	1,7 - 1,9	155	545	8 - 100	570 +/- 20
<b>Sklotextit G11 180°C</b>	EPGC42 / TSE180	1,7 - 1,9	180	520	8 - 100	570 +/- 20
<b>Sklotextit FR-4</b>	EPGC43 / FR-4	1,7 - 1,9	130	625	8 - 100	570 +/- 20

### 2.4.2 Textit PFCC

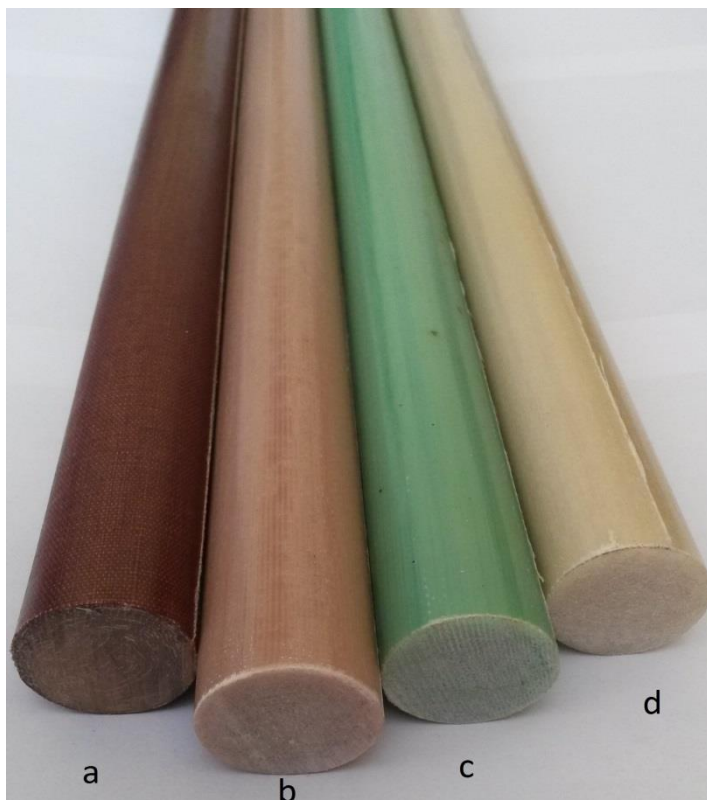
Desky jsou vyrobené z bavlněné tkaniny jako výztuže a krezolformaldehydové pryskyřice jako pojiva (viz obr. 2.3). Dobrá odolnost proti slabým kyselinám i při vyšší teplotě umožňuje jeho použití jako konstrukčního materiálu při stavbě strojů a zařízení v elektrotechnice. Má dobré mechanické a kluzné vlastnosti, tlumí nárazy. Používá se na výrobu kluzných ložisek, větších ozubených kol, kladek, kluzných částí strojů a zařízení, tlumících částí, skříňových částí, pák, táhel, ochranných kotoučů, podložek, obložení kluzných částí lisů, těžkých hoblovacích strojů a rámových pil. Představuje konstrukční materiál při stavbě strojů pracujících v agresivním prostředí. Je dodáván v deskách, trubkách v různých typech rozměrů a vlastností materiálů (viz tab. 2.2) [1].

### 2.4.3 Kartit PFCP

Kartitové desky jsou vyrobeny z celulózového papíru a fenolformaldehydové pryskyřice jako pojiva (viz obr. 2.3). Nejčastější využití těchto materiálů je při stavbě transformátorů, kde se využívají jako izolační materiál, výroba mezistěn, dále pro výrobu podtlakových kostek. Pro vysokou elektrickou a mechanickou pevnost se využívají také jako dílce elektrických rozvaděčů [1].

Tab. 2.2 Materiály Textit a Kartit.

Materiál	Norma	Měrná hustota	Operační teplota	Pevnost v ohybu	Výrobní průměr	Délka
	<b>EN-60893</b>	[g/m <sup>3</sup> ]	[°C]	[MPa]	[mm]	[mm]
<b>Textit J</b>	PFCC41 / Hgw2082	1,2-1,4	120	125	8 - 100	570 +/- 20
<b>Textit E</b>	PFCC42 / Hgw2088	1,2-1,4	120	110	8 - 100	570 +/- 20
<b>Kartit</b>	PFCP41 / Hp2068	1,2-1,4	120	120	8 - 100	570 +/- 20



Obr. 2.3 Tyče z kompozitního materiálu:

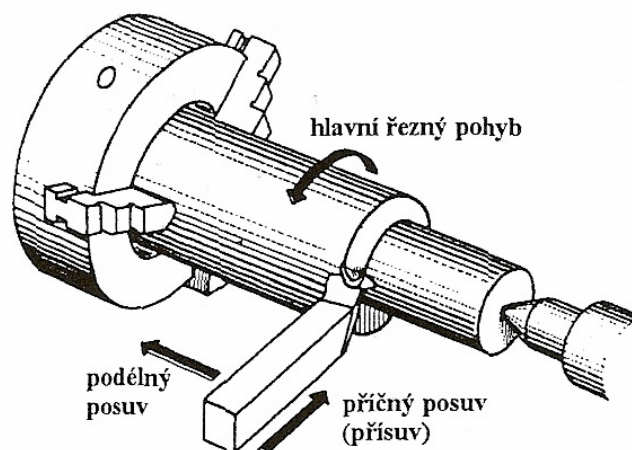
a) Textit J, b) Sklotextit G11 180 °C, c) Sklotextit G11 155 °C, d) Sklotextit G10.

### 3 TECHNOLOGIE VÝROBY

Při výrobě dílů z kompozitního materiálu je snahou, aby součást měla požadovaný tvar a přesnost bez dalších úprav. To však nelze zajistit vždy, proto se využívá technologie třískového obrábění (soustružení, frézování, vrtání, řezání, apod.).

#### 3.1 Soustružení

Soustružení je třísková metoda obrábění, která slouží k výrobě tvarových rotačních součástí. Soustružení patří k nejvíce používaným obráběcím metodám ve strojírenství a je také považováno za jedno z nejjednodušších metod třískového obrábění. Obrábění se nejčastěji provádí jednobřitými nástroji různých provedení, soustružnické nože. Ty bývají upnuty v nožové hlavě a skládají se z ocelového těla, nože obdélníkového, čtvercového nebo kruhového průřezu a z břitové destičky různého tvaru a materiálu (např. rychlořezná ocel RO, slinutý karbid SK, nebo polykrystalický diamant PKD), která může být výměnná nebo pevně přivařená (připájená) k tělu nástroje.



Obr. 3.1 Soustružení, hlavní pohyby [19].

Hlavním řezným pohybem u soustružení je pohyb rotační a vykonává jej obrobek (obr. 3.1). Obvodová rychlost obrobku je zároveň rychlostí řeznou, udává se v  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Vedlejší řezné pohyby jsou přímočaré posuvné a vykonává je nástroj. Podélný posuv je rovnoběžný s osou obrobku a příčný posuv kolmý na osu obrobku. Velikost posuvu  $f$  je udávána v mm [16, 19].

### 3.2 Nástrojové materiály

Při obrábění kompozitních materiálů vyztuženými vlákny je nutné zajistit stále ostrý břit. Otupený břit ostří vlákna neřeže, ale vytrhává je z materiálu, a tím dochází k poškození obráběné součásti. Vyztužující vlákna působí na nástroj silným abrazivním účinkem a jsou hlavní příčinou velmi intenzivního opotřebení nástroje. Od nástrojů z rychlořezné oceli, které byly používány v minulosti, se ustupuje z důvodu jejich krátké doby trvanlivosti. Tyto materiály se ovšem mohou používat s různými povlaky, které prodlouží jejich životnost. Nástroje se používají zejména pro kusovou výrobu, kde probíhá častá výměna nástroje a najíždění operace prvního kusu. Riziko mechanického poškození nástroje může být způsobeno kolizí nástroj obrobek, poškození při pádu. Pro kompozitní materiály se skelnými vlákny nevhodné.

Pro obrábění kompozitních materiálů, zejména pak materiálů se skelnou výztuží, jsou používány nástroje ze slinutého karbidu. Mají vyšší tvrdost a trvanlivost než nástroje z RO. I zde je pro zvýšení trvanlivosti používáno různých druhů povlaků na bázi karbidů, nitridů, oxidů nebo diamantu.

Nejlepších výsledků je dosahováno při použití nástrojů z polykystalického diamantu (PKD). Vykazují nejvyšší trvanlivost díky tvrdosti a dobré tepelné vodivosti. Vlákna se se odlamují a nedochází k jejich tření po břitu. Kvalita obrobené plochy je vyšší a celkově se zvyšuje produktivita. Cena vyměnitelných břitových destiček VBK je několiknásobně vyšší než VBD z SK. Tyto materiály se používají zejména pro velkosériovou výrobu, kde nedochází k časté výměně nástrojů a nehrozí mechanické poškození [6, 11].

V praxi se ukázalo nejvýhodnějším používat VBD osazené břitem z polykystalického diamantu. Malé břity z PKD jsou pevně uchyceny na břitových destičkách ze slinutého karbidu, které jim zaručují pevnost a odolnost proti tepelným a rázovým šokům.

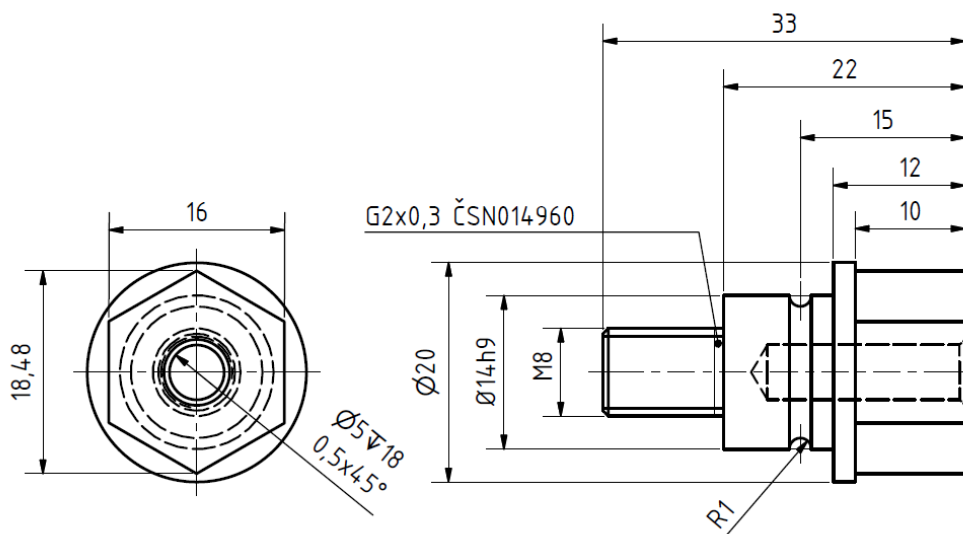
Volba geometrie nástroje má také výrazný vliv na trvanlivost a jakost obrobené plochy. Doporučuje se volit pozitivní geometrii řezného břitu ( $\alpha_0 = 10^\circ$  až  $12^\circ$ ,  $\gamma_0 = 18^\circ$  až  $20^\circ$ ). Soustružením jsou vyráběny válcové a kuželové součásti, závitové drážky, zápichy, osazení a také slouží k upichování. Přesnost obrobených ploch je v rozmezí IT9 až IT11, dosažitelná průměrná aritmetická úchylka profilu  $R_a$  je 1,6 - 3,2  $\mu\text{m}$  (hodnoty se liší v závislosti na druhu obráběného materiálu) [11, 12].

## 4 POPIS STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

V této kapitole je probrána stávající technologie výroby součásti Spojovací válec na CNC soustružnickém centru.

### 4.1 Součást Spojovací válec

Zadavatelem výroby součásti je společnost zabývající se výrobou transformátorů, tlumivek, napájecích zdrojů a průmyslové elektrotechniky. Jedná se o rotační součást (obr. 4.1). Při výrobě bylo provedeno – soustružení, soustružení závitu, frézování šestihranu a vrtání průměru se zahloubením. V první řadě bylo zarovnáno čelo, soustruženy průměry a zápich pro závit M8. Následovalo soustružení závitu M8, soustružení tvarového zápichu a frézování šestihranu. Po upíchnutí na délku dle výkresové dokumentace, byla vyhotovena poslední operace vrtání průměru se zahloubením. Dílec byl ručně odjehlen a skládán do beden po 500 ks. Kontrola probíhala náhodným výběrem 5 % kusů z bedny.



Obr. 4.1 Technologický náčrt součásti.

### 4.2 Polotovar pro výrobu součásti

Materiál Sklotextit G10 (EPGC41), tyč  $\varnothing$  25 mm, délka tyče 570 +/- 20 mm. Průměr tyče 25 mm v toleranci od výrobce +/- 1,6 mm. Přibližně v 85 % dodává dodavatel tyče v délce 580 +/- 10 mm a průměr 25 mm se pohybuje v kladné toleranci  $\varnothing$  25 +1 mm. Dílec

byl soustružen z celé tyče, a po upíchnutí součásti na požadovanou délku, byla tyč povysunuta pro obrábění dalšího kusu.

### 4.3 CNC soustružnické centrum

Soustružnická centra zvládají operace soustružení, vrtání, řezání závitů, frézování. Firma je vybavena soustružnickým centrem od firmy DK machinery a.s., typ Topturn S20, parametry stroje v tab. 4.1. Jedná se o CNC soustružnické obráběcí centrum, s řídicím systémem Fagor 8055, programovatelné na panelu přímo u stroje. Stroj se ve firmě velice osvědčil, zejména z hlediska dosahování vysokých přesností, vysoké spolehlivosti a intuitivnímu programování. Pro tvorbu NC kódu nejsou nutné podrobné znalosti CNC systémů. Výrazným způsobem tak zjednodušuje především tvarově náročné operace. Složitější profily jsou zadávány pomocí integrovaného geometrického editoru, který automaticky provede všechny potřebné výpočty. Vedle přímého kreslení tvaru profilu součásti, řeší i různé nedefinované vazby, např. tangenciální napojení.

Stroj je vybaven revolverovou hlavou pro upínání až dvanácti nástrojů. Umožňuje obrábět v osách X, Y a C s možností využití poháněných nástrojů. Stroj je dovybaven odsáváním, které v průběhu obrábění odsává jemnou třísku z místa řezu, tvořenou při obrábění elektroizolačních materiálů. Při obrábění těchto materiálů se nepoužívají procesní kapaliny k chlazení, zejména z důvodu nasákavosti povrchu obráběného materiálu. V procesu řezání se tak tvoří velké množství prachových částic [18].

Tab. 4.1 Parametry stroje Topturn S20 [18].

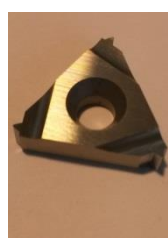
	Hodnoty	Jednotky
<b>Max. obráběný průměr</b>	340	[mm]
<b>Max. obráběná délka</b>	600	[mm]
<b>Průchod vřetene</b>	62	[mm]
<b>Max. otáčky</b>	4 000	[min <sup>-1</sup> ]
<b>Výkon motoru</b>	11	[kW]
<b>Počet upnutých nástrojů</b>	12	-

### 4.4 Nástroje používané při výrobě

Pro obrábění součásti byly používány převážně vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutých karbidů (SK) s ořezavým povlakem. Pro soustružení průměrů byla



použita ve stranovém noži VBD z SK, řeznou část tvořila nalisovaná destička z PKD. Tato břitová destička je přibližně 6x dražší než běžná VBD ze slinutých karbidů, má pouze jednu řeznou část. Trvanlivost nástroje je však násobně vyšší, nástroj si zachovává vysokou ostrost břitu po celou dobu jeho životnosti. Používané vyměnitelné břitové destičky jsou uvedeny v tab. 4.2. Drsnost obrobené plochy dosahuje parametru Rz 1,6  $\mu\text{m}$ .

Tab. 4.2 Soustružnické nástroje používané při výrobě [27].

VBD	DCMT-R 11T0304R	VCMT-R 110304R	TX N 0010.20.2	16 ER 1,25	GX 16-2 E3.00 N 0.30
Vzhled					
Materiál VBD	PDC	PDC	SK - CVX 500	SK - CCN 20	SK - CWK26
Výrobce	WNT	WNT	WNT	WNT	WNT
Počet břitů	1	1	3	3	2
Nástrojový úhel špičky [°]	55	35	7	60	-
Posuv [mm]	0,04 - 0,25	0,05 - 0,25	0,03 - 0,07	1,25	0,05 - 0,20
Trvanlivost břitu [min]	50 - 90	50 - 90	20 - 35	15 - 35	50 - 80
Cena VBD [Kč]	1 874	1 874	204	424	503
Použití	Soustružení průměrů, zarovnání čela, sražení hran	Soustružení průměrů, zarovnání čela, sražení hran	Tvarové zápichy	Vnější závity	Zápichy
Pozice nástroje	T1	T2	T3	T4	T5

Frézovací a vrtací operace byly provedeny monolitními nástroji z SK, nástroje uvedeny v tab. 4.3. Při obrábění nebyly nepoužívány procesní kapaliny k chlazení, z důvodu nasákavosti materiálu. Materiál sklotextit špatně odvádí teplo. Většina tepla z místa řezu je odváděna nástrojem.

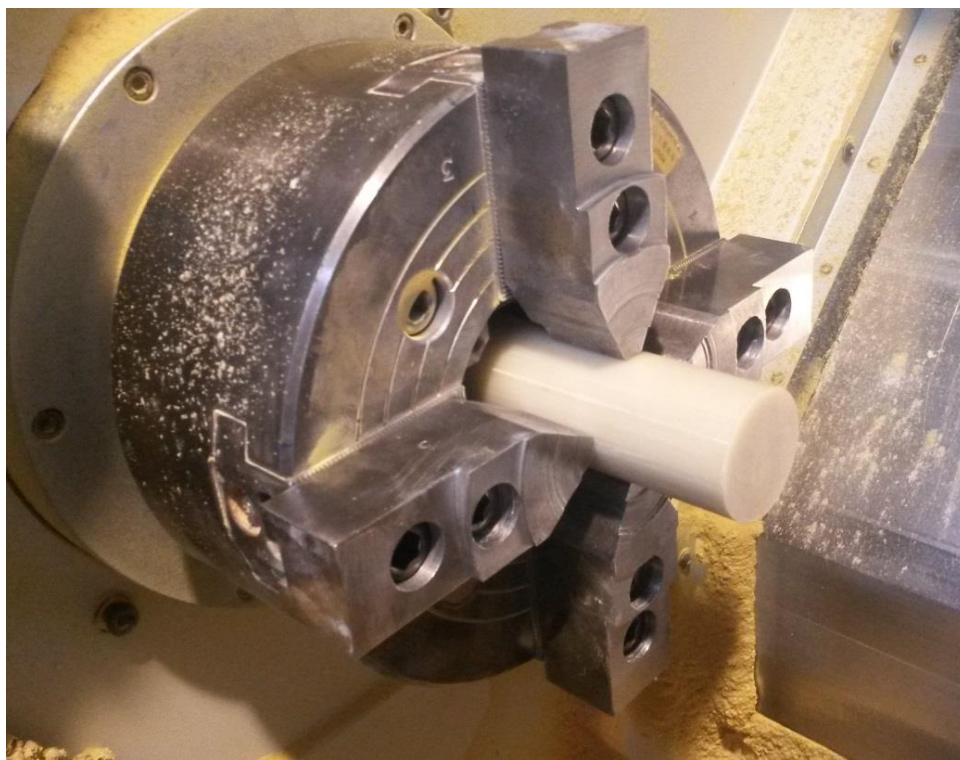
Tab. 4.3 Frézovací a vrtací nástroje používané při výrobě [27, 28].

Nástroj	Stopková fréza ø 12 mm	Odjehlovací fréza 90°	Vrták ø 5 mm
Vzhled			
Nástrojový materiál	Ti 1000	TiAlN	DPX74S
Výrobce	WNT	Garant	WNT
Počet břitů/zubů	4	4	1
Nástrojový úhel špičky [°]	-	90°	140°
Průměr řezné části [mm]	12	10	5
Trvanlivost nástroje [min]	50 - 90	60 - 100	15 - 35
Cena nástroje [Kč]	3 291	1 165	1 170
Použití	Frézování rovinných ploch, dokončovací fréza	Zahloubení otvorů; sražení hran	Vrtání otvorů ø 5 mm
Pozice nástroje	T6	T7	T8

#### 4.5 Postup výroby součásti

Součást byla soustružena na dvě operace. V první operaci byl polotovar upnut v hydraulickém sklíčidle do tvrdých čelistí. Polotovar byl vysunut 40 mm do pracovního prostoru stroje. Nejprve se provedlo zarovnání čela, následně hrubování a dokončení průměrů pro M8, 14 h9, 20 mm, při dokončení byl zhotoven zápich pro výběh závitu M8. Následně byl soustružen závit M8 x 1,25, zápich R1. Polotovar byl oddělen v délce 33 mm, s přídatkem pro zarovnání čela ve druhé operaci.

Ve druhé operaci byl polotovar upnut do hydraulických čelistí za průměr 14 h9 mm (obr. 4.2). Použily se měkké čelisti, aby nedošlo k vytlačení čelistí do polotovaru a znehodnocení již obrobene plochy. V první operaci bylo zarovnáno čelo na konečnou délku 33 mm. Operací vrtání, byl zhotoven  $\varnothing 5$  mm do hloubky 12 mm, následně byla sražena hrana na  $\varnothing 5$  mm, a to  $0,5 \times 45^\circ$ . V poslední operaci bylo provedeno frézování šestihranů. Dílec byl odjehlen ručně a skládán do připravených beden po 500 kusech. Průběžná kontrola při výrobě byla stanovena na 5 % kusů. Technologický postup uveden v tab. 4.4.



Obr. 4.2 Hydraulické upínání.



<b>Číslo výkresu</b>	2016-04-1254-1	<b>Stroj</b>	Topturn S20		
<b>Polotovar</b>	Tyč $\varnothing$ 25 délka 580 mm	<b>Materiál</b>	G10 (EPGC41)		
<b>Zodpovídá</b>	Trčka Radim	<b>List</b>	2/2		
<b>Úkon</b>	<b>Upnutí</b>	<b>Popis úkonu</b>	<b>Nástroj</b>	<b>f [mm]</b>	<b>t<sub>AS</sub> [min]</b>
1.	1	Zarovnat čelo	T1	0,2	0,1
2.	1	Soustružit průměr pro $\varnothing$ 8, $\varnothing$ 14h9, $\varnothing$ 20 v délce 3 mm s přídávkem 0,5 mm	T1	0,25	0,23
3.	1	Soustružit dokončit zarovnání čela; hranu 1x45°; $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 14h9; $\varnothing$ 20; Zápich pro výběh závitu M8	T2	0,22	0,16
4.	1	Soustružit závit M8	T4	1,25	0,26
5.	1	Soustružit tvarový zápich R1	T3	0,05	0,22
6.	1	Dělit polotovar na délku 34 mm;	T5	0,07	0,23
7.	2	Upnout do měkkých čelistí, zarovnat čelo na délku 33 mm	T1	0,2	0,17
8.	2	Vrtat $\varnothing$ 5 mm, hloubka 18 mm	T8	0,15	0,21
9.	2	Zahloubit otvor $\varnothing$ 5 mm 0,5x45°	T7	0,15	0,13
10.	2	Frézovat šestihran	T6	0,1	0,26
11.	2	Srazit hranu šestihranu 0,3x45°	T1	0,2	0,12

#### 4.6 Jednotkový čas strojní $t_{AS}$

Níže jsou uvedeny výpočty strojních časů vybraných operací, časy pro jednotlivé operace jsou uvedeny v tab. 4.6. Vypočítané časy jsou nižší než časy reálné, není započítán čas odjetí nástroje do referenčního bodu a spuštění následující operace.

##### Čelní soustružení [15]:

$D_{\max} = 25 \text{ mm}$ ,  $D_{\min} = 0 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,2 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS1} = \frac{l_n + 0,5 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) + l_p}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (4.1)$$

$$t_{AS1} = \frac{1 + 0,5 \cdot (25 - 0) + 0,5}{1\,500 \cdot 0,2} = 0,052 \text{ min}$$

kde:  $D_{\max}$  – maximální soustružený průměr [mm],

$D_{\min}$  – minimální soustružený průměr [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm].

##### Podélné soustružení $\varnothing 14 \text{ h}9 \text{ mm}$ (hrubování) [30]:

$L = 22 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS2.1} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (4.2)$$

$$t_{AS2.1} = \frac{22}{1\,500 \cdot 0,25} = 0,062 \text{ min}$$

kde:  $L$  – celková délka dráhy nástroje [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm].

##### Podélné soustružení $\varnothing 8 \text{ mm}$ (hrubování):

$L = 12 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS2.1} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (4.3)$$

$$t_{AS2.1} = \frac{12}{1\,500 \cdot 0,25} = 0,04 \text{ min}$$

**Dokončovací soustružení**, se skládalo ze soustružení sražení  $1 \times 45^\circ$  pro náběh závitu, soustružení  $\varnothing 8$  mm; soustružení zápichu G2x0,3 ČSN014960 pro výběh závitu M8x1,25, soustružení  $\varnothing 14$  h9 mm;  $\varnothing 20$  mm.

**Čelní soustružení (dokončení) [15]:**

$D_{\max} = 14,5$  mm,  $D_{\min} = 8$  mm,  $n = 1\,500$   $\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,2$  mm,

$$t_{AS13} = \frac{l_n + 0,5 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (4.4)$$

$$t_{AS3} = \frac{0,5 \cdot (14,5 - 8)}{1\,500 \cdot 0,2} = 0,01 \text{ min}$$

kde:  $D_{\max}$  – maximální soustružený průměr [mm],

$D_{\min}$  – minimální soustružený průměr [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm].

**Soustružení tvarového zápichu R1:**

$D_{\max} = 14$  mm,  $D_{\min} = 13$  mm,  $n = 1\,500$   $\text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,05$  mm,

$$t_{AS13} = \frac{l_n + 0,5 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (4.5)$$

$$t_{AS3} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot (14 - 13)}{1\,500 \cdot 0,2} = 0,04 \text{ min}$$

**Soustružení závitu M8x1,25 [15]:**

Soustružení závitu bylo dle navrženého nástroje realizováno na jedenáct průchodů. Úběry materiálu na každý průchod jsou uvedeny v tab. 4.5.

Tab. 4.5 Úběry materiálu na jednotlivé průjezdy závitem.

Označení destičky	Počet průchodů	První průchod	Druhý až desátý	Jedenáctý průchod
16 ER 1,25	11	0,15	0,1	0,05

$l_{1-11} = 11 \text{ mm}$ ,  $l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $n = 600 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 1,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS4} = \sum_{i=1}^{i=3} \frac{l + l_n}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (4.6)$$

$$t_{AS4} = 11 \cdot \frac{11 + 1}{800 \cdot 1,25} = 0,18 \text{ min}$$

kde:  $l$  – délka závitu [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm].

#### **Frézování šestihranu:**

$D = 12 \text{ mm}$ ,  $l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $l = 10 \text{ mm}$ ,  $z = 4$ ,  $f_z = 0,1 \text{ mm}$ ,  $n = 3 \text{ 500 min}^{-1}$

$$L = l_n + l + D/2 \text{ [mm]} \quad (4.7)$$

$$L = 1 + 10 + 6 = 17 \text{ mm}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.8)$$

$$v_f = 0,08 \cdot 4 \cdot 2 \text{ 500} = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$t_{AS10} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \quad (4.9)$$

$$t_{AS10} = \frac{17}{1 \text{ 000}} = 0,017 \text{ min}$$

$$t_{AS10} = 6 \cdot t_{AS} = 6 \cdot 0,017 = 0,15 \text{ min}$$

kde:  $L$  – dráha nástroje [mm],

$l$  – délka obráběné plochy [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f_z$  – posuv na zub [mm],

$z$  – počet zubů,

$D$  – průměr frézy [mm],

$v_f$  – posuvová rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ].

**Vrtání otvoru  $\varnothing 5$  mm:**

$l = 18$  mm,  $l_n = 1$  mm,  $f = 0,15$  mm,  $n = 1\,500$  min<sup>-1</sup>,

$$t_{AS8} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (4.10)$$

$$t_{AS8} = \frac{18 + 9}{1\,500 \cdot 0,15} = 0,12 \text{ min}$$

kde:  $l$  – hloubka díry [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [min<sup>-1</sup>],  $f$  – posuv [mm].

Tab. 4.6 Jednotkový strojní časy před zefektivněním.

Číslo úkonu	Čas $t_{AS}$ [min]
<b>Upnutí obrobku</b>	0,25
<b>1</b>	0,10
<b>2</b>	0,23
<b>3</b>	0,16
<b>4</b>	0,26
<b>5</b>	0,22
<b>6</b>	0,23
<b>Výměna nástrojů</b>	0,55
<b>Upnutí obrobku</b>	0,25
<b>7</b>	0,17
<b>8</b>	0,21
<b>9</b>	0,13
<b>10</b>	0,26
<b>11</b>	0,12
<b>Výměna nástrojů</b>	0,45
<b>Celkem <math>\Sigma</math></b>	3,54

Čas potřebný pro vyrobení součásti, je součtem jednotkového strojního  $t_{AS}$  a času dávkového času  $t_B$  (přípravný čas).

**Přípravný čas pro první výrobní operaci:**

Do doby přípravy byl zahrnut čas pro nachystání pracoviště pro výrobu součásti, a to zejména uchycení polotovaru a přípravu nástrojů pro daný typ operací.

$$t_{B1} = t_{B11} + t_{B121} + t_{B122} + t_{B123} + t_{B124} + t_{B125} \text{ [min]} \quad (4.11)$$

$$t_{B1} = 15 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6 = 45 \text{ min}$$

kde:  $t_{B11}$  – upínání polotovaru [min],  
 $t_{B12x}$  – příprava nástrojů [min].

#### **Přípravný čas pro druhou výrobní operaci:**

$$t_{B2} = t_{B21} + t_{B221} + t_{B222} + t_{B223} + t_{B224} \text{ [min]} \quad (4.12)$$

$$t_{B2} = 15 + 6 + 6 + 6 + 6 = 39 \text{ min}$$

kde:  $t_{B21}$  – upínání polotovaru [min],  
 $t_{B22x}$  – příprava nástrojů [min].

**Přípravný čas  $t_B$  celkem 84 min.**

### **4.7 Výtěžnost materiálu**

Používaný polotovar, tyč  $\varnothing 25$  mm v délce 580 mm.

Délka polotovaru pro jeden kus:

$$L_p = l_s + P_{\zeta 1} + P_{\zeta 2} + U \text{ [mm]} \quad (4.13)$$

$$L_p = 33 + 1 + 1 + 3 = 38 \text{ mm}$$

kde:  $l_s$  – délka součásti [mm],  
 $P_{\zeta 1}$  – přídavek na zarovnání čela [mm],  
 $P_{\zeta 2}$  – přídavek na zarovnání čela [mm],  
 $U$  – šířka zápichu [mm],  
 $L_p$  – délka polotovaru pro 1 ks [mm].

Počet součástí z jedné tyče:

$$Q = \frac{L_t}{L_p} \text{ [ks]} \quad (4.14)$$

$$Q = \frac{580}{38} = 15,27 \cong 15 \text{ ks}$$

kde:  $L_t$  – délka tyče [mm],  
 $L_p$  – délka polotovaru pro 1 ks [mm],

Ztráta materiálu z nevyužitého konce činila 10,5 mm

## 5 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

Nová technologie výroby byla navržena pro výrobu na dlouhotočném automatu.

### 5.1 Dlouhotočné automaty

Dlouhotočné automaty, nebo také soustruhy švýcarského typu, či soustruhy s posuvným vřeteníkem, nejčastěji slouží k obrábění dlouhých součástí hřídelového typu (délky více než trojnásobku vlastního průměru, omezené prakticky jen délkou tyčového materiálu). Průřez tyče může být kruhový, i vícehranný (čtyřhranný, šestihranný).

Dlouhotočný automat tvoří základna s vřeteníkem, vřeten s upínačem a kleštinou. Celý vřeteník se pohybuje v ose na valivých hnízdech po lineárním vedení. Tento pohyb nazýváme zdvihem vřeteníku. Délka zdvihu vřeteníku neomezuje délku obráběného dílce, zdvih vřeteníku lze opakovat dle potřeby během obrábění. Umožňuje využít zdvihu vřeteníku i pro krátké dílce. Na jeden zdvih je možné postupně obrobit a upíchnout více krátkých součástí. Díky poháněnému vodicímu pouzdru, které tyč obepíná, udržuje ji také ve stejných otáčkách, jako jsou otáčky vřetene, je možné provést zdvih vřeteníku, tedy otevření kleštiny a posuv vřeteníku v ose směrem zpět a opětovné upnutí materiálu, bez nutnosti zastavení vřetene.

Standardem jsou vybaveny dlouhotočné automaty dvěma vřeteny. Součást lze přepínat do sekundárního vřetene za plných otáček. Materiál kulatý, čtyřhranný, nebo šestihranný. Dále jsou vybaveny C osami, poháněnými nástroji s velkým množstvím nástrojových poloh. Automatickými podavači polotovarů s vlastním odměřováním a zásobníkem. Lze provádět operace soustružení, frézování, vrtání, válečkování a podobné technologie.

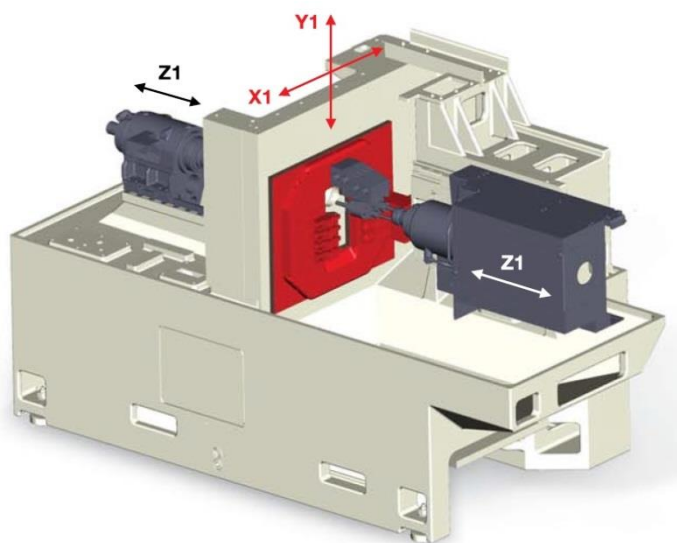
V límci stroje, který odděluje vřeteník od pracovního prostoru stroje, je umístěno vodící pouzdro, které tvarem připomíná kleštinu. Toto vodící pouzdro se seřizuje mechanicky na průměr právě používané tyče tak, aby ji těsně obepínalo. Mezi vnitřním průměrem vodícího pouzdra a vnějším průměrem tyče, je požadována minimální vůle. Jsou doporučovány polotovary tyče o přesnosti průměru v toleranci  $h9$ , případně přesnější. Pokud tyč v požadované toleranci nelze zajistit, například u vícehranu, nebo kulatých tyčí z nestandardních materiálů, lze použít vodící pouzdro pneumatické.

Na límci kolem vodícího pouzdra je umístěn nástrojový support, u některých typů strojů i více nezávislých nástrojových supportů. Díky tomuto rozmístění se nástroje v řezu střídají pouze posunutím nástrojové desky do své pozice. Na rozdíl od revolverového

soustruhu, kde nástrojová hlava musí nejprve odjet s nástrojem do bodu výměny nástroje, otočit se do nové polohy a potom teprve přijet zpět do pracovní polohy [20].

## 5.2 Dlouhotočný automat Manurhin K'MX 432

Stroje Manurhin od firmy TAJMAC-ZPS, a.s. (obr. 5.2) umožňují obrábění technologiemi soustružení, vrtání a frézování (v různých pracovních rovinách rovnoběžných, nebo kolmých k ose rotace). Obrobení polotovaru na stroji je rozděleno na obrábění na hlavním vřetení a obrábění na protivřetení. Tento automat je určen pro obrábění součástí z tyče do průměru 32 mm. Je vybaven dvěma elektrovřeteny a rotačním vodícím pouzdrem, synchronizovaným s hlavním vřetenem. Čtyři lineární CNC řízené osy (X1, Y1, Z1, Z2) a dvě rotační osy (C1, C2) umožňují obrábět i tvarově složitější dílce (obr. 5.1). Stroj je vybaven řídicím systémem Fanuc, umožňuje obsluhu programovat v ISO kódu [21].



Obr. 5.1 Pracovní prostor stroje Manurhin K'MX 432 [21].

Hotové dílce jsou z pracovního prostoru odváděny pomocí pneumaticky ovládané lopatky. Rameno lopatky je seřiditelné a umožňuje odebrání obrobků z hlavního i sekundárního vřetení. Lopatka se používá pro dílce do délky 170 mm. Delší dílce je možno vyvádět skrz sekundární vřetení. Dílec je lopatkou vyveden mimo krytování stroje, což umožňuje okamžitou manipulaci s obrobkem a jeho okamžité měření bez zastavení stroje. Základní parametry stroje uvedeny v tab. 5.1 [21].

Tab. 5.1 Parametry stroje Manurhin K'MX 432 [21].

	Hodnoty	Jednotky
<b>Hlavní vřeteno</b>		
Maximální průměr tyče	32	[mm]
Vrtání vřetena	37	[mm]
Výkon elektrovřetena	3,7	[kW]
Maximální otáčky elektrovřetena	10 000	[min <sup>-1</sup> ]
Max. délka obrábění na jeden zdvih	400	[mm]
<b>Pomocné (sekundární) vřeteno</b>		
Maximální průchod tyče	32	[mm]
Vrtání vřetena	37	[mm]
Maximální otáčky elektrovřetena	10 000	[min <sup>-1</sup> ]
Výkon elektrovřetena	3,7	[kW]
Zdvih sekundárního vřeteníku	260	[mm]
<b>Další</b>		
Rychloposuv	30	[m/min]
Počet řízených lineárních os	4	-
Počet nástrojů	10	-
Rozměr nástroje pro externí obrábění	16 x 16	[mm]
Maximální délka dílce pro vyhození dopředu	170	[mm]
Rozměry stroje	3 000x1 370x2 200	[mm]
Hmotnost stroje	4 200	[mm]



Obr. 5.2 CNC stroj Manurhin K'MX 432.

### 5.3 Polotovar pro výrobu součástí

Pro výrobu součástí na dlouhotočném automatu s podavačem je výhodné používat tyče v délkách 3 až 4 metry, dle možnosti podavače. Část tyče ve vodicím pouzdře zůstává nevyužita a je odvedena do odpadu. Proto byla u výrobce poptána tyč z materiálu Sklotextit G10 (EPGC41), v maximální možné délce. Tyč v délce 2 750 mm.

Stroj je vybaven mechanickým vodicím pouzdrem, a proto průměr dodávaných tyčí musí být v toleranci h9 a přesnější. Výrobce dodává tyče  $\varnothing 25$  mm v toleranci +1 mm, tím tedy vzniká problém při přechodu výroby na dlouhotočný automat. Tyče je nutné brousit na požadovaný rozměr  $\varnothing 25$  h9. Pro zajištění bezproblémového nasunutí tyče do vodicího pouzdra byla sražena hrana na obou koncích cca  $3 \times 45^\circ$ , tato hrana byla při zarovnání čela prvního kusu z tyče upíchnuta. Sražení hrany  $3 \times 45^\circ$  provedla obsluha stroje ruční bruskou, před plněním tyčí do zásobníku.

### 5.4 Postup výroby součástí

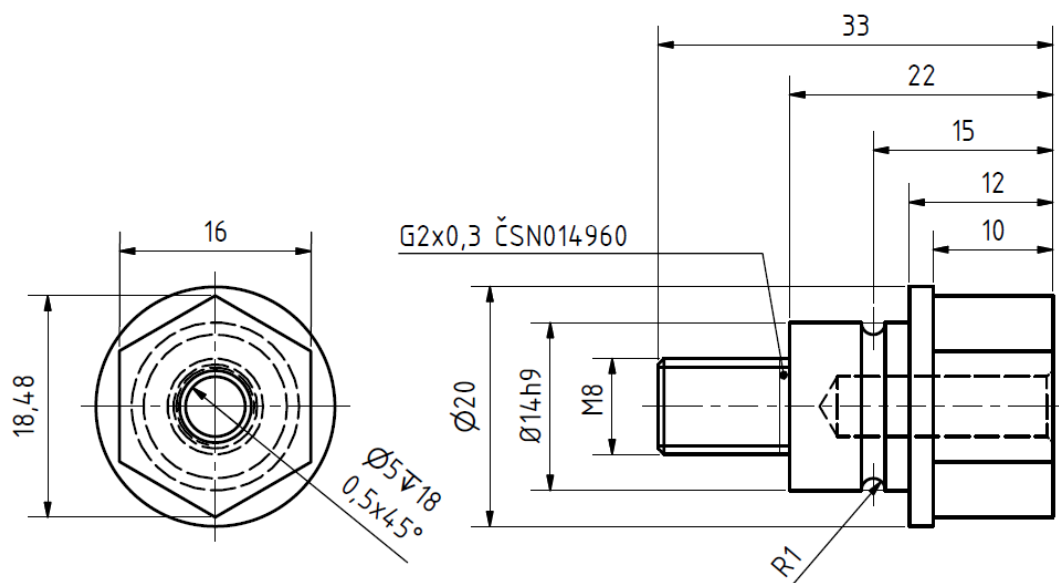
Výroba součástí na dlouhotočném automatu se lišila od předchozí technologie výroby zejména v následujících bodech.

1. Automatickým zásobníkem tyčí, který lze naplnit až dvanácti tyčemi v délce 2 750 mm, a průběžně je doplňovat bez zastavení stroje. Počet tyčí v zásobníku je omezen délkou tyče do čtyř metrů a počtem tyčí vedle sebe dle průměru tyče.
2. Řízeným podavačem tyčí s odměřováním délky zdvihu. Tyč je vysouvána do pracovního prostoru v potřebné délce pro danou operaci.
3. Nástroje jsou upnuty v nástrojové desce, střídají se v řezu posunutím desky v jedné ose. Stroj je vybaven dvěma vřeteny, přepnutí obrobku probíhá v plných otáčkách, není nutné stroj zastavovat.
4. Hotový výrobek je z pracovního prostoru odebrán pomocí automatické lopatky od prostoru mimo stroj. V průběhu odvádění obrobku se obrábí již další součást.
5. Stroj je vybaven mechanicky seřiditelnými kleštinami a vodicím pouzdrem, průměr vkládaného polotovaru v toleranční třídě h9.

Technologický postup výroby součástí s použitými nástroji je uveden v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Výrobní průvodka.

<b>Číslo výkresu</b>	2016-04-1254-1	<b>Stroj</b>	Manurhin K'MX 432
<b>Polotovár</b>	Tyč ø 25 délka 2 750 mm	<b>Materiál</b>	G10 (EPGC41)
<b>Zodpovídá</b>	Trčka Radim	<b>List</b>	1/2



Pozice	Nástroj	VBD	Nástrojový materiál
T1	Stranový nůž pravý SDJC R 16/16 H11	DCMT-R 11T0304R	PDC
T2	Stranový nůž pravý SVJC R/L 1616 H11	VCMT-R 110304R	PDC
T3	Zapichovací nůž R1 R/L 207.1616.2	TX N 0010.20.2	CWX 500
T4	Závitový nůž SER 16/16 H16	16 ER 1,25	CCN 20
T5	Upichovací nůž E16 R 0012-1616K- GX16-1	GX 16-2 E3.00 N 0.30	CWK 26
T6	Stopková fréza ø 12 mm	-	Ti 1000
T7	Odjehlovací fréza 90°	-	TiAlN
T8	Vrták ø 5 mm	-	DPX74S

Číslo výkresu	2016-04-1254-1	Stroj	Manurhin K'MX 432		
Polotovar	Tyč $\varnothing$ 25 délka 2 750 mm	Materiál	G10 (EPGC41)		
Zodpovídá	Trčka Radim	List	2/2		
Úkon	Upnutí (vřeteno / protivřeteno)	Popis úkonu	Nástroj	f [mm]	t <sub>as</sub> [mm]
1.	1	Technologický úpich prvního kusu z tyče	T1	0,07	0,005
2.	1	Soustružit $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 14h9; $\varnothing$ 20 s přídavkem 0,5 mm	T1	0,25	0,21
3.	1	Soustružit dokončit zarovnaní čela; hranu 1x45°; $\varnothing$ 8; $\varnothing$ 14h9; $\varnothing$ 20; Zápich pro výběh závitu M8	T2	0,22	0,15
4.	1	Soustružit závit M8	T4	1,25	0,24
5.	1	Soustružit tvarový zápich R1	T3	0,05	0,21
6.	1	Frézovat šestihran v délce 12 mm	T6	0,08	0,42
7.	1/2	Upnout polotovar do protivřetene, za $\varnothing$ 14H9; upíchnout polotovar v délce 33 mm	T5	0,07	0,20
8.	2	Vrtat $\varnothing$ 5 mm, hloubka 18 mm	T8	0,15	0,19
9.	2	Zahloubit otvor $\varnothing$ 5 mm 0,5x45°	T7	0,15	0,12
10.	2	Srazit hranu šestihranu 0,3x45°	T1	0,2	0,11

### 5.5 Jednotkový čas strojní $t_{AS}$

Níže jsou uvedeny výpočty strojních časů vybraných operací. Časy pro jednotlivé operace jsou uvedeny v tab. 5.4. Vypočítané časy jsou nižší než časy reálné, ve vzorcích není započítán čas výměny nástroje a spuštění následující operace.

#### Technologický zápis [15]:

$D_{max} = 25 \text{ mm}$ ,  $D_{min} = 0 \text{ mm}$ ,  $n = 800 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,07 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS1t} = \frac{ln + 0,5 \cdot (D_{max} - D_{min}) + l_p}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.1)$$

$$t_{AS1t} = \frac{1 + 0,5 \cdot (25 - 0) + 0,5}{800 \cdot 0,07} = 0,25 \text{ min}$$

kde:  $t_{AS}$  – jednotkový čas strojní [min],

$D_{max}$  – maximální soustružený průměr [mm],

$D_{min}$  – minimální soustružený průměr [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm].

Strojní čas je stanoven pro celou tyč, z tyče lze vyrobit 67 ks:

$$t_{AS1} = \frac{t_{AS1t}}{Q} [\text{min}] \quad (5.2)$$

$$t_{AS1} = \frac{0,25}{67} = 0,005 \text{ min}$$

kde:  $t_{AS1}$  – jednotkový strojní čas pro celou tyč [min],

$Q$  – množství kusů z jedné tyče [ks].

#### Podélné soustružení $\varnothing 14 \text{ h}9 \text{ mm}$ (hrubování) [30]:

$L = 22 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS2.1} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.3)$$

$$t_{AS2.1} = \frac{22}{1\,500 \cdot 0,25} = 0,062 \text{ min}$$

**Podélné soustružení ø 8 mm (hrubování) [30]:**

$L = 12 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS2.1} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.4)$$

$$t_{AS2.1} = \frac{12}{1\,500 \cdot 0,25} = 0,04 \text{ min}$$

**Dokončovací soustružení**, sestávalo ze soustružení sražení  $1 \times 45^\circ$  pro náběh závitu, soustružení ø 8 mm; soustružení zápichu G2x0,3 ČSN014960 pro výběh závitu M8x1,25, soustružení ø 14 h9 mm; ø 20 mm.

**Čelní soustružení (dokončení) [15]:**

$D_{\max} = 14,5 \text{ mm}$ ,  $D_{\min} = 8 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,2 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS3} = \frac{\ln + 0,5 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) + l_p}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.5)$$

$$t_{AS3} = \frac{0,5 \cdot (14,5 - 8)}{1\,500 \cdot 0,2} = 0,01 \text{ min}$$

**Soustružení tvarového zápichu R1:**

$D_{\max} = 14 \text{ mm}$ ,  $D_{\min} = 13 \text{ mm}$ ,  $n = 1\,500 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 0,05 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS3} = 2 \cdot \frac{\ln + 0,5 \cdot (D_{\max} - D_{\min}) + l_p}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.6)$$

$$t_{AS3} = 2 \cdot \frac{0,5 \cdot (14 - 13)}{1\,500 \cdot 0,2} = 0,04 \text{ min}$$

**Soustružení závitu M8x1,25:**

Soustružení závitu bylo dle navrženého nástroje realizováno na jedenáct průchodů. Úběry materiálu na každý průchod jsou uvedeny v tab. 5.3.

Tab. 5.3 Úběry materiálu na jednotlivé průjezdy závitem.

Označení destičky	Počet průchodů	První průchod	Druhý až desátý	Jedenáctý průchod
16 ER 1,25	11	0,15	0,1	0,05

$l_{1-11} = 11 \text{ mm}$ ,  $l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $n = 600 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 1,25 \text{ mm}$ ,

$$t_{AS4} = \sum_{i=1}^{i=3} \frac{l + l_n}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (5.7)$$

$$t_{AS4} = 11 \cdot \frac{11 + 1}{800 \cdot 1,25} = 0,18 \text{ min}$$

kde:  $l$  – délka závitu [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f$  – posuv [mm].

#### **Frézování šestihranu:**

$D = 12 \text{ mm}$ ,  $l_n = 1 \text{ mm}$ ,  $l = 10 \text{ mm}$ ,  $z = 4$ ,  $f_z = 0,08 \text{ mm}$ ,  $n = 3 \text{ 500 min}^{-1}$ ,

$$L = l_n + l + D/2 \text{ [mm]} \quad (5.8)$$

$$L = 1 + 10 + 6 = 17 \text{ mm}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.9)$$

$$v_f = 0,08 \cdot 4 \cdot 2 \text{ 500} = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$t_{AS10} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \quad (5.10)$$

$$t_{AS10} = \frac{17}{800} = 0,021 \text{ min}$$

$$t_{AS10} = 6 \cdot t_{AS} = 6 \cdot 0,021 = 0,126 \text{ min}$$

kde:  $L$  – dráha nástroje [mm],

$l$  – délka obráběné plochy [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ],

$f_z$  – posuv na zub [mm],

$z$  – počet zubů,

$D$  – průměr frézy [mm],

$v_f$  – posuvová rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ].

**Vrtání otvoru  $\varnothing 5$  mm:**

$L = 18$  mm,  $l_n = 1$  mm,  $f = 0,15$  mm,  $n = 1\,500$  min<sup>-1</sup>,

$$t_{AS8} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (5.11)$$

$$t_{AS8} = \frac{18 + 9}{1500 \cdot 0,15} = 0,12 \text{ min}$$

kde:  $l$  – hloubka díry [mm],

$l_n$  – délka náběhu [mm],

$n$  – otáčky [min<sup>-1</sup>],

$f$  – posuv [mm].

Tab. 5.4 Jednotkové strojní časy po zefektivnění.

Číslo úkonu	Čas $t_{AS}$ [min]
<b>Uchycení tyče</b>	0,01
<b>1</b>	0,005
<b>2</b>	0,21
<b>3</b>	0,15
<b>4</b>	0,24
<b>5</b>	0,21
<b>6</b>	0,42
<b>Výměna nástrojů</b>	0,17
<b>7</b>	0,20
<b>8</b>	0,19
<b>9</b>	0,12
<b>10</b>	0,11
<b>Výměna nástrojů</b>	0,14
<b>Celkem <math>\Sigma</math></b>	2,175

**Přípravný čas pro seřízení stroje**

Do doby přípravy byl zahrnut čas pro nachystání pracoviště pro výrobu součásti, a to zejména montáž kleštin a vodícího pouzdra, nastavení podavače, upnutí nástrojů, odladění operací.

**Přípravný čas celkem 960 min.**

### **5.6 Výtěžnost materiálu**

Používaný polotovar, tyč  $\varnothing 25$  mm v délce 2 750 mm.

**Délka polotovaru pro jeden kus:**

$$L_p = l_s + P_{\check{c}1} + U \text{ [mm]} \quad (5.12)$$

$$L_p = 33 + 1 + 3 = 37 \text{ mm}$$

kde:  $L_p$  – délka polotovaru [mm],  
 $l_s$  – délka součásti [mm],  
 $P_{\check{c}1}$  – přídavek na zarovnání čela [mm],  
 $U$  – šířka zápichu [mm].

**Počet součástí z jedné tyče:**

$$Q = \frac{L_t - 270}{L_p} \text{ [ks]} \quad (5.13)$$

$$Q = \frac{2\,750 - 270}{37} = 67,05 \cong 67 \text{ ks}$$

kde:  $Q$  – počet součástí [ks],  
 $L_t$  – délka tyče [mm],  
 $L_p$  – délka polotovaru pro 1 ks [mm].

Ztráta materiálu z nevyužitého konce činila 271 mm. Firma zbytek materiálu využila na výrobu jiných výrobků.

## 6 NÁKLADY NA VÝROBU SOUČÁSTI

Náklady jsou stanoveny na jeden kus výrobku, a to ze vstupní ceny materiálu a pracnosti výroby součásti na CNC stroji. Pro výpočet ceny práce poskytuje podklady hodinová sazba stroje. Výše sazby byla stanovena z nákladů fixních a variabilních, nákladů na mzdy, údržbu a opravy a výrobní režie.

Fixní náklady jsou náklady přímo související se strojem. Zejména pořizovací cena stroje, náklady na instalaci, odpisy. Do variabilních nákladů spadají náklady na nástroje, elektrickou energii, procesní kapaliny, odsávání a náklady na likvidaci nebezpečného odpadu. Ve výrobní režii jsou zahrnuty náklady, které nejsou přímo spjaté s výrobou na daném stroji, jako např. provoz nevýrobních budov, mzdy administrativních pracovníků, náklady na provoz a údržbu společných prostor.

### 6.1 Náklady na jednotkovou práci

Náklady na jednotkovou práci jsou náklady vztažené na výrobu jednoho kusu dané součásti. Tyto náklady se dělí na náklady na jednotku strojní práce a náklady na jednotku vedlejší práce. Jsou závislé zejména na jednotkovém strojním času. Jednotkový čas je závislý na výrobním čase součásti, který je složen z obráběcích časů jednotlivých operací, čas na upínání obrobku, čas výměny nástroje, čas měření součásti v průběhu výroby [7]. Dále do skupiny časů spadá čas na seřízení a případnou výměnu opotřebovaných nástrojů. Přípravné časy na seřízení stroje, příprava nástrojů, vztahují se na celou výrobní dávku. Zde se předpokládají největší rozdíly mezi dvěma zvolenými technologiemi výroby součásti.

### 6.2 Náklady na nástroje

Náklady na nástroje jsou vypočítány z ročního množství nakoupených nástrojů, rozpočítané mezi stroje a roční časové vytížení jednotlivých strojů. Tato hodnota se blíží obecně stanovené hodnotě výrobcem nástrojů, firmou Sandvik s.r.o., která uvádí, že cena nástroje se pohybuje v rozmezí 3 až 5 % z celkové minutové sazby stroje [22]. Pro porovnání daných operací cena nástroje nemá vliv, pro obě zvolené technologie výroby jsou použity stejné VBD a nástroje. Rozdíl je pouze v držácích pro VBD, tyto držáky však mají mnohonásobně vyšší životnost než VBD, rozdíl ceny zanedbatelný.

### 6.3 Náklady na materiál

K výpočtu nákladů na materiál se využívá norma spotřeby materiálu. Materiál je jeden z nejdůležitějších činitelů pro zhotovení dané součásti. Rozdíl polotovaru je zejména v rozdílných použitých délkách tyče a její využitelnosti. Do ceny vstupního materiálu pro dlouhotočný automat je zahrnuta i cena za kalibraci na požadovaný průměr.

### 6.4 Režijní náklady

Režijní náklady jsou děleny na fixní (odpisy, mzdy technickohospodářských pracovníků, náklady na vytápění, osvětlení), které se nemění při kolísání výroby, a variabilní (spotřeba materiálu, mzdy výrobních pracovníků), které jsou úměrné počtu vyrobených výrobků. Za režijní náklady jsou označeny takové, které jsou společné pro více výkonů a nelze je jednoznačně přiřadit k jedné vyráběné součásti. Pro zlepšení ekonomických propočtů a optimalizace je zapotřebí podrobnějšího rozboru těchto nákladů.

V podnicích se mohou vyskytovat určité rozdíly, zpravidla však k těmto režijním nákladům patří následující položky [23, 24].

**Režijní materiál** - veškerý spotřebovaný materiál, který nemá přímý vztah k materiálu výrobku. Tedy nejčastěji mazivo, technologické kapaliny (řezné kapaliny), ochranné pomůcky a další.

**Nástroje a nářadí** - přípravky a nástroje, společné a univerzální nářadí, které nejsou určeny, jako speciální vybavení pro daný výrobek. Může se jednat o měřidla, kalibry, univerzální upínače a další.

#### **Odpisy nehmotného a hmotného investičního majetku**

**Režijní mzdy** - mzdy režijních pracovníků, někdy také i mzdy všech pracovníků středisek, ve kterých jsou pracovníci placeni podle hodinového tarifu, bez ohledu na množství odvedené práce. Zejména administrativní pracovníci, zaměstnanci managementu a vedení podniku, expedice, přeprava. Ve mzdách je zahrnuto sociální a zdravotní pojištění, bonusy a benefity.

**Energie** - elektrická energie potřebná pro provoz budov, osvětlení společných prostor, vytápění. Případně plyn, tuhá paliva.

**Opravy a údržba** - obvykle nejsou tyto náklady vztaženy k jednotlivým obráběcím strojům.

**Náklady prostoru** - náklady na prostor. Pokud je prostor vlastní, daň z nemovitosti, pojištění, náklady na údržbu a opravy. Prostor v podnájmu, náklady na nájem budovy.

**Ostatní služby** - náklady dalších nevýrobních a výrobních režijních služeb.

**Školení a vzdělávání** – školení pracovníků na nové technologie, software, bezpečnost práce, školení řidičů, školení pro manipulaci s přepravní technikou.

**Odpad** - náklady na likvidaci odpadu (řezných kapalin)

**Ostatní** - náklady na reklamace, režijní cestovné, náklady na zmetky a podobně.

### 6.5 Sazba CNC stroje

V pořizovací ceně stroje je zahrnuta cena za dopravu, instalaci stroje a nahrání a zprovoznění softwaru. Odpisová doba je zvolena na pět let lineárním odepisováním, CNC stroj spadá do druhé odpisové skupiny. Cena za demontáž stroje není zahrnuta, firma plánuje využívat stroj i po uplynutí odpisové doby pěti let. Prostory firma vlastní, není tedy zahrnuta cena za nájemné. V potaz se bere cena za plochu, podíl nákladů na provoz budovy a pojistné. Náklady na elektrickou energii vycházejí ze spotřeby stroje a elektrické energie spotřebované pro výrobu stlačeného vzduchu. Náklady na nástroje jsou spočítány z průměrných ročních nákladů, rozpočítaných mezi jednotlivé stroje, spadají sem i náklady na broušení nástrojů a dílenská měřidla. Náklady na opravy a údržbu jsou stanoveny z hodinové sazby na servis a průměrné roční poruchovosti stroje.

V nákladech na obsluhu stroje jsou zahrnuty náklady na operátory, firemní benefity, nemocenská, pojištění. Musí být započítána také doba dovolené a případné nemocenské, kdy se najímají pracovní externí. K vypočítaným nákladům na provoz stroje jsou přičteny náklady režijní.

Podnik vyrábí na dvousměnný provoz, při stanovení minutové sazby je také však počítáno s variantou, kdy nejsou plně vytiženy výrobní kapacity, tudíž může dojít k redukci na jednosměnný provoz.

### 6.5.1 Sazba stroje Topturn S20

V tab. 6.1 jsou uvedeny náklady na provoz stroje Topturn S20. Standardem používaná hodinová sazba stroje byla převedena na sazbu minutovou, z důvodu krátkých výrobních časů dané součásti Spojovací válec.

Tab. 6.1 Sazba stroje Topturn S20.

	Jednotka	Jednosměnný provoz	Dvousměnný provoz
<b>Odpisy</b>	[Kč/hod]	195,6	97,8
<b>Plocha</b>	[Kč/hod]	18,6	18,6
<b>Energická energie</b>	[Kč/hod]	75,0	75,0
<b>Odsávání</b>	[Kč/hod]	15,0	15,0
<b>Nástroje</b>	[Kč/hod]	70,8	70,8
<b>Opravy a údržba</b>	[Kč/hod]	195,0	195,0
<b>Řezné kapaliny</b>	[Kč/hod]	1,2	1,2
<b>Mzdy operátora</b>	[Kč/hod]	221,4	221,4
<b>Ostatní náklady na zaměstnance</b>	[Kč/hod]	72,0	72,0
<b>Režijní náklady</b>	[Kč/hod]	249,6	249,6
<b>Provozní náklady bez odpisů</b>	[Kč/hod]	918,6	918,6
<b>Hodinová sazba stroje</b>	[Kč/hod]	1 115,0	1017,0
<b>Minutová sazba stroje</b>	[Kč/min]	18,6	16,9

### 6.5.2 Sazba stroje Manurhin K'MX 432

Navrhovaná varianta technologie výroby počítala s podobnými hodnotami, při výpočtu hodinové sazby stroje jako tomu bylo u technologie výroby stávající, hodnoty uvedeny v tab. 6.2. Rozdílné hodnoty byly v pořizovací ceně stroje, které se promítly do odpisů, v ploše určené pro výrobní stroj a ve mzdě obsluhy. Bylo počítáno s dvoustrojovou obsluhou. U nově navržené technologie, se také převedla hodinová sazba na sazbu minutovou, se kterou se dále počítalo v nákladech na výrobu jednoho kusu součásti Spojovací válec.

Tab. 6.2 Sazba stroje Manurhin K'MX 432.

	<b>Jednotka</b>	<b>Jednosměnný provoz</b>	<b>Dvousměnný provoz</b>
<b>Odpisy</b>	[Kč/hod]	392,4	196,2
<b>Plocha</b>	[Kč/hod]	25,2	25,2
<b>Energická energie</b>	[Kč/hod]	57,0	57,0
<b>Odsávání</b>	[Kč/hod]	15,0	15,0
<b>Nástroje</b>	[Kč/hod]	70,8	70,8
<b>Opravy a údržba</b>	[Kč/hod]	195,0	195,0
<b>Řezné kapaliny</b>	[Kč/hod]	1,2	1,2
<b>Mzdy operátora</b>	[Kč/hod]	111,0	111,0
<b>Ostatní náklady na zaměstnance</b>	[Kč/hod]	48,0	48,0
<b>Režijní náklady</b>	[Kč/hod]	249,6	249,6
<b>Provozní náklady bez odpisů</b>	[Kč/hod]	796,8	796,8
<b>Hodinová sazba stroje</b>	[Kč/hod]	1190,0	993,0
<b>Minutová sazba stroje</b>	[Kč/min]	19,8	16,6

## 6.6 Odpisy stroje

Odpisová hodnota vychází z rovnoměrného průběhu opotřebení stroje. Odpisy se přenášejí do nákladů rovnoměrně během ekonomické životnosti stroje. V praxi obvykle nedochází k rovnoměrnému opotřebení stroje, i přesto tato metoda zachycuje realitu lépe, než jiné výpočty opotřebení [25]. Základní výpočet odpisu dle této metody je uveden v rovnici (6.1 a 6.2), kde je zahrnuta pouze doba ekonomické životnosti a pořizovací cena. K výpočtu hodinových nákladů je do vzorce zaveden efektivní časový fond stroje a směnnost chodu stroje:

$$N_{odp1} = \frac{Ce}{F_{fe} \cdot S} \quad [Kč/hod] \quad (6.1)$$

$$N_{odp1} = \frac{1\,952\,000}{5 \cdot 2\,000.2}$$

$$N_{odp1} = 97,6 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$$

$$N_{odp2} = \frac{\frac{C_e}{z}}{F_{fe} \cdot S} \text{ [Kč/hod]} \quad (6.2)$$

$$N_{odp2} = \frac{\frac{3\,925\,000}{5}}{2\,000.2}$$

$$N_{odp2} = 196,25 \text{ Kč.hod}^{-1}$$

kde:  $N_{odp1}$  – náklady na odpis stroje Topturn S20 [Kč/hod],

$N_{odp2}$  – náklady na odpis stroje Manurhin K'MX 432 [Kč/hod],

$C_e$  – cena stroje [Kč],

$F_{fe}$  – efektivní časový fond stroje [hod],

$z$  – životnost stroje [roky],

$S$  – počet směn.

## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro stanovení vhodnější technologie výroby pro daný typ součásti, je spočítána cena, za kterou je možné součást vyrobit. Výrobní množství 500 ks, 1 000 ks, 5 000 ks, 20 000 ks, 40 000 ks a 100 000 ks.

### 7.1 Stanovení nákladové ceny jednoho kusu pro stávající technologii

Konečná nákladová cena součásti je tvořena cenou za opracování na stroji a cenou materiálu. Cena za opracování se skládá z přípravného času, rozděleného do celé výrobní dávky a času výroby. Výsledné časy jsou násobeny minutovou sazbou stroje. Výsledná cena součásti pro jednotlivé velikosti výrobní dávky je uvedena v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Cena celkem pro jednotlivé výrobní dávky.

Počet kusů [ks]	Sazba [Kč/min]	Příprav. čas [min]	Příprava cena 1ks [Kč]	Čas výroby 1ks [min]	Cena výroby 1ks [Kč]	Materiál [Kč]	Cena celkem [Kč]
500	16,94	84	2,85	3,54	59,97	14,1	76,91
1 000	16,94	84	1,42	3,54	59,97	14,1	75,49
5 000	16,94	84	0,28	3,54	59,97	14,1	74,35
20 000	16,94	84	0,07	3,54	59,97	14,1	74,14
40 000	16,94	84	0,04	3,54	59,97	14,1	74,10
100 000	16,94	84	0,01	3,54	59,97	14,1	74,08

### 7.2 Stanovení nákladové ceny jednoho kusu pro navrhovanou technologii

Výsledná cena součásti je stanovena stejně jako u stroje Topturn S20. Cena za materiál je navýšena o dodatečnou kalibraci tyčí na průměr 25 h9 mm. Kalibrace je prováděna v kooperaci, liší se na základě množství kalibrovaných tyčí (rozdílná cena dle velikosti výrobní dávky, doprava).

V tab. 7.2 jsou celkové náklady na výrobu, je navíc uvedena položka nákup kleštin a vodícího pouzdra pro průměry dle součásti, celkem 16 500 Kč.

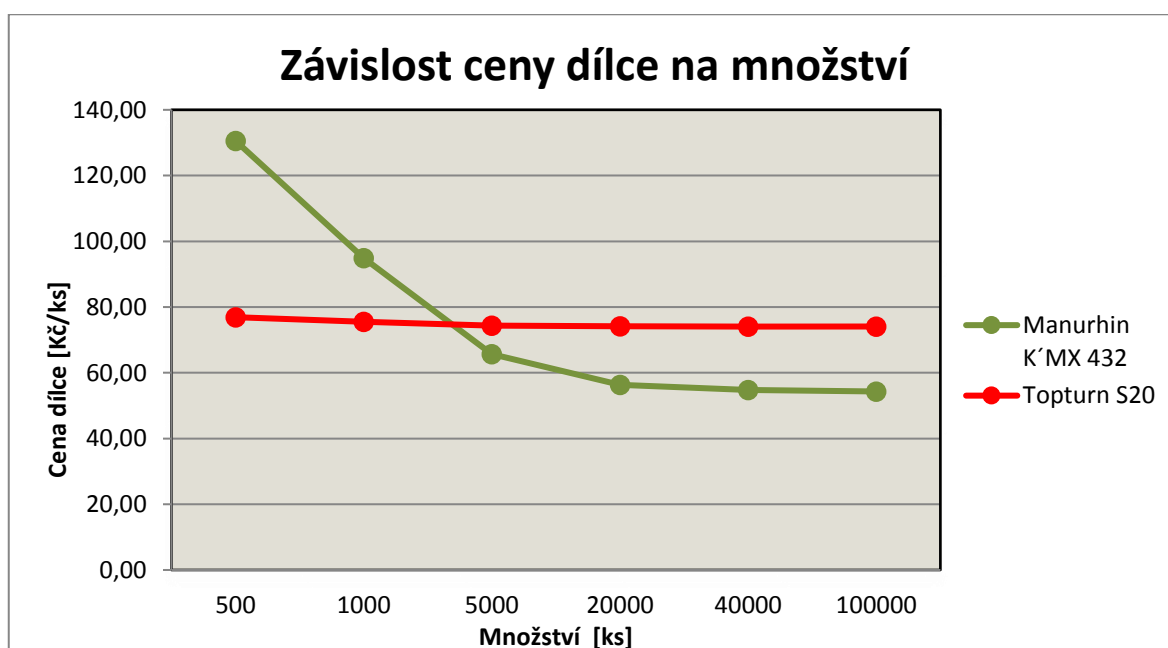
Tab. 7.2 Cena celkem pro jednotlivé výrobní dávky.

Počet kusů [ks]	Upínání [Kč/ks]	Sazba [Kč/min]	Příprav. čas [min]	Příp. 1ks [Kč]	Čas výroby 1ks [min]	Výroba cena 1ks [Kč]	Materiál [Kč]	Cena celkem [Kč]
500	33,00	16,55	960	31,78	2,175	36,00	29,8	130,57
1 000	16,50	16,55	960	15,89	2,175	36,00	26,5	94,88
5 000	3,30	16,55	960	3,18	2,175	36,00	23,2	65,67
20 000	0,83	16,55	960	0,79	2,175	36,00	18,7	56,32
40 000	0,41	16,55	960	0,40	2,175	36,00	18	54,81
100 000	0,17	16,55	960	0,16	2,175	36,00	18	54,32

### 7.3 Porovnání výrobních variant

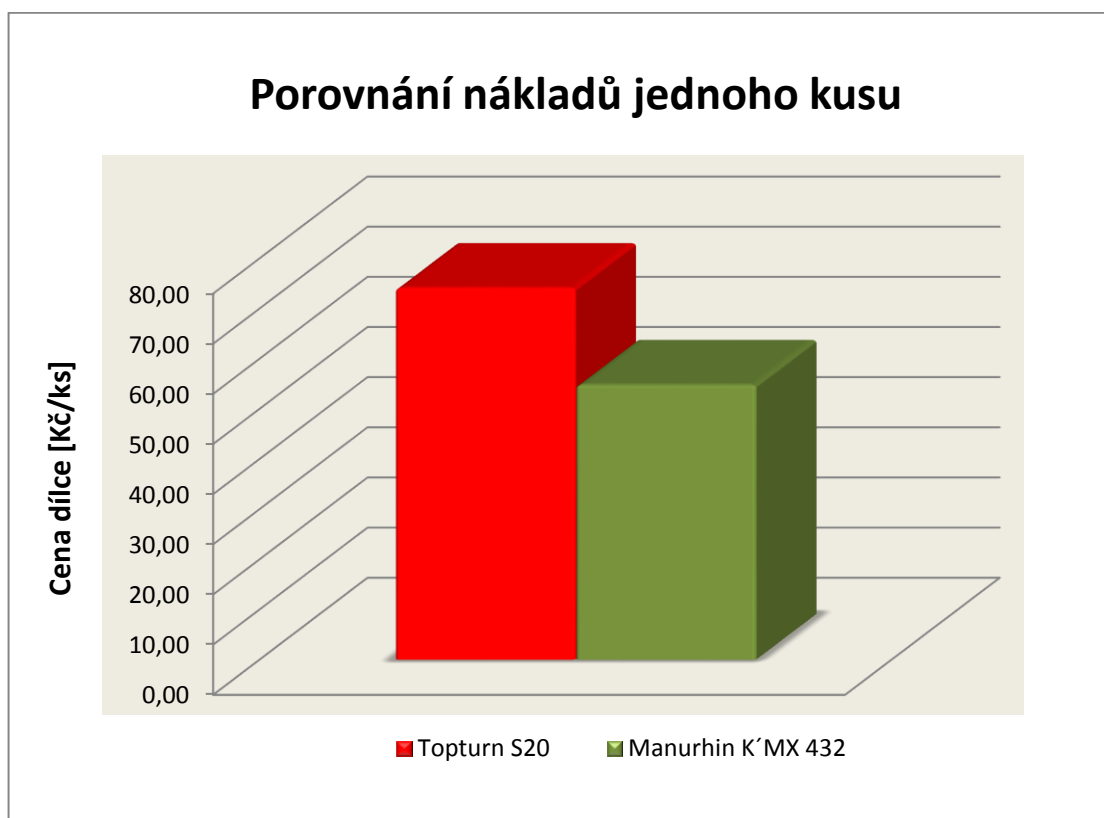
Na základě výrobního množství je stanovena nákladová cena jednoho kusu dílce. Výrobní množství a příslušná cena dílce je vynesena v grafické závislosti na obr. 7.1. Z grafického znázornění je patrné, že zvažovat přechod na novou výrobní technologii bude výhodné od výrobní dávky 5 000 ks.

Obr. 7.1 Závislost ceny dílce na velikosti výrobní dávky.



Při realizaci výroby množství 40 000 ks jsou úspory v nákladech na výrobu jednoho kusu znázorněny v grafické závislosti na obr. 7.2. Přechodem na navrhovanou technologii výroby lze dosáhnout úspory 25,9 % z celkových nákladů na výrobu jednoho kusu.

Obr. 7.2 Cena 1 ks při výrobní dávce 40 000 ks.



Při výrobě celé výrobní dávky bylo dosaženo úspory 771 600 Kč. Výrobní kapacita stroje při dvousměnném provozu bude naplněna na 92 pracovních dnů. Soustružnické centrum Topturn S20, by při stejné výrobní dávce bylo obsazeno výrobou tohoto dílce 148 dnů.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zpracování návrhu na zefektivnění výrobního procesu pro typovou součást 2016-04-1254-1 Spojovací válec, vyráběný ve společnosti Labara s.r.o. Dílec byl vyráběn z kompozitního materiálu Sklotextit G10 (EPGC201). Pro tento materiál jsou stanoveny specifické řezné podmínky, proto nemohla být hledána úspora tímto směrem, například navýšením řezné rychlosti.

Konečným zákazníkem nebylo stanoveno přesné výrobní množství, poptávány byly série 500, 1 000, 5 000, 20 000, 40 000, 100 000 kusů. Vzhledem k tomu faktu se hledala vhodná technologie výroby pro rozdílné výrobní dávky. Byly srovnávány dva CNC soustruhy, a to CNC soustružnické centrum Topturn S20 od firmy DK machinery a.s. a dlouhotočný automat Manurhin K'MX 432 od firmy TAJMAC-ZPS, a.s. s automatickým podavačem.

Vhodnost stroje Manurhin K'MX 432 byla stanovena pro výrobní dávku 5 000 ks a více. Pro nižší výrobní dávky nevyšel stroj jako efektivní zejména z těchto důvodů:

- nutná kalibrace průměru tyčí na průměr v toleranci h9. Tato kalibrace je prováděna v kooperaci, pro menší počty tyčí byla stanovena vysoká cena vstupního materiálu,
- dlouhá doba seřízení stroje až 960 minut, oproti 84 min na stroji Topturn S20,
- nákup kleštin pro primární a sekundární vřeteno, nákup vodícího pouzdra, v celkové hodnotě 16 500 Kč.

Byla zvolena výrobní dávka 40 000 ks, pro toto množství byla vyjádřena úspora výrobních nákladů, při výrobě na dlouhotočném automatu, a to 25,9 % na jeden kus. Výrobní časy byly zkráceny o 38,56 %. Úspory času bylo docíleno zejména kratší výměnou nástrojů a spuštěním nového cyklu. Zcela odpadla operace manuální přepnutí obrobku mezi první a druhou operací. Po ukončení obrábění součásti byla hotová součást odebrána z místa řezu mechanickou lopatkou.

Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle diplomové práce byly splněny.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. LABARA s. r. o. Informace [online]. [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.labara.cz>.
2. EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
3. JANCÁR, J. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů* 1. vyd. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
4. JANOVEC, J., CEJP, J., STEIDL, J.. *Perspektivní materiály*. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. 143 s. ISBN 978-80-01-04167-3.
5. HUMÁR, A. *Obrábění vláknově vyztužených kompozitů: Machining fibre reinforced composites : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru strojírenská technologie*. Brno: VUTIUUM, 2004. 26 s. ISBN 80-214-2740-x.
6. HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANSKÝ, M., PODRÁBSKÝ, T., ČECH, V. *Technologie zpracování nových kompozitních materiálů tuzemské výroby. Závěrečná zpráva grantového projektu GAČR č.101/98/0855*. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojírenské technologie, 2000. 154 s.
7. ZEMČÍK, O. *Technologická příprava výroby*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
8. BAKAR, Mohamed. *Mechanical properties of modified epoxy resins*. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2008. Habilitation thesis summary. ISBN 978-80-7318-680-7.
9. IZO-ERG S.A., Informace [online]. [vid. 2017-5-8]. Dostupné z: <http://www.izoerg.com.pl/>.
10. HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění I: Machining fibre reinforced composites :teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Strojírenská technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1978, 127 s. ISBN TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ I.
11. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
12. SVOBODA, M. *Obrábění elektroizolačních materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 71 s., 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Karel Osička.
13. SEDLÁČEK, Jan. *Nástroje pro obrábění kompozitních materiálů. MM Průmyslové spektrum*. Červen 2006. č. 6, s. 28–30. ISSN 1212–2572.

14. KORÍNEK, Z., *Vlákna*. [online]. [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkorinek/vlakna.pdf>.
15. HUMÁR, Anton. 2003. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf).
16. KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
17. IZO-ERG S.A., *Industrial Laminates*, Glivice: Zakłady Tworzyw Sztucznych IZO-ERG S.A. 2015.
18. DK machinery a.s, informace [online]. [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.dkmachinery.cz/web/dk-machinery/cz/obrabeci-stroje>.
19. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972-2994-6.
20. DEDERLE, Tomáš; HEJNÍK, Jiří. *Proč dlouhotočný automat*. MM Průmyslové spektrum [online]. 18. prosince 2007, 12, [cit. 2017-05-08]. Dostupný z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/proc-dlouhotocny-automat.html>.
21. TAJMAC-ZPS, a.s., informace [online]. [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/KMX-432>.
22. CoroKey: *Soustružení, frézování, vrtání*. Švédsko: Elanders, 2007.
23. DOSTÁLOVÁ, M. *Optimalizace operačních nákladů obráběcího procesu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 120 s., 4 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
24. ŘEHOŘ, M. *Technicko-ekonomické hodnocení procesu obrábění*. Strojírenská technologie: Časopis pro vědu, výzkum a výrobu [online]. červen 2012, roč. XVII, č.3 [vid. 2017-05-08]. ISSN 1211-4162. Dostupné z: <http://casopis.strojirenskatechnologie.cz/>.
25. KUBIŠ, Richard. *Analýza minutové sazby CNC strojů*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. Prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
26. MALNATI, P. *Formulation flexibility: Direct-SMC* [online]. [vid. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://www.compositesworld.com/articles/formulation-flexibility-direct-smc>.
27. WNT s.r.o., *Katalog nástrojů* [online] [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>.

28. Hoffmann Nürnberg GmbH, *Hlavní katalog 2017* [online] [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/service/downloads/blaetterkatalog>.
29. PM-TECH s.r.o, *Kleštiny a vodící pouzdra* [online] [vid. 2017-05-08]. Dostupné z: [http://www.pm-tech.cz/C00600\\_klestiny\\_vodici\\_pouzdra/C00600\\_klestiny\\_vodici\\_pouzdra.php](http://www.pm-tech.cz/C00600_klestiny_vodici_pouzdra/C00600_klestiny_vodici_pouzdra.php).
30. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. 2002. TECHNOLOGIE VÝROBY II [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnVyroby\\_II.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnVyroby_II.pdf).

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Symbol	Jednotka	Popis
Ce	[Kč]	cena stroje
D	[mm]	průměr
F <sub>fe</sub>	[h]	efektivní časový fond
Q	[-]	množství
L	[mm]	celková délka dráhy nástroje
L <sub>p</sub>	[mm]	délka polotovaru
L <sub>t</sub>	[mm]	délka tyče
N <sub>odp</sub>	[Kč]	náklady na odpis
Pč	[mm]	přídavek na zarovnání čela
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
S	[-]	počet směn
U	[mm]	šířka zápichu
f	[mm]	posuv
f <sub>z</sub>	[mm]	posuv na zub
l	[mm]	délka obráběné plochy
l <sub>n</sub>	[mm]	délka náběhu
l <sub>p</sub>	[mm]	délka přeběhu
l <sub>s</sub>	[mm]	délka součásti
n	[mm <sup>-1</sup> ]	otáčky
t <sub>AS</sub>	[min]	jednotkový strojní čas
t <sub>B</sub>	[min]	přípravný čas
v <sub>f</sub>	[m.min <sup>-1</sup> ]	posuvová rychlost
z	[-]	počet zubů frézy

Zkratka	Jednotka	Popis
Al	[-]	hliník
B	[-]	bor
Ca	[-]	vápník
CNC	[-]	Compter Numerical Control
EP	[-]	epoxidová pryskyřice
ISO	[-]	International Organization for Standardization
JZD	[-]	jednotné zemědělské družstvo
K	[-]	draslík
Mg	[-]	hořčík

Zkratka	Jednotka	Popis
Na	[-]	sodík
PA	[-]	polyamid
Pb	[-]	olovo
PF	[-]	fenolová pryskyřice
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PP	[-]	polypropylen
RO	[-]	nástrojová ocel
Si	[-]	křemík
SK	[-]	slinuté karbidy
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VE	[-]	vinylesterové pryskyřice
UP	[-]	nenasyčené polyestery
a.s.	[-]	akciová společnost
s.r.o.	[-]	společnost s ručením omezeným

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1      Výkresová dokumentace součásti 2016-04-1254-1 Spojovací válec

# PŘÍLOHA 1

Výkresová dokumentace součásti 2016-04-1254-1 Spojovací válec

