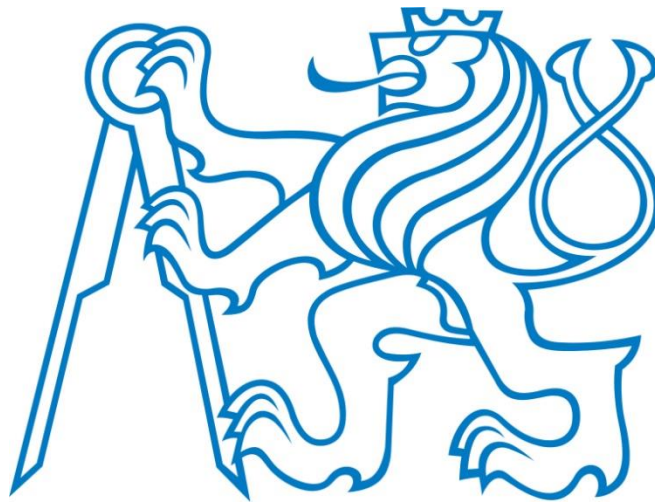


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Technologie výroby rozváděcího kola

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Valdemar Neišl
Obor: Výrobní a materiálové inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Vítězslav Rázek, CSc.



Vysoká škola: ČVUT v Praze

Fakulta: strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bc. Valdemara Neišla**

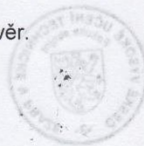
obor **Výrobní a materiálové inženýrství**

Název: **Technologie výroby rozváděcího kola**

Název anglicky: **Technology of production diffuser**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie výroby.
2. Technologické možnosti a jejich aplikace do výroby.
3. Návrh technologických změn.
4. Vyhodnocení a závěr.





Vedoucí diplomové práce: Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 10. 4. 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Zadání diplomové práce převzal dne: 10. 4. 2015

Diplomant

Vedoucí ústavu



Děkan

V Praze

dne 1. 4. 2015



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis



PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří všem lidem napříč jednotlivými odděleními ve firmě GE Aviation Czech, za jejich cenné rady a připomínky.

Děkuji také mému vedoucímu práce, Ing. Vítězslavu Rázkovi, CSc.

Poděkování patří také mé rodině, která mě podporovala celou dobu mého studia.



Anotace

Vysoká škola: ČVUT v Praze
Fakulta strojní
Ústav: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí ústavu: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Téma diplomové práce: **Technologie výroby rozváděcího kola**

Akademický rok: 2014/2015

Autor: Bc. Valdemar Neišl

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

Klíčová slova: Zkrácení průběžné doby výroby, Paretova analýza, Opotřebení břitových destiček, Taylorův vztah

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá zkracováním průběžné doby výroby rozváděcího kola generátorové turbíny. Práce je rozdělena na rozbor technologie výroby, možnosti změn a hledání příčin časové ztráty. Součástí je návrh řešení ke snížení příčin časové ztráty. Další část práce je měření opotřebení břitových destiček a možnost změny nastavení rezných parametrů.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 67

Počet obrázků: 31

Počet tabulek: 13



Annotation

University: Czech Technical University in Prague
Faculty of Mechanical Engineering
Department: Department of Machining Process, Planning and Metrology
Head of the Department: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Theme: Technology of production diffuser

Academic year: 2014/2015

Author: Bc. Valdemar Neišl

Supervisor: Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

Keywords: Cutting lead time, Pareto analysis, Wear of inserts, Taylor's Equation for Tool Life

Abstract: This diploma thesis deals with cutting of lead time of production diffuser generator turbine. Thesis is divided in to section, one part is focused on analysis technology of production, the possibility of changes and searching time loosing causes. This part included solution, leading to cutting time loosing causes. Next part is focused on wear of carbide inserts and settings cutting parameters.

Volume:

Number of pages: 67

Number of pictures: 31

Nummber of tables: 13



Obsah

1	Úvod.....	10
2	Současný stav výroby.....	11
2.1	Použití a funkce rozváděče generátorové turbíny.....	13
2.1.1	Problémy ve výrobním procesu.....	13
3	Rozbor stávající technologie výroby.....	15
3.1	Technologie výroby odlitku GT rozváděče.....	15
3.2	Materiálová charakteristika dílu.....	17
3.2.1	Materiál Rene 108.....	17
3.3	Technologie výroby GT rozváděče v GEAC.....	20
3.3.1	Spaghettiho diagram.....	21
3.3.2	Procesní mapa výroby GEAC.....	21
3.3.3	Plán závodu.....	27
3.4	Výrobní technologie.....	27
3.4.1	CNC soustruh MAS Masturn 550/800.....	28
3.4.2	Prolití - kontrola průtočného množství.....	29
3.4.3	Technologie broušení BIAX.....	31
3.4.4	EDM.....	32
3.5	Proces tepelného zpracování.....	33
3.5.1	Alitace.....	33
3.5.2	Rámcový technologický postup alitace.....	34
4	Rozbor výrobních časů.....	35
4.1	Operace v průběžné výrobě GT rozváděče.....	35
4.2	Systém plánování.....	37
4.2.1	Analýza využití času.....	38
4.2.2	Analýza časových ztrát.....	38
4.2.3	Analýza časových ztrát pracoviště CNC soustruh.....	43
4.3	Vyhodnocení rozboru výrobních časů.....	45
5	Obrábění materiálu Rene 108.....	46
5.1	Problémy při obrábění GT rozváděče.....	46



5.2	Měření opotřebení břitových destiček	47
5.2.1	Použité nástroje a zařízení	47
5.2.2	Vyhodnocování opotřebení	52
5.2.3	Snímky opotřebení	54
5.2.4	Vyhodnocení měření opotřebení	55
5.3	Trvanlivost nástroje s uvažováním omezení řezné rychlosti	57
5.3.1	Výpočet trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti	59
5.3.2	Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti	60
6	Zhodnocení a závěr	62
7	Seznam použitých zdrojů	63
8	Seznam použitých veličin a zkratk	65
9	Seznam obrázků	66
10	Seznam tabulek	67



1 Úvod

Tato práce se zabývá technologií výroby rozváděcího kola generátorové turbíny. Práce vznikla ve spolupráci se společností GE Aviation Czech s.r.o. Společnost se zabývá výrobou turbovrtulových leteckých motorů série H. Rozváděcí kolo je jedna z důležitých součástí motoru typu H80. Úkolem rozváděcího kola je rozvádění spalin ze spalovací komory do dalších částí motoru.

Z pohledu dnešní doby, se každá společnost vyrábějící určitou strojní součást snaží o co největší efektivnost svého výrobního procesu. Jednou z cest s ohledem na požadavek stále rostoucí produkce a prodejnosti, je zvyšování objemu produkce za využití stávajícího strojního vybavení a výrobních prostor. V těchto souvislostech je zapotřebí výrobní proces neboli průběžnou dobu výroby co nejvíce zkrátit a uvolnit kapacity výrobních zařízení pro možnost další výroby. Tato práce se zabývá snižováním průběžné doby výroby rozváděcího kola generátorové turbíny. Stávající stav, kdy je průběžná doba výroby velmi dlouhá, je s ohledem na rostoucí produkci neudržitelný. Je zapotřebí získat ucelený přehled výrobního procesu na základě získaných informací, tyto informace setřídit a vyhodnotit. Bude vypracována analýza na zjištění délky trvání jednotlivých operací i časové ztráty na jednotlivých operacích. Dále je nutné zpracovat získaná data do takové podoby, která zobrazí jednotlivé příčiny časové ztráty a podíl jednotlivých příčin na časové ztrátě.

Práce se také bude zabývat vybraným pracovištěm z pohledu časové ztráty a příčin této ztráty. V souvislosti s vybraným pracovištěm a možnostem snižování průběžné doby výroby respektive urychlení jednotlivých procesů, bude na jedné z operací CNC obrábění proveden základní rozbor se snahou o možné urychlení obrábění a to samotnou podstatou, nastavení vyšších řezných podmínek. Jedním z bodů práce je také měření opotřebení břitové destičky vedoucí k zjištění, zda při současně nastavených řezných podmínkách, dochází k měnění břitové destičky ve správný okamžik vzhledem k opotřebení VB a požadované trvanlivosti nástroje.

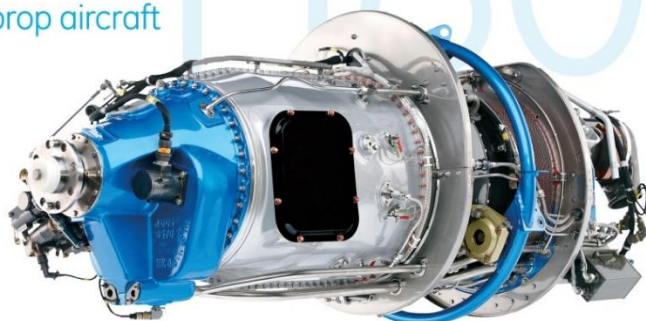


2 Současný stav výroby

GE Aviation Czech s.r.o. (dále už jen GEAC) je ve své podstatě z hlediska ročního působení v ČR, novou firmou. Tak tomu však úplně není. Firma General Electric Company a její letecká divize v roce 2007 převzala společnost Walter Engines, která je na poli výrobců leteckých motorů letitým matadorem. Tímto spojením vzniklo GE Aviation Czech. Pohledem do historie lze odhalit, že turboprotulový motor, který společnost Walter začala vyrábět a v současné době zajišťuje jeho servis právě GEAC, byl vyvíjen od 50. let minulého století. Tento letecký motor pod označením M601, byl vyvíjen souběžně s novým letounem české výroby L-410, aby později tvořil kvalitně provozu schopný celek. Počátkem roku 1975 byly dokončeny všechny certifikační zkoušky pro motor M601A a motor byl úspěšně uveden do provozu. S přibývajícimi roky byly postupně zvyšovány nároky na výkon, bezporuchovost ale i údržbu a to především zvýšení doby do generální opravy motoru. Na základě těchto požadavků, byl vyvinut další stupeň motoru pod označením M601B. Dalším postupným vývojem a stále rostoucími požadavky na lepší parametry motoru, se počátkem 80. let minulého století objevila verze s označením M601E, která tvoří většinu z prodejů bývalého Walteru. Tato verze byla natolik úspěšná, že se stala základem pro další úspěšný vývoj odvozených speciálních verzí pro různorodé použití. Jednou z variant byla verze M601 označením T, který byla použita v letounu PZL-130 jménem Orlik, jenž sloužil pro výcvik armádních pilotů.

GE H80 Turboprop Engine

advanced power for turboprop aircraft



Obrázek 1 - Motor GE H80 [1]



Po převzetí společnosti Walter, vznikl požadavek na vytvoření nového motoru, který bude splňovat náročné požadavky dnešní doby – spolehlivost, výkon a bude vytvářen moderními technologiemi. Z léty prověřeného a úspěšného modelu M601, se kompletním přepracováním a náročným vývojem zrodil nový model s označením H80. Motor H80 kombinuje robustní konstrukci turbovrtulového motoru M601 a spolu s použitými moderními materiály a technologiemi výroby zajišťuje let za náročných podmínek, jako jsou vysoké teploty nebo vysoké nadmořské výšky. Na základě H80, jsou odvozeny další verze s označením H75 a také H85, kdy číselné označení značí výkon motoru.



Obrázek 2 - Zástavba motoru H80 do letounu Trush 510G [2]

Moderní motory série H jsou v současné době použity v několika modelech letadel. Prvním je historicky známý typ *L-410* Kunovického výrobce LET Aircraft Industries. Dalším z velkých odběratelů, je společnost TRUSH Aircraft, která odebírá motor H80 do svých práškovacích letadel s označením *Trush 510G*. Jedním z odběratelů je také Ruská společnost Technoavia s typem letadla *Rysachok*. V neposlední řadě byla navázána důležitá spolupráce o použití motoru H80 v novém typu letadla *G90XT*, výrobce Nextant aerospace.



2.1 Použití a funkce rozváděče generátorové turbíny

Funkce rozváděcího kola generátorové turbíny (dále už jen RGT), vychází ze samotné podstaty názvu – rozvádění horkých plynů uvnitř motoru. RGT je statický – nerotační díl uchycený uvnitř motoru a přímo navazující na spalovací komoru. Horké plyny ze spalovací komory jsou skrze lopatky RGT naváděny na další lopatkový disk, který plyny tlakuje a směřuje na disk vedlejší hřídele, která roztáčí kola samotného reduktoru. Z funkce RGT, jakožto usměrňovače a rozváděče horkých spalin vyplývá, že se musí jednat o díl z materiálu odolného vysoké teplotě, tlaku a celkově s vysokou odolností proti nízkocyklové a vysokocyklové únavě. Zvýšenou odolnost musí vykazovat zejména oblast lopatek, tedy plynové cesty, kudy proudí spaliny přímo ze spalovací komory. RGT je konstruován jako velmi složitý a tenkostěnný díl, který má však v poměru k tloušťce materiálu na lopatkách poměrně tlusté příruby z obou stran a na ně navazující tzv. zámky, které rozváděč drží ve správné pozici uvnitř motoru.

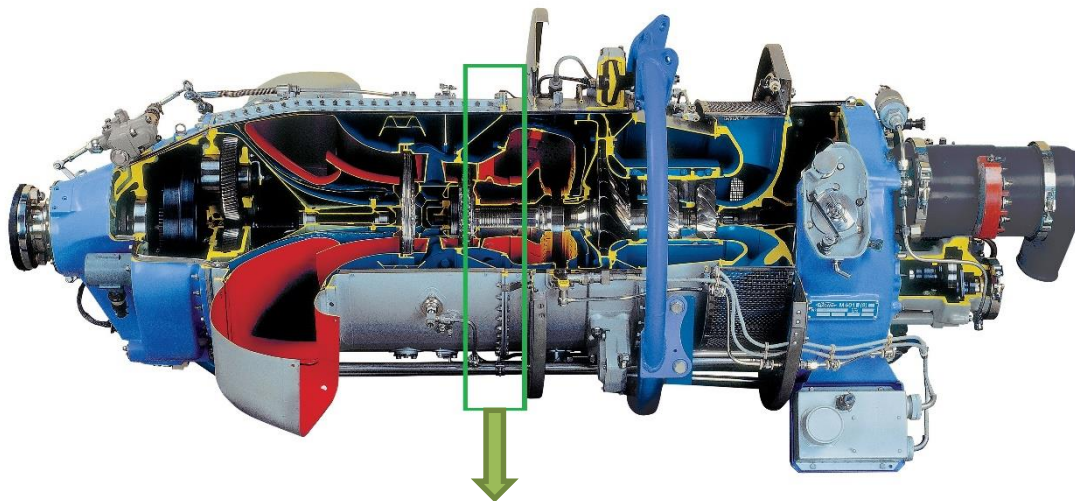
Z uvedených požadavků na mechanické vlastnosti a konstrukci, vyplývá i požadavek na materiál rozváděče. Současně vyráběný RGT, je vyhotoven z materiálu označením Rene 108. Jde o slitinu o niklovém základu s vysokým podílem příměsí legujících prvků. Charakteristika materiálu skupiny Rene, je uvedena v kapitole 3.1.1.

2.1.1 Problémy ve výrobním procesu

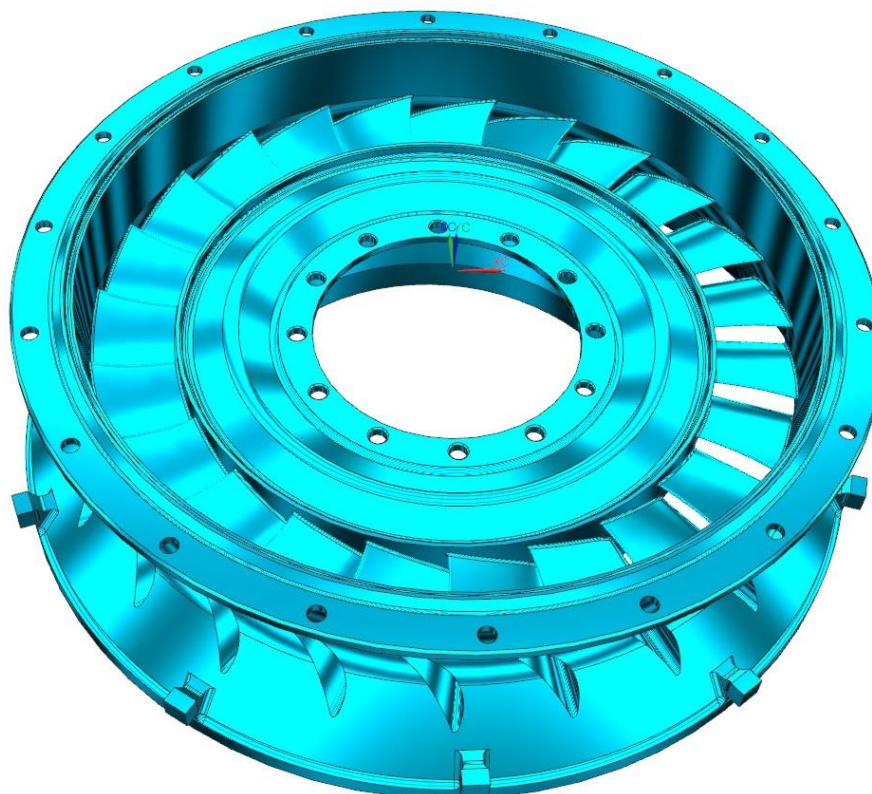
Materiál je velmi náchylný na vznik vnitřních pnutí při obrábění a vzhledem k tenkostěnné konstrukci na pnutí vznikající při výrobě odlitku, který slouží jako polotovár. Během operací obrábění je vždy nutno počítat s určitou dobou potřebnou pro relaxaci materiálu mezi jednotlivými operacemi. Mezi další problémy, které se vyskytují v průběžné výrobě RGT, patří dodržení předepsaných rozměrů a dodržení vztahu mezi rozměry a průtokovým číslem [3.4.4]. Dodržení předepsaného průtočného čísla souvisí s dodávkami odlitků, které jsou často mimo toleranci požadovaného průtočného čísla. Opětovaně se objevují povrchové vady materiálu, zejména v oblasti plynové cesty – povrchu jednotlivých lopatek. Tyto vady se musí následně odstraňovat ručním broušením, kdy hrozí nedodržení stanovených rozměrů a opětovná změna průtočného čísla nad stanovenou toleranci.

Každý dodaný odlitek je ve své podstatě ojedinělý, neboť se na každém odlitku a to i přes to, že pocházejí ze stejné tavby a byly dodrženy veškeré příslušné kroky technologického postupu, mohou vyskytovat ojedinělé vady a průtočné číslo rozváděče je rozdílné.

Z těchto problémů vyplývá náročnost přístupu k následné průběžné výrobě RGT, kdy je nutno každý odlitek detailně kontrolovat a stanovit příslušné kroky nápravných opatření, pokud je tomu v případě konkrétního kusu zapotřebí.



Obrázek 3 – Řez motorem M601-E, zvýraznění umístění rozváděče



Obrázek 4 – Model rozváděče generátorové turbíny



3 Rozbor stávající technologie výroby

3.1 Technologie výroby odlitku GT rozváděče

Polotovar

Polotovarem pro výrobu RGT je přesně litý odlitek do keramické skořepiny, vyhotovený na vytavitelném modelu. Materiálem pro tyto odlitky je niklová slitina Rene 108. Odlitky jsou vyrobeny a odlity ve vakuu dle příslušného slévárenského postupu. Jak již bylo zmíněno v kapitole [2.2.1], odlitek z materiálu Rene je velmi náchylný k trhlinám a vzniku vnitřních vad. Vzhledem k rozdílným tloušťkám stěn, je nezbytné dodržovat přesný technologický postup. Klíčovou záležitostí je čistota a správná rafinace tavby pro lití a vyhotovení podle nastavených parametry jako jsou rychlost lití do formy, prodleva nad křivkou likvidu při tavení a důležitý parametr, rychlost ochlazování.



Obrázek 5 - Odlitek rozváděče generátorové turbíny [3]

Přesné lití metodou vytavitelného modelu – technologie, kterou lze vyrábět tvarově složité součásti s rozměrovou tolerancí a drsností povrchu, na takové úrovni, že mnohé plochy povrchu nemusí být nadále obráběny. Principem je vyhotovení voskového modelu, který je odlit do připravené formy.



Na voskovém modelu je pak vyrobena skořepina cestou střídavého namáčení voskového modelu do tzv. „keramické břechky“ a posypu žáruvzdorným materiálem. Tímto způsobem jsou na model nanášeny jednotlivé vrstvy, dokud není tloušťka keramického obalu dostatečná. Dalším krokem je vytavení voskového modelu – vosku. Po vytavení vznikne prázdná skořepina, která slouží jako forma pro lití. Takto připravenou skořepinu je třeba vypálit a tím je připravena na vylití kovem.

Při přípravě voskového modelu a následné práci s ním je důležité kontrolovat:

Na modelech nesmí být žádné trhlinky, studené spoje nebo nesmí dojít k porušení geometrie. Při práci s voskovým modelem se nesmí porušit kritické místa, jak jsou náběžné a odtokové hrany lopatek.

Při práci s keramickou formou a samotném odlévání, je nutné postupovat způsobem:

Před litím musí být zkontrolováno, zdali uvnitř keramické skořepiny nejsou žádné nečistoty, musí být vyčištěna vtoková jamka. Skořepinu lze vysát nebo vyfoukat stlačeným vzduchem.

U důležitých odlitků se většinou provádí kontrola na poréznost formy a přítomnost trhlin. Kontrola je provedena zkouškou prolitím barevným roztokem.

Pokud je skořepina nachystána k lití, tzn., jsou připraveny izolační zábaly skořepiny, zásypový materiál a vše ostatní, může dojít k samotnému odlití odlitku. Odlévání probíhá do žhavých skořepin, které na pracoviště lití přicházejí většinou ihned po vypálení. Tímto způsobem se zmírňuje tepelný šok na skořepinu, dojde k omezení vnitřního pnutí ve skořepině a minimalizuje se možnost prasknutí. Po odlití je třeba nechat odlitek ve formě chladnout po dobu několika hodin, než dojde k jeho vyjmutí z formy a dalšímu opracování čištěním, ubroušením vtoků nebo výfuků a výstupní kontrole. [7]



3.2 Materiálová charakteristika dílu

3.2.1 Materiál Rene 108

Materiál Rene 108 (nebo také René 108), patří do skupiny materiálu pod označením Rene. Tato skupina materiálů je využívána zejména v leteckém a kosmickém průmyslu. Obchodní název pro materiál, z něhož je vyroben RGT, je Rene 108. Jde o vysokoteplotně odolný materiál tvořený základní niklovou fází (>60% Ni) s vysokým objemovým podílem legujících prvků. Počet legujících prvků je vysoký. Materiály Rene jsou nejčastěji použity pro výrobu součástí leteckých turbínových motorů, v raketovém inženýrství nebo jaderné energetice. Na součásti použité v turbínových motorech, jsou kladeny základní požadavky na práci za vysokých teplot. Materiál musí splňovat tyto kritéria: [5]

- Statická pevnost za vysokých teplot
- Pevnost v tečení
- Odolnost proti tepelné únavě
- Odolnost proti oxidaci a odolnost proti vysokoteplotní korozi

Materiál musí splňovat dvě základní podmínky, tedy spadat do dvou základních skupin:

Žáruvzdorné slitiny – odolné proti oxidaci za vysokých teplot

Žárupevné slitiny – odolnost proti tečení za vysokých teplot

Tabulka 1 - Chemické složení materiálu skupiny RENE [4]

Tabulka obvyklého chemického složení Rene					
	[%]		[%]		[%]
<i>C</i>	0,05-0,20	<i>Ti</i>	0,60-2,50	<i>Mo</i>	0,40-3,50
<i>Mn</i>	0,10 Max.	<i>Al</i>	5,00-5,75	<i>W</i>	6,00-9,70
<i>Si</i>	0,06 Max.	<i>B</i>	0,004-0,02	<i>Ta</i>	2,70-3,50
<i>P</i>	0,01 Max.	<i>Zr</i>	0,005-0,02	<i>Cu</i>	0,10 Max.
<i>S</i>	0,003 Max.	<i>Hf</i>	0,15-1,70	<i>Fe</i>	0,30 Max.
<i>Cr</i>	4,00-14,00	<i>Nb</i>	0,10 Max.	<i>Mg</i>	0,0035 Max.
<i>Co</i>	8,00-12,50	<i>V</i>	0,10 Max.	<i>Ni</i>	zbytek



Výrobky, nejčastěji odlitky z materiálu Rene často podléhají kontrolním specifikacím, které jsou stanoveny a vyžadovány jednak samotným zákazníkem a také zkouškami všeobecně doporučenými a prováděnými na prokázání vlastností daného materiálu. Odlitek RGT podléhá specifikacím zákazníka, v tomto případě GEAC a další specifikace, které musí odlitek splňovat, jsou specifikace podle Americké asociace pro testování a materiály.

Nejčastěji požadované splnění specifikací podle Americké asociace pro testování a materiály: [3]

E50TF47	Kontrola metodou PHACOMP
P3TF5	Kontrola rentgen na vnitřní vady
P21TF6	Svařování odlitku
ASTM E 8	Tahová zkouška kovových materiálů
ASTM E 18	Zkouška tvrdosti Rockwell
ASTM E 21	Tahová zkouška kovových materiálů za vysoké teploty
ASTM E 139	Zkouška praskání pod napětím

Po vyhotovení odlitku je provedena chemická analýza odlitku, která musí splňovat kritéria složení uvedené v tabulce č. 1. Veškerá tavba pro odlitek a samotné lití odlitku, by se mělo odehrávat v prostředí vakua. Velmi důležité je také minimalizovat kontaminaci železnými vměstkami, které se mohou při tavbě dostat do taveniny z okolního prostředí nebo licích pánví. Při samotné tavbě je možno použít vratný materiál ve formě šrotu z předchozích odlitků. Množství vratného šrotu, které lze použít, podléhá dalším specifikacím.

Tepelné zpracování odlitku

Tepelné zpracování odlitku materiálu skupiny RENE, je obvykle stanoveno ohřevem nad teploty 1150°C a následné výdrže na této teplotě po dobu minimálně dvou hodin. Poté je zařazeno řízené ochlazování rychlostí od 30-55°C za minutu, k teplotě blízké 1000°C. Jedním z požadavků na tepelné zpracování je stabilizace hlavní fáze [γ'].

Po určité výdrži, specifické pro každý jeden materiál ze skupiny Rene, je zařazeno opět řízené ochlazování na teplotu 600°C během 1-2 hodin. Následně je odlitek dochlazen na teplotu okolí. [6]



Tabulka 2 - Rozsah mechanických vlastností Rene [6]

	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Prodloužení [%]	Redukce [%]
Pokožová teplota[20°C]	700-1150	950-1600	4-9	10-21

Zkouška roztržením pod napětím

Požadavky na zkoušku roztržením pod napětím určují hodnoty minimálního napětí při teplotě od 650°C do 720°C

Tabulka 3 - Rozsah parametrů pro zkoušku roztržením pod napětím [6]

Teplota [°C]	Požadované napětí [MPa]	Životnosti [hod.]
650-720	190-230	20-25

Požadavky na dodavatele odlitku

Dodavatel odlitku by měl certifikovat chemické a mechanické vlastnosti pro materiál a odlitek. Tyto zkoušky by měly být přiloženy ke každému odesílanému odlitku zákazníkovi. Odeslaná certifikace pro každý odlitek by měla obsahovat číselné výsledky všech požadovaných testů a soulad těchto výsledků se specifikace pro daný materiál – odlitek.



3.3 Technologie výroby GT rozváděče v GEAC

Zpracování odlitku RGT a vyrobení hotové součásti rozváděč, je ve výrobě GEAC velmi složitý a zdoluhavý proces. Ve výrobním procesu je použito velkého množství různých výrobních technologií. Lze mezi nimi nalézt základní technologie ručního opracování (broušení BIA), zpracování pomocí CNC obrábění jako je použití CNC soustruhů, CNC frézky a broušení pomocí CNC brusek nebo jednu z nekonvenčních technologií obrábění, EDM vyjiskřování. Mezi dalšími z použitých technologií spadá proces tepelného zpracování, alitace nebo žíhání v žíhací peci. Při výrobě dochází často ke zpětné kontrole rozměrové přesnosti výrobku na pracovišti kontrola, vždy po určitých operacích. Jedna z technologií kontroly, která je v průběžné výrobě využita několikrát a je specifická v GEAC, je kontrola průtočného množství sloužící k ověření průtoku určitého média lopatkami GTR. Další z technologií kontroly je kontrola barevně luminiscenční pro indikaci trhlin a povrchových vad materiálu RGT. Pro celkový přehled využitých technologií je třeba zmínit průběžné praní dílu v ultrazvukové a vodní pračce, jenž je také častou mezioperací např. mezi CNC obráběním a kontrolou rozměrů.

Z výše uvedeného přehledu vyplývá, že množství použitých technologií vedoucí k výrobě RGT je rozsáhlé a technologie samy o sobě jsou velmi rozličné. Zřejmé také je, při výrobě takto složitého dílu, možnost vzniku komplikací spojených ať již z nastavením jednotlivých parametrů strojů, správného usazení dílů do přípravků sloužících pro upnutí při obrábění nebo problémy vyplývající s požadavků na rozměrovou přesnost a průtočné množství RGT. Tyto problémy pramení z jednotlivých použitých technologií a jsou konkrétní při určitých operacích, jako je neoptimální - ruční broušení lopatek a kontrola průtočného množství na dnešní dobu již zastaralém zařízení, kdy může docházet ke značné odchylce a vnesení nejistot při měření.

Na počátku výroby RGT je polotovár ve formě odlitku, který přichází ze společnosti PCS. Zpracováním odlitku je třeba vyhotovit konstrukčně funkční součást. Celý postup výroby se odehrává podle vypracovaného technologického postupu.



3.3.1 Spaghettiho diagram

Z technologického postupu byl vytvořen Spaghettiho diagram [obrázek č. 6], mapující jednotlivá pracoviště zapojená do výroby RGT. Nejde o znázornění jednotlivých operací, nýbrž jen grafické znázornění jak jsou jednotlivá pracoviště vytížena a jaký je objemový tok materiálu mezi jednotlivými pracovišti. Propojení vícero šipkami mezi dvěma pracovišti, značí větší objemový tok materiálu. Naopak propojení pouze jednou šipkou značí cestu, kdy materiál projde tímto výrobním úsekem pouze jednou.

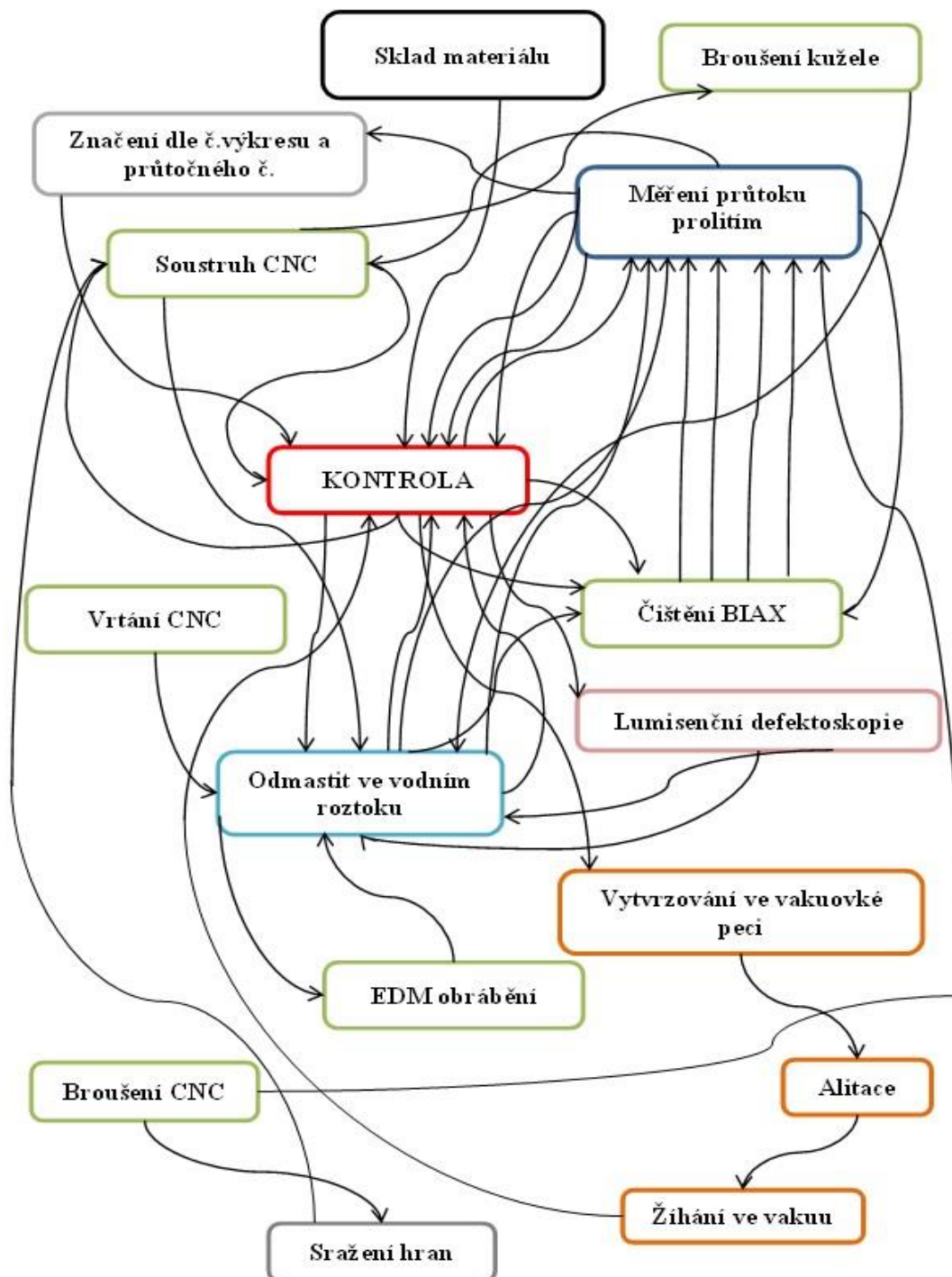
3.3.2 Procesní mapa výroby GEAC

Jedna z výhod tohoto grafického znázornění, je vyznačení cest největšího objemového toku materiálu. V těchto místech mohou vznikat případné zdržení ve výrobě, ať už z důvodu nedostatečné kapacity výrobního střediska – pracoviště nebo z důvodu přepravy velkého objemu materiálu. Z hlediska přepravy a plánování je záležitostí logistického oddělení plánování přesunů ve výrobě tak, aby nevznikala úzká místa ve výrobě v souvislosti nadměrným zásobováním pracoviště materiálem. Z pohledu kapacity pracoviště jde o plánování, kdy musí být zaručeno plánování využití kapacity stroje nejlépe na maximum a musí být zaručeno optimální předávání výrobních dávek z operace na operaci. Využití pracoviště je však přímo závislé na technologickém postupu výroby jednotlivých součástí. Je tedy na zvážení technologie, na které pracoviště a stroj směřovat výrobu, popř. přesunutí výroby a zároveň koordinovat volbu stroje ve vztahu k logistice a plánování výroby. V této souvislosti lze hovořit o jednom z problémů současné výroby, kdy vzhledem ke kapacitě strojů a celkovému množství volných pracovišť není zaručen plynulý tok materiálu. Myšleno je nejen nadměrné využití určitého pracoviště, které způsobí štíhlé místo ve výrobě, ale naopak nevyužití kapacity stroje – pracoviště. V tomto ohledu, je ve výrobě GEAC stále co zlepšovat a s přihlédnutím na to, že každý stroj – pracoviště tvoří náklad, je nutné se touto problematikou do budoucna zabírat.

Z technologickému postupu a zobrazení spojitosti pracovišť ve Spaghettiho diagramu, byla vytvořena procesní mapa [obrázek č. 7,8,9,10], detailně zobrazující návaznost jednotlivých operací. Procesní mapa tak přehledně člení všechny procesy a činnosti v organizaci výroby RGT. Procesní mapa je grafické znázornění.



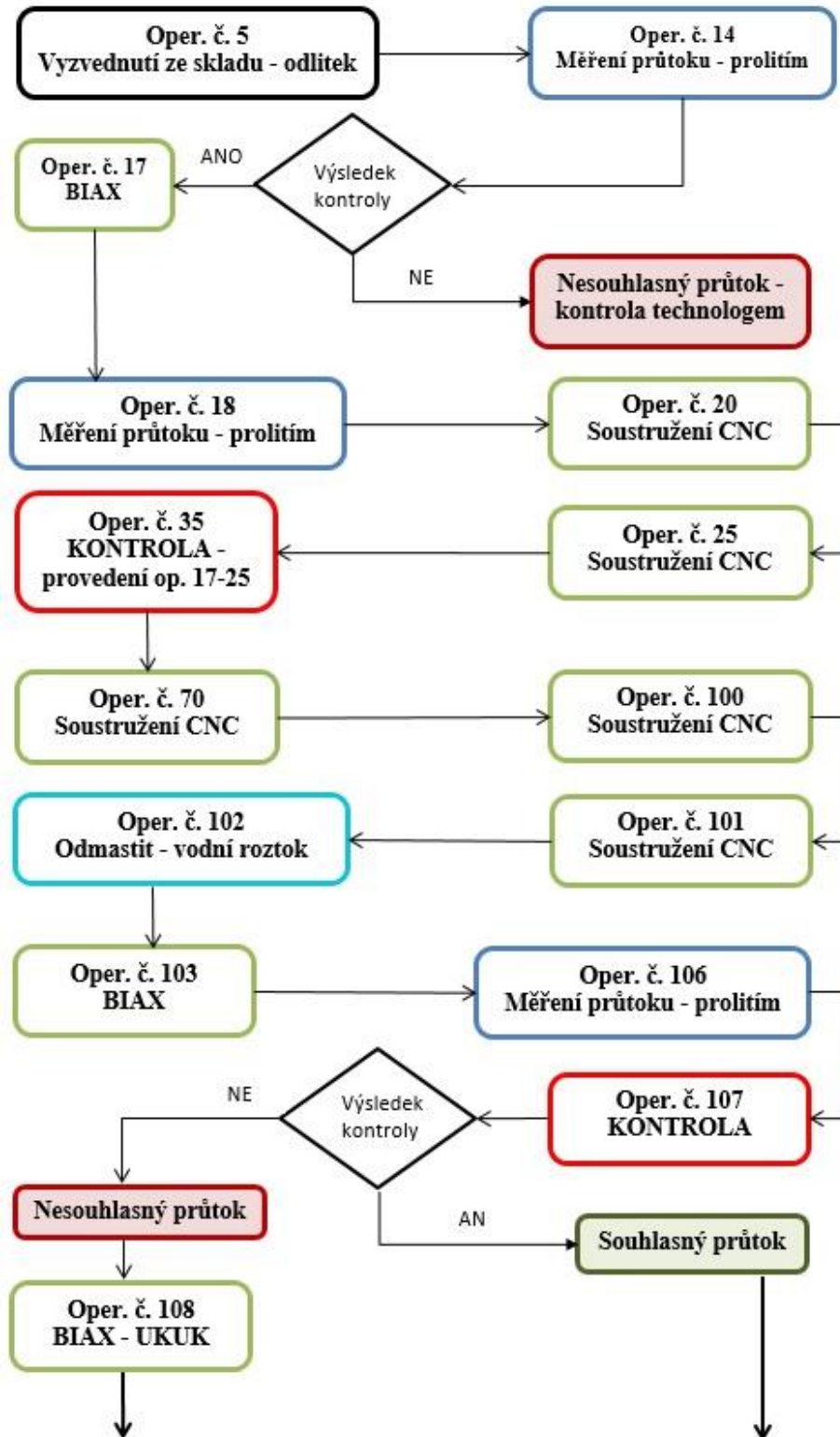
Byly zaznamenány všechny procesy a důležité je, znázornění všech vratných procesů, které se mohou, ale nemusí v průběžné výrobě vyskytnout. Tyto vratné procesy a jejich počet, závisí především na průběžné kvalitě výroby a vzniklých rozměrových nepřesností a tím výsledků kontroly prolitím.



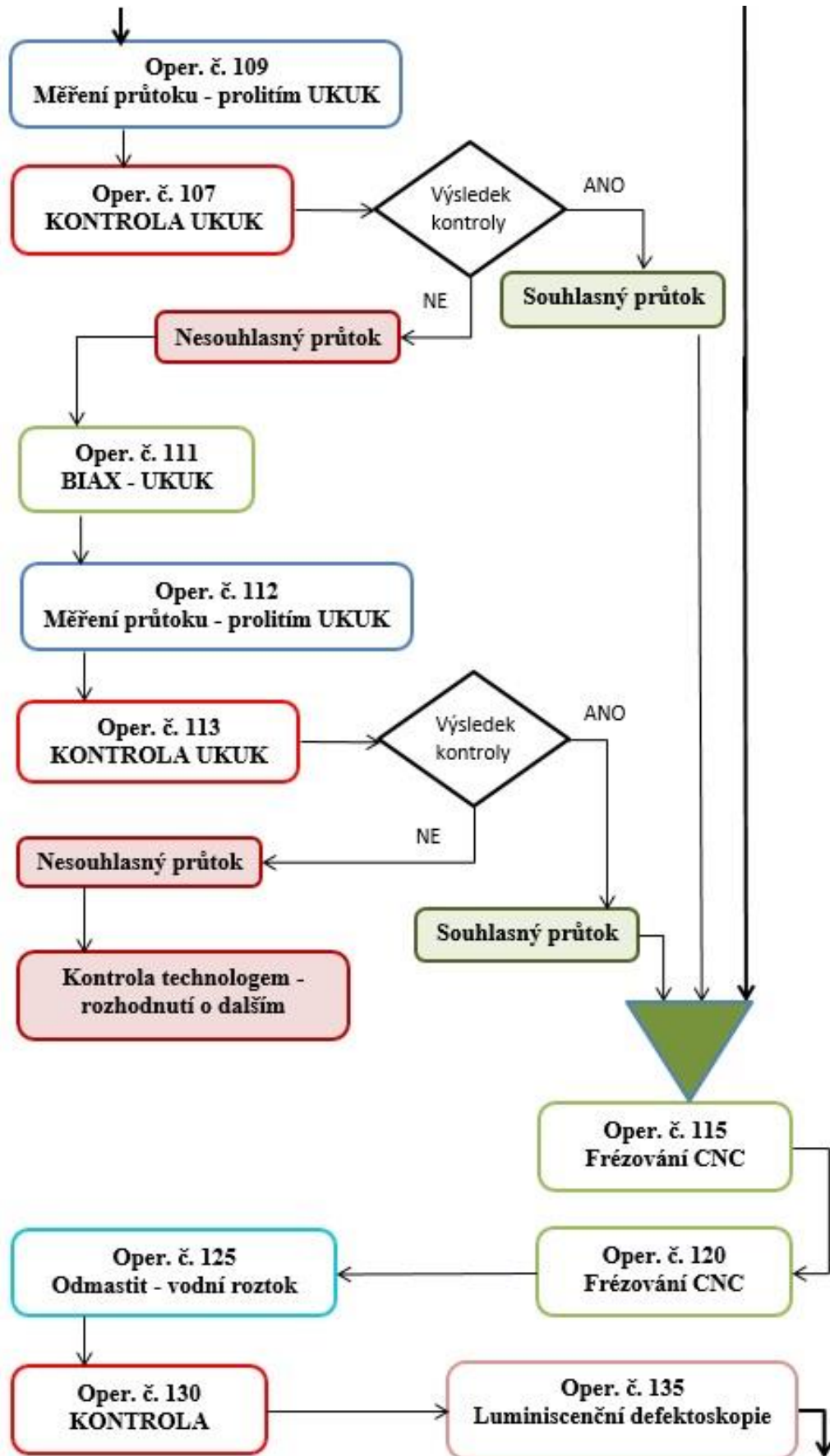
Obrázek 6 - Spaghettho diagram



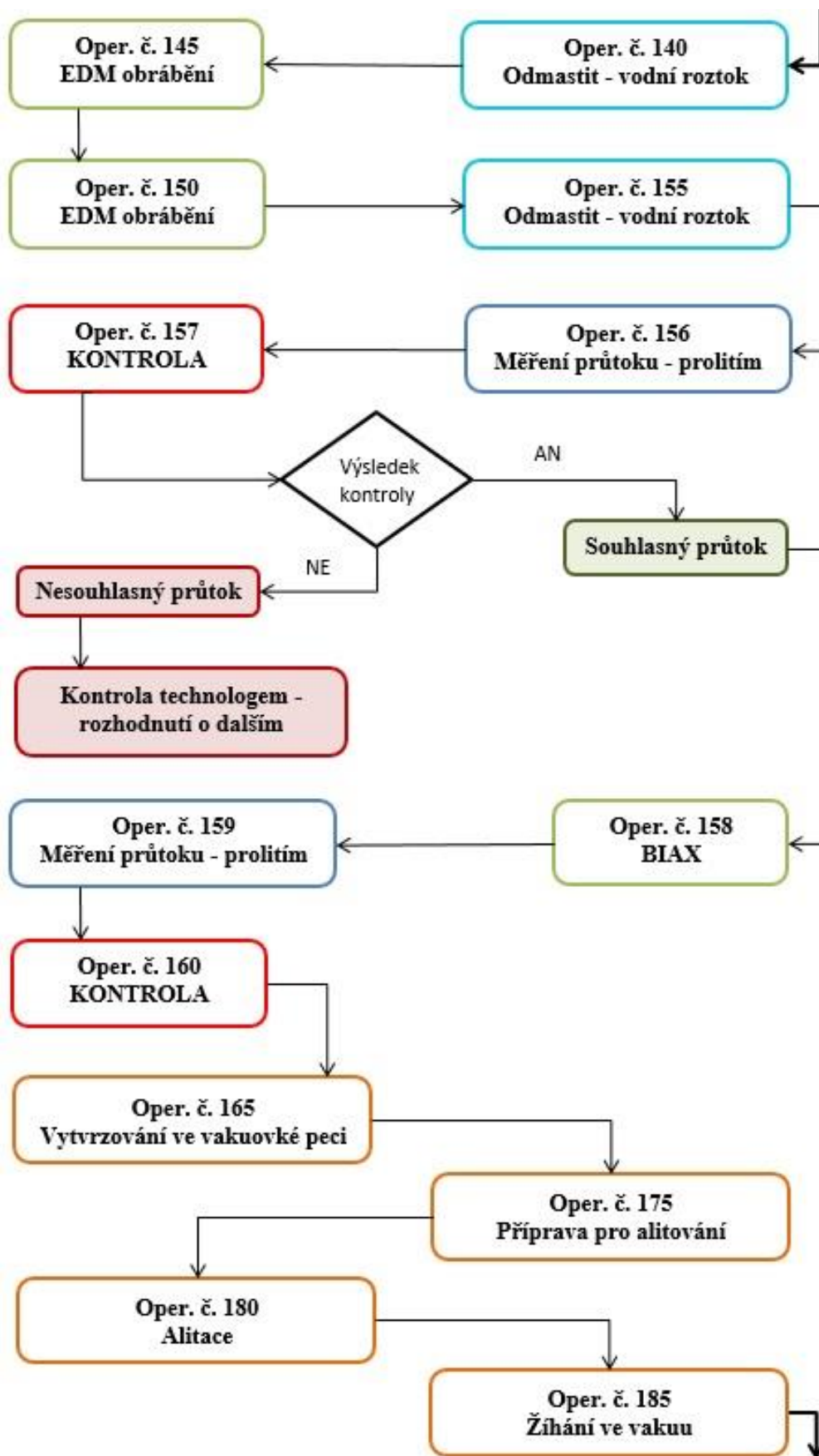
Obrázek č. 7 Procesní mapa 1/4, znázorňuje několik prvních operací v postupu výroby RGT. Po vyzvednutí odlitku ze skladu materiálu, je provedena první zkouška průtočného množství. V případě, že výsledek neodpovídá předepsaným hodnotám, je přivolán technolog, který rozhodne o dalším postupu.



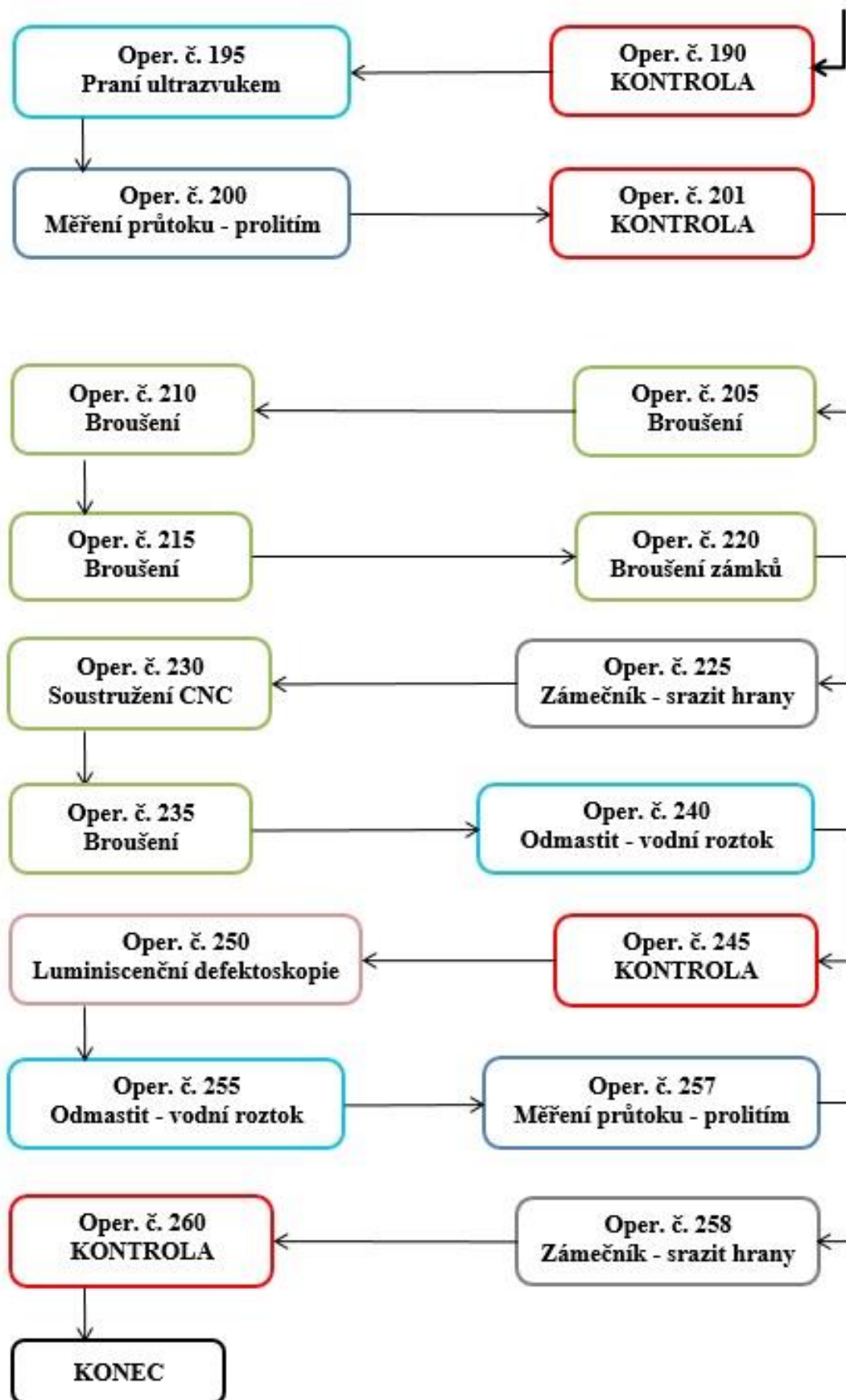
Obrázek 7 - Procesní mapa 1/4



Obrázek 8 - Procesní mapa 2/4



Obrázek 9 - Procesní mapa 3/4



Obrázek 10 - Procesní mapa 4/4



3.3.3 Plán závodu

Současný stav a budoucí stav výrobního závodu musí být takový, aby pokryl zvyšující se poptávku a narůstající prodejnost motorů. Z tohoto požadavku vznikají úkoly, jak uspořít čas a zkrátit průběžnou dobu výroby, jak uspořít na pohybu materiálu výrobní halou a jak optimalizovat a logisticky zvládnout celý proces výroby nejen GTR ale i ostatních součástí.

Současné rozmístění strojů a jednotlivých pracovišť odpovídá rozmístění podle příslušné skupiny stroje. Dalším ze způsobů rozmístění je v souladu s výrobou konkrétní součásti. V případě potřeby využití více strojů následujících v řadě za sebou, jsou vytvořeny tzv. buňkové systémy. Tyto buňky shromažďují potřebné stroje v jednom bloku na určitém místě. Materiál neopouští výrobní buňku po několik operací a v důsledku dochází k významným časovým úsporám, obzvláště po stránce transportu materiálu mezi pracovišti a tím plánování výroby. Obecně však lze říci, že kritériem pro plán závodu, by mělo být minimalizování dopravních cest mezi pracovišti.

3.4 Výrobní technologie

Vzhledem ke složitosti výroby GTR a využití několika samostatných pracovišť, by bylo vhodné uspořádání pracovišť do jednoho sektoru, kde by se sdružovali základní výrobní technologie, které se v procesu často opakují. Tohoto by mohlo být dosaženo vznikem již výše zmíněného systému buňkového pracoviště. V takovém případě je však nutné uvažovat objem produkce, která v konečném výsledku z hlediska dělení výroby podle objemu produkce, nepřesahuje kusovou výrobu. Je tedy zapotřebí samostatné technologické – ekonomické analýzy návrhu takové buňky. Pracoviště by slučovalo např. veškeré CNC obrábění, broušení a ruční broušení. Bylo by však zapotřebí nového strojového vybavení nebo úpravy stávajícího plánu dílny s využitím současného strojového parku. Jedna z překážek předcházející vzniku buňkového pracoviště za použití stávajícího strojního vybavení, je přihlédnutí k celkové výrobě v GEAC. Z hlediska množství vyráběných součástí, je problémem izolovat strojní vybavení čistě pro jeden produkt. Téměř každé pracoviště je využito v průběžné výrobě ostatních dílů motoru.



CNC technologie obrábění

Základní technologii výroby GTR, lze označit technologií obrábění soustružením. Konkrétně se jedná o technologii soustružení na CNC stroji od firmy Kovosvit MAS. Operace soustružení se v procesu několikrát opakuje, přičemž první soustružnické operace jsou těžké hrubovací, kdy dochází k odstranění velkého množství materiálu, zejména nálitku a zbytku po odlití. Tyto operace lze označit za složité a přinášející řadu problémů v souvislosti s materiálem obrobku. Z časového pohledu patří tyto operace mezi déle trvající. Příčina je především v nastavených řezných podmínkách, které jsou v tomto případě velmi nízké.

3.4.1 CNC soustruh MAS Masturn 550/800

Univerzální hrotový soustruh s CNC řízením, označením Masturn 550, je stroj určený pro přesné soustružnické práce, zejména v kusové a malosériové výrobě. Hlavními operacemi je soustružení tvarově náročných ploch, řezání závitů, válcové plochy apod. Stroj odpovídá zvýšené přesnosti dle normy ISO 1708. Obrábění je možné provádět v ručním řízení nebo v automatickém režimu. Stroj se vyznačuje vysokou tuhostí a přesností. Použitý řídicí systém pochází od Heidenhaimu. Výkon stroje a jeho pracovní prosto je zcela dostatečný pro soustružnické operace na GTR. Hmotnost a celkově rozměr obrobku je vzhledem k možnostem stroje zanedbatelný. [7]



Obrázek 11 - Univerzální hrotový soustruh MAS Masturn 550/800 [7]



Tabulka 4 - Parametry stroje soustruh Masturn 550/800 [7]

Velikost obrobku		
Maximální obráběný průměr	[mm]	500
Maximální hmotnost obrobku – letmo	[kg]	400

Hlavní vřeteno:		
Rozsah otáček	[ot.min ⁻¹]	0-3000
Výkon	[kW]	17
Průměr sklíčidla	[mm]	200/350

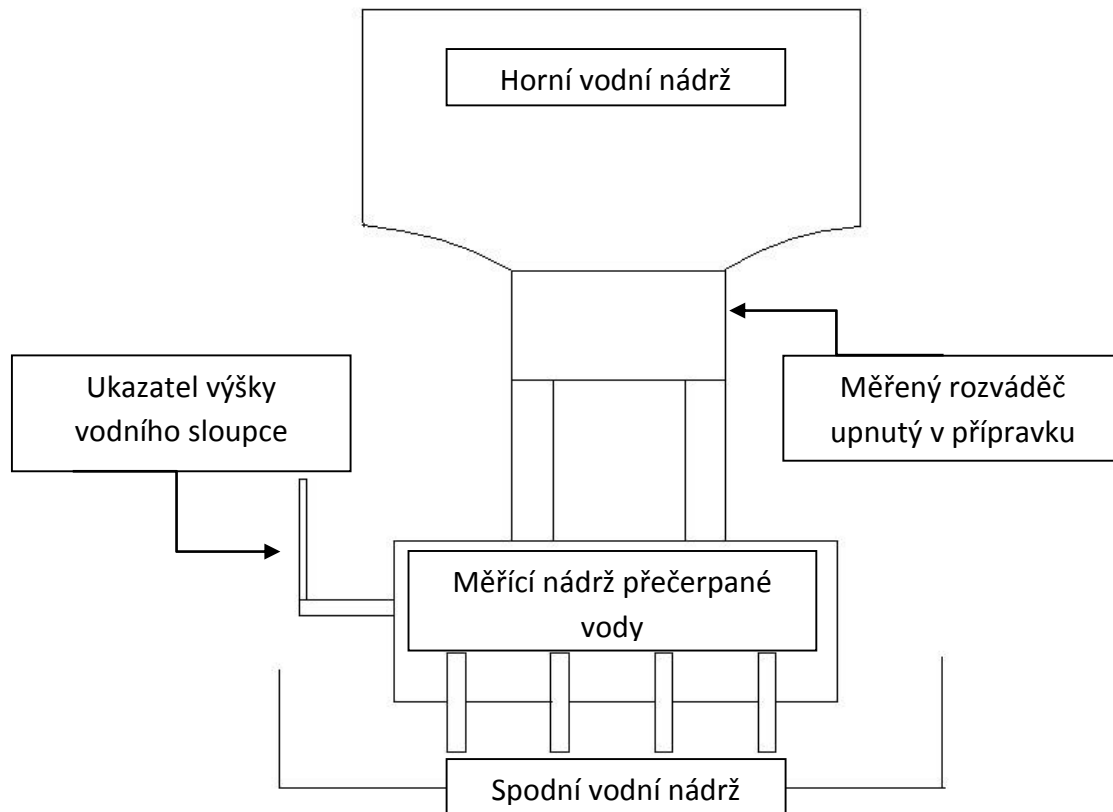
Upínání nástrojů:		
Systém upnutí		Multifix C

Rozměry stroje		
Délka x Šířka x Výška	[mm]	2540 x 1920 x 1755
Hmotnost stroje	[kg]	3200

3.4.2 Prolití - kontrola průtočného množství

Kontrola průtočného množství - zkouška prolitím, je ve své podstatě jediná zkouška a kontrola průtočného množství plynové cesty RGT. Výstupem kontroly průtočného množství je hodnota - číslo, která je zobrazena stupnicí. Výsledek je porovnán z hodnotou určenou měřením etalonu. Tato operace se v Tg postupu výroby opakuje hned několikrát. Už jako 2 operace zkouška určí, zda daný kus – polotovár bude vyřazen či dále zpracováván, zdali a o kolik bude muset být opraven ručním broušením nebo naopak jestli hodnota průtočného množství vyhovuje a leží např. uprostřed tolerančního pole. U dalších operací kontroly prolití, se kontroluje zejména ovlivnění průtočného množství změnou rozměrů průtočné plochy po předcházejících operacích mechanického opracování RGT. Jedná se především o operace broušení BIAx, EDM obrábění a CNC soustružení. Při každé kontrole prolitím je velmi důležité, zachování technologické přestávky mezi samotnou kontrolou a předešlou operací mechanického opracování. Tato přestávka je zvolena na dobu 7 dnů a měla by být důsledně dodržována.

Pokud není tato prodleva dodržena, hrozí z důvodu relaxace materiálu zkreslení výsledků kontroly prolitím. Zkouškami bylo ověřeno, že materiál RGT pracuje po dlouhou dobu od mechanického opracování. V řádech dnů, se tolerance na určitý rozměr mohou měnit v setinách od 0,01 do 0,09. Pokud relaxace materiálu způsobí změnu přesně určeného rozměru jedné nebo více stran průtokového kanálu lopatky, je výsledek kontroly prolitím značně zkreslený.



Obrázek 12 – Schéma zařízení pro zkoušku prolitím

V případě, že relaxace způsobí tuto rozměrovou nepřesnost na všech lopatkách - potažmo rozměrech průtočného kanálu, je výsledek kontroly prolitím značně zkreslen a liší se v rámci jednotek průtočného čísla. To může v konečném důsledku znamenat vyloučení měřeného kusu jako zmetku nebo popřípadě následného a zbytečného broušení kanálů metodou BIAx.

Zařízení sloužící pro kontrolu průtočného množství je ojedinělé stroj, který je specifický svojí funkcí použití. Měření pouze průtočného množství RGT.



Jde o zařízení fungující na principu přečerpávání vody ze spodní záchytné nádrže do nádrže horní, odkud je voda jako měřicí médium směřována samospádem skrze RGT, který je umístěn v přípravku pod horní nádrží. Princip zkoušky spočívá v měření průtoku vody skrze RGT za jednotku času. Doba měření je stanovena na 10-15 minut. Výsledek měření se zobrazí na stupnici.

3.4.3 Technologie broušení BIAX

Jednou z dalších často se opakujících technologií je broušení pomocí ručních pneumatických brusek označením BIAX. Jde o pneumatické ruční, většinou přímé brusky, které poskytují dostatečné otáčky a výkon k broušení tvrdých materiálů. Jako nástroj se využívají koncovky ve formě brusných tvarových kotoučů, které jsou děleny dle tvrdosti a hrubosti.

Tato technologie broušení je použita zejména pro začištění švů po dělicích rovinách modelového zařízení. Začišťují se také veškeré strupy, otřepy a nečistoty na povrchu plynové cesty. Začištění musí být provedeno tak, aby se odstranily veškeré hrubé nerovnosti a byl zajištěn plynulý přechod na hřbetu lopatek v oblasti od hrdla lopatkového kanálku po odtokovou hranu.

Operace broušení BIAX, se dá považovat za jednu z problematických operací. Při broušení jednotlivých lopatek dochází k úběru materiálu. Tento úběr se v případě ručního broušení, jímž BIAX je, nedá přesně korigovat.

Úběr materiálu tedy závisí především na samotném operátorovi – brusičovi, jeho zkušenostech a praxi s daným materiálem v kombinaci s použitým hrotem brusky – zvolená tvrdost a poměr úběru broušeného materiálu / materiálu nástroje. Je zapotřebí uvědomit si, že operace broušení BIAX zásadně ovlivňuje a přímo souvisí s nejdůležitějším parametrem RGT – jeho průtokovým číslem [3.4.4]. Jak již bylo zmíněno v (3.1.), průtokové číslo je zcela zásadní pro správnou funkci RGT a jeho schopnosti zajistit dostatečný průtok plynů skrze plynovou cestu. Rozměr jednotlivých kanálů lopatek, je snadno ovlivnitelný broušením BIAX. Při této operaci je vybrušována celá plynová cesta, ať již od počátečního začištění odlitku nebo následného dobroušení na základě výsledků kontroly prolitím – kontrola průtočného množství. Výsledkem kontroly je hodnota, která musí ležet v tolerančním poli hodnot.



Obrázek 13 - Pneumatická ruční bruska BIAX [13]

V tomto případě se opět uplatní zkušenosti a praxe operátora brusky, který musí přesně odhadnout úběr materiálu v souladu s tím, o kolik průtočných čísel je třeba průtok lopatkami zvětšit.

Z praxe vyplývá broušení každé z 24 lopatek rozváděče stejně a na každé dochází ke stejnoměrnému úběru materiálu. Je však zapotřebí úvahy, zda tento je tento technologický postup správný. Vzhledem k výsledkům kontroly průtočného množství, je výsledkem pouze číslo, které udává celkové průtočné množství všemi lopatkami dohromady, tedy celého GTR. V takovém případě se nepočítá s možností rozdílného průtoku na každé lopatce samostatně. Není tedy zaručeno, že lopatka se správným, až hraničním maximálním průtokem nebude dále vybrušována a nebude tím oslabována tloušťka její stěny.

Naopak lopatka, která je na minimální hranici tolerance průtoku, bude zbroušena jen minimálně vůči celkovému úběru materiálu při broušení všech lopatek. Je na zvážení, zda postup kontroly průtočného množství, vzhledem k moderním možnostem měření na souřadnicových měřicích strojích, odpovídá současným standardům.

3.4.4 EDM

Jednou z technologií obrábění využití v průběžné výrobě GTR je technologií nekonvenčního obrábění EDM. Jedná se o technologii elektroerozivního obrábění (Electro Discharge Machining – EDM). Tímto obráběním jsou na dvou operacích vyjiskřovány tzv. “zámky” po obvodu rozvaděče. Taktéž dochází k děrování lopatek, které slouží pro chlazení.

Princip této nekonvenční technologie spočívá v elektrickém výboji, který vzniká mezi obrobkem a nástrojem – v tomto případě elektrodou. Mezi obrobkem a elektrodou je vytvořeno pulzní napětí, které v rychlém sledu periodicky přechází v elektrický výboj.



Výboj natavuje základní materiál a ten je v okamžiku odpařen do pracovní mezery mezi obrobkem a elektrodou. Mezera je neustále proplachována dielektrikem neboli pracovní kapalinou, v níž se celý proces odehrává. Dielektrikum má také funkci chladící, vzniklé výboje mohou dosahovat teploty až 12 000°C.

3.5 Proces tepelného zpracování

3.5.1 Alitace

Z funkce RTG vyplývá, že se jedná o tepelně velmi zatěžovanou součást. Zlepšení žárupevnosti a celkové odolnosti materiálu nad 1000°C je po stránce úpravy chemického složení obtížné a samotnou úpravou chemického složení není možno dosáhnout významných dalších posunů v odolnosti. Proto se v případě RTG přistupuje k povrchové úpravě materiálu – alitací.

Princip ochrany

Úkolem této povrchové úpravy, kdy dochází k sycení povrch součásti hliníkem, je vytvoření alitované vrstvy na povrchu žárupevné niklové slitiny. Na povrchu kovu se vytváří podvojný kysličník, který brání přístupu O₂ na vnější straně a na vnitřní straně zabraňuje difuzi z povlaku. V povrchové vrstvě materiálu hluboké do jedné setiny milimetru se váže většina Al na kysličníky. V této vrstvě vzniká sloučenina Al₂O₃. Směrem do hloubky materiálu obsah Al vázaného na oxidy rapidně klesá a částice Al jsou vázány v aluminidech niklu. [8]

Způsob alitování v GEAC, vychází z metody difuzivního nasycení povrchu slitiny z pevné fáze. (K nasycení může docházet také z plynné nebo kapalné fáze.) Alitování niklové slitiny se provádí metodou v zásypu.



3.5.2 Rámcový technologický postup alitace

Rámcový technologický postup alitace: [9]

1. Čištění

Kompletní očištění povrchu součástí. Co nejlepší odmaštění povrchu a případné tryskání povrchu směsí určenou podle základního materiálu alitované součásti.

2. Umístění dílu do přípravku

Alitovanou součást je třeba umístit do vhodného přípravku, který zajistí bezproblémový transport alitované součásti do pece a následné vyjmutí součásti z prostoru pece.

3. Chystání alitační směsi

Namíchání alitační směsi obsahující prášek Al_2O_3 , prášek Al a aktivátory NH_4F nebo NH_4Cl . Směs musí být řádně vysušena a promíchána.

4. Aplikace alitační směsi

V případě alitace v zásypu, nanesení alitační směsi obsahující Cr, Si nebo Al do oblasti kde má být vytvořen povlak. Při použití prášku není nutné nechat směs vysychat.

5. Úprava součásti v přípravku

Je možno zakrýt místa, která nemají být povlakována speciální směsí blokující difuzi Al do základního materiálu.

6. Založení přípravku do pece

Přípravky s usazenými RGT jsou přemístěny do předehřáté pece.

7. Zahřátí komponent

Zahřátí pece na teplotu v rozsahu od 750 °C do 1200 °C s výdrží na teplotě od 1 do 20 hodin podle složení alitační směsi. Pec je proplachována inertním plynem.

8. Ochlazení pece a vyjmutí alitované součásti

Po ukončení ohřevu je pec pomalu vychlazena na teplotu, kdy lze otevřít a vyjmout přípravky.

9. Čištění

Alitovaná součást je vyjmuta z přípravku a očištěna od zbytků alitační směsi.



4 Rozbor výrobních časů

Vzhledem ke složitosti celého výrobního procesu – průběžné výroby RGT a vysokému počtu operací, je na místě věnovat určitou pozornost celému procesu z hlediska plánování výroby a uspořádání celého procesu způsobem, vedoucí k minimalizaci zbytečných prodlev a zdržením a zkrácení průběžné doby výroby.

4.1 Operace v průběžné výrobě GT rozváděče

Celkový počet operací v průběžné výrobě RGT je roven 57. Všechny tyto operace jsou vypsané v následující tabulce č. 5, která zobrazuje všechny operace podle názvu operace a jejího čísla.

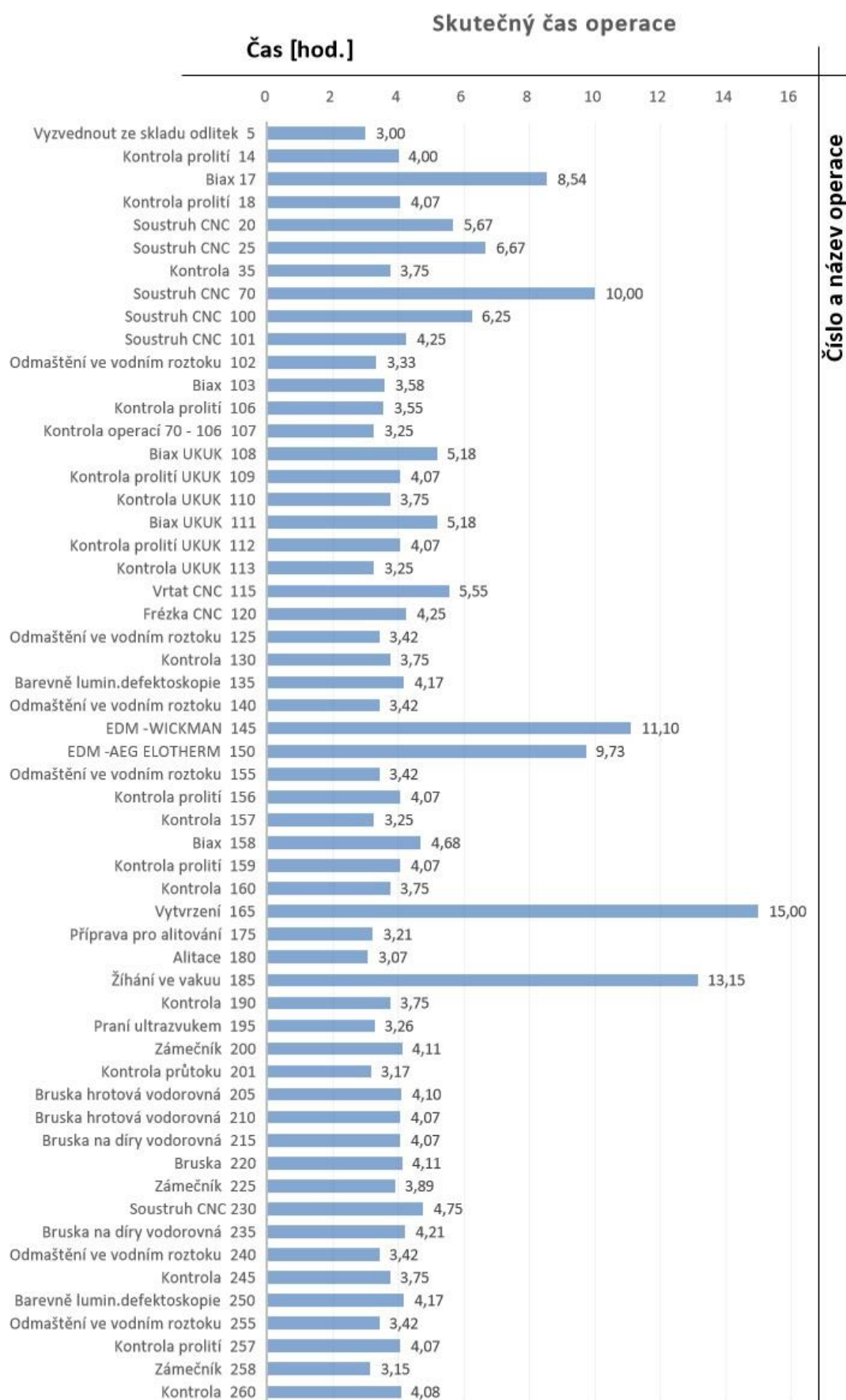
Pro každou operaci byl zjištěn její průběžný čas, který je dán hodnotou času přípravného – v tomto případě povětšinou Dávkového, času strojního – Kusového a času který je do celkové hodnoty započítán také – TRANSPORT. Časová položka TRANSPORT je obsažena v každé operaci a je stanovena na hodnotu 180 min.

Tato hodnota je stejná pro každou výrobní položku a každou operaci, která je v GEAC prováděna. Z hlediska úspory času a měření časové náročnosti se cyklus 180 minut jeví jako velká časová ztráta, obzvláště pokud je TRANSPORT přiřazen každé jednotce a každé operaci. V konečném důsledku součtu času TRANSPORT, vychází velmi vysoká hodnota, až několik stovek hodin, které by se daly označit jako zbytečné prodlevy a ztráty. Zařazení této však nezbytné časové prodlevy souvisí s celkovým pojetím výroby a organizace v GEAC. Jedním z důvodů, proč dosahuje tato hodnota takové výše, je vykrývání možných a často vzniklých problémů v průběžné výrobě ze strany plánování výroby.

Vzhledem k počtu vyráběných součástí v GEAC, jde o velmi vysoké číslo. Naproti tomu je však omezeno množství pracovišť, na kterých lze tyto díly vypracovávat, stejně tak jako kapacita samotných pracovišť. Společnost samozřejmě ví, jaká bude produkce motorů pro současný rok. Z toho se odvíjí počet potřebných dílů a v závislosti na tom plánování výroby. Na jednom pracovišti se vyrábí více dílů, je proto zapotřebí mít výrobu naplánovanou dle potřebné produkce. Do výroby nových součástí však ještě vstupuje významný činitel a tím je produkce a repasování dílů přicházející z rozebraných motorů, které byly do GEAC doručeny z důvodu generální opravy. Je tedy potřeba započítat do kapacit i tyto díly, které ubírají značnou část kapacity pracovišť.



Tabulka 5 - Délka trvání operace podle technologického postupu





4.2 Systém plánování

Ke správnému chodu podniku je třeba mít stanovenou strategii pro plánování výroby. Nejčastější systém pro plánování, je kapacitní plánování výroby. Tato metoda vychází ze znalosti kapacity daných pracovišť a požadavku o velikosti materiálového toku (tokou součásti dílnou) podnikem, respektive danými pracovišti. Na základě těchto informací lze hodnotit, zda množství materiálu určeného pro zpracování strojem (pracovištěm) odpovídá kapacitě stroje a stroj je schopen tento materiálový tok zpracovat v určitém časovém limitu. Tomu všemu navíc pomáhají informační podnikové systémy pro řízení výroby, které jsou schopny přesně vyjádřit a zobrazit využití kapacit, celkový objem operací v časovém úseku nebo spočítat časy operací a porovnat s konkrétní kapacitou stroje. [17]

V rámci GE Aviation Czech jde z hlediska plánování o tzv. nekapacitní plánování. Nelze to ovšem chápat způsobem, že plánování neprobíhá bez vnitřních znalostí o možnostech využití stroje. Vnitřní systém plánování vychází z dlouhodobé znalosti všech pracovišť a ročních objemů produkce. Všemmu také napomáhá vnitřní informační podnikový systém – software ORACLE.

Nekapacitní v tomto případě znamená plánování výroby potřebného množství výrobků, bez ohledu na aktuální kapacitu stroje. Slovo aktuální je v tomto případě velmi důležité, neboť aktuální znamená pro určité pracoviště naplánovaný určitý počet hodin, zpětně, bez ohledu na potřebu aktuální produkce. Jako příklad si lze představit výrobní zakázku o určitém množství součástí jednoho druhu. Pro vypracování této zakázky je reálně potřeba 1,5 denní směny. Ze strany provozní – plánování směň je však započtena jen 1 denní směna. V konečném důsledku to znamená, že k této kapacitě 1 směny se musí připočítat minimálně požadované ½ směny další, ve formě přesčasu na pracovišti, vyhotovení zakázky na dalším stroji nebo získání operátora z jiného pracoviště, aby daný stroj mohl být používán déle, než jednu směnu pracovníka. Výhody tohoto plánování jsou zejména ve flexibilitě pracovní kapacity – její přizpůsobení aktuálním požadavkům na objem produkce. Na druhou stranu, není zcela možné vždy pokrýt tento požadavek a to z mnoha důvodů jako jsou chybějící operátor nebo vytížení stroje jinou zakázkou.



4.2.1 Analýza využití času

Pro detailní pohled na věc z hlediska efektivnosti využití času na jednotlivých operacích, byl vypracován graf - tabulka č. 6. Tato tabulka znázorňuje průměrný čas pro jednotlivé operace v porovnání s časovou ztrátou na každé operaci. Jednotlivé průměrné délky trvání operací a prostojů na operacích, byly vypracovány z dat shromážděných a extrahovaných z podnikového informačního systému. Průměrný čas pro každou operaci, je čas roven pro vypracování jednoho dílu. Tento čas je celkový, tvořen položkami čas přípravný, čas pro vypracování operace a čas transportu. Při porovnání průměrného výrobního času s časem stanoveným operační návodkou na vypracování dané operace – skutečný čas operace [tabulka č. 5] zjistíme, že tyto časy se příliš neliší. Naopak, v mnoha případech vycházejí průměrné časy výroby kratší, nežli časy stanovené operační návodkou každé operace. Zvýšenou pozornost je však třeba věnovat druhé části grafu č. 6 a tím je pole červených sloupců – časové ztráty v hodinách na každé operaci.

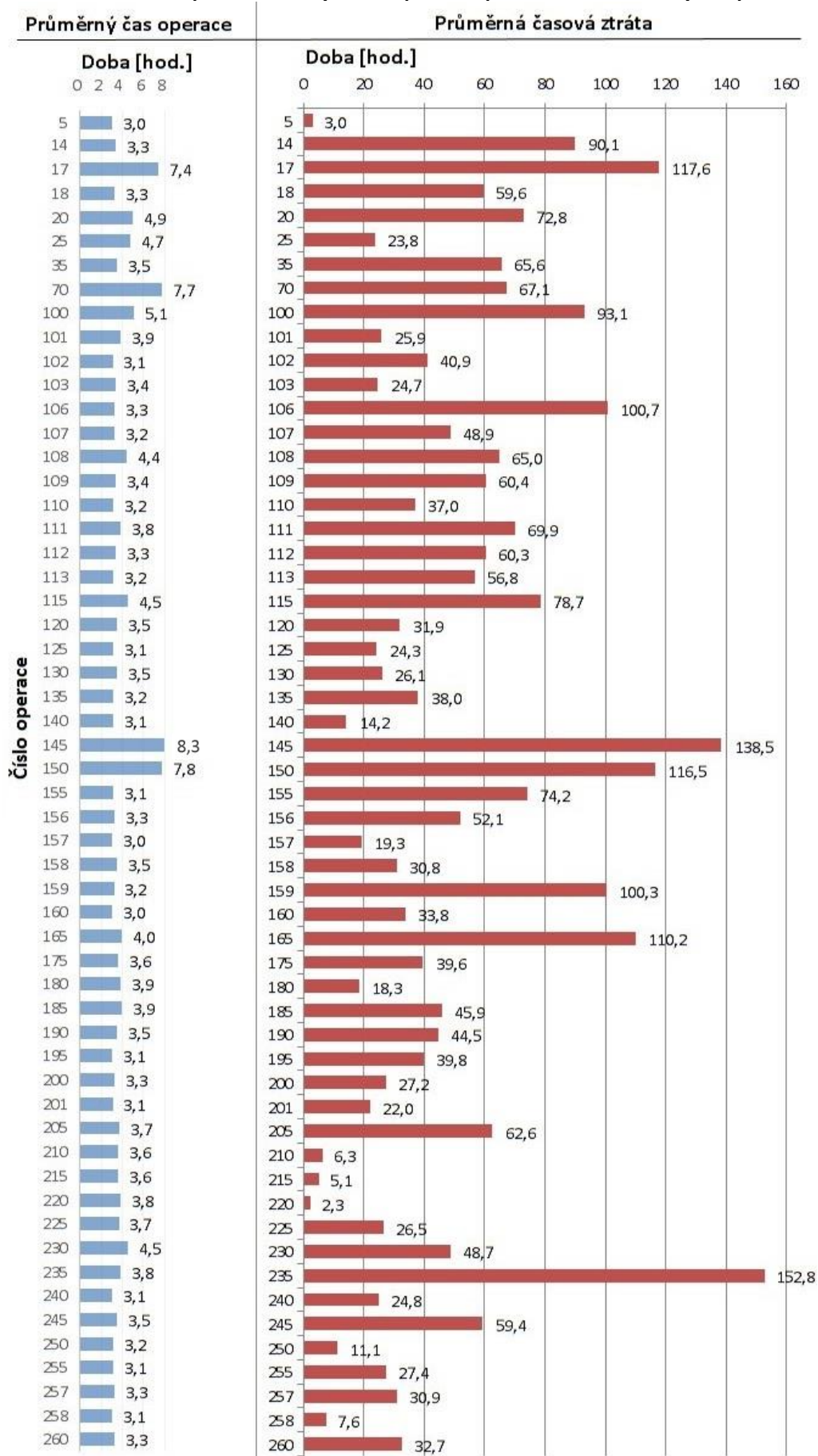
4.2.2 Analýza časových ztrát

Jak již plyne z předešlé kapitoly [4.2.1] a jednoznačného grafického zobrazení tabulky č. 6, je možno říci ovšem s nadsázkou, že celkový proces by bylo možno urychlit a průběžnou dobu výroby zkrátit několika násobně, tedy v řádech stovek procent prostým odstraněním časové ztráty. Této možnosti však brání jisté příčiny, které byly zmíněny na v kapitole [4. 2] a samostatné dílčí příčiny na jednotlivých pracovištích. Dílčími příčinami na pracovištích se v rámci jednoho stroje bude práce nadále zabývat.

Při detailním rozboru celé problematiky prostojů a časových ztrát lze zjistit, že spotřeba času kladná - kdy se na součásti skutečně pracuje, tvoří ani ne 10% z celkové průběžné doby výroby. Zbylých 90% času průběžné doby výroby lze označit za zbytečné prostoje a časové ztráty, které podniku nepřináší zisk. Na danou problematiku se však musíme dívat s jistým nadhledem, neboť v případě výroby RGT ale i ostatních součástí v GEAC, jde o výrobu kusovou, nikoliv sériovou z hlediska počtu vyrobených součástí za rok. I tak je v tomto případě na místě, věnovat zvýšenou pozornost této problematice a pokusit se jistými kroky o snížení průběžné doby výroby, zejména s ohledem na stále rostoucí produkci.



Tabulka 6 – Porovnání průměrné délky trvání operace a průměrné časové ztráty na operaci





Jako nástroj důsledné analýzy časových ztrát, byla zvolena Paretova analýza. Paretova analýza je postavena na jednoduchém principu - Pravidlo 80/20. Toto pravidlo udává, že 80% následků, je způsobeno 20% veškerých příčin z 100% možných příčin. Procentuální podíl nemusí být brán doslovně, avšak z velké části opravdu platí. Pro možnost základního posouzení a rozboru podílu příčin na časové ztrátě, byl pomocí Paretovy analýzy vypracován graf [tabulka č. 7] rozkrývající podíl jednotlivých příčin na celkové časové ztrátě [časové ztráty v hodinách na každé operaci - 4.2.1].

4.2.2.1 Příčiny časové ztráty

Souhrnný graf, zobrazující podíl příčin na celkové časové ztrátě byl vypracován z dat zpracovaných v tabulce č. 6. Z této tabulky, která zaznamenává délku časové ztráty na každé operaci, byla sestavena ucelená podoba, s pomocí již zmíněné Paretovy analýzy. Už při prvotním pohledu do tabulky lze odhalit, že se zpracované data blíží podobě pravidla 80/20.

Přes 30% celkové časové ztráty je tvořeno 8 operacemi z celkového počtu 57 operací. Více jako polovinu, tedy přes 50% časové ztráty je tvořeno 14 operacemi. Jde tedy o poměr 50/25 – 50% celkové časové ztráty je tvořeno 25% příčin z 100% všech příčin.

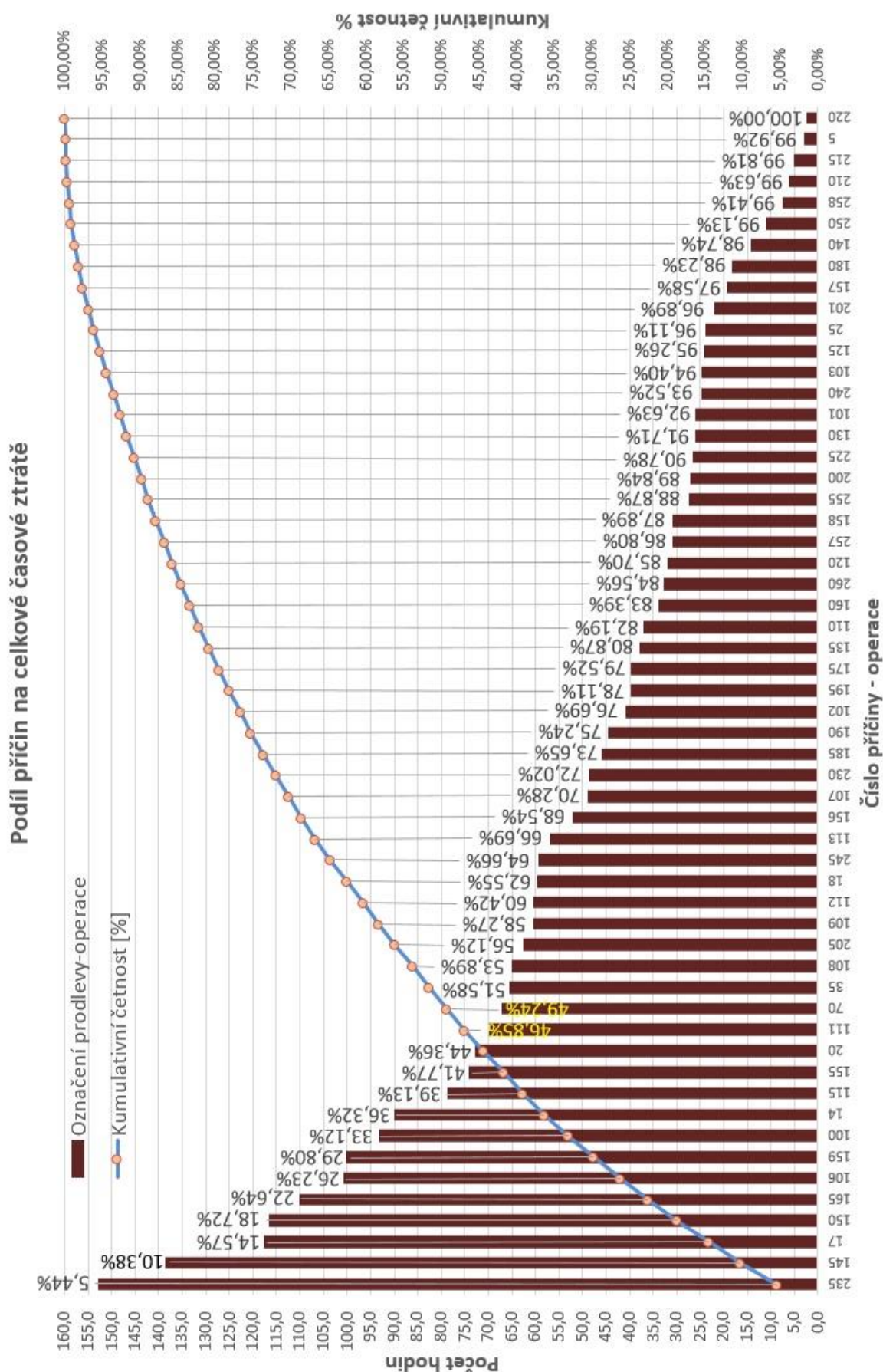
Z pohledu počtu ztracených hodin jsou nejhorší operace číslo:

- 235 – Bruska na díry vodorovná
- 145 - EDM
- 17 – Broušení BIAx
- 150 - EDM
- 165 - Vytvrzení
- 106 – Kontrola průtočného množství
- 159 – Kontrola průtočného množství

Tyto operace jsou svojí časovou ztrátou nad hranicí 100 hodin. Od této hranice časová ztráta rapidně roste. Jako výchozí bod pro optimalizaci celého procesu by mohli být zvoleny tyto operace. Do hlavní časové ztráty, kterou tvoří těchto 8 operací je navíc zařazena operace č. 100, s kterou časová ztráta překonává hranici 30% celkové časové ztráty.



Tabulka 7 - Podíl příčin na celkové časové ztrátě





4.2.2.2 Nápravná opatření

Při analýze časových ztrát, bylo prvním krokem určení hlavních příčin těchto ztrát. Dalším krokem je zjištění, zda získaná data a jednotlivé datové výstupy nejsou nikterak zkreslené a zda opravdu odpovídají realitě. Do této části můžeme zařadit body:

- Ověření věrohodnosti zapisování a ukládání dat do systému. Je třeba objasnit, zda na daném pracovišti probíhá odepisování práce dle správného postupu, zda jsou všichni operátoři pracoviště správně obeznámeni s prací v podnikovém systému a zda dodržují zásady pro přihlašování se a odhlašování z dané zakázky.
- Umělé navýšení času špatnou prací s odepisováním zakázky. Jako bylo zmíněno v předešlém bodu, je třeba zaručit, zda při práci na určité zakázce a přerušení práce např. z důvodu konce směny, nezůstal operátor přihlášen na dané zakázce a nedošlo k umělému navýšování času výroby – resp. časové ztráty.
- Je třeba ověřit, zda jednotlivé časové ztráty nejsou z části započteny do průměrného času výroby. V tomto případě mohlo dojít k situaci, kdy operátor započal práci na dané zakázce bez přihlášení do systému a následné přihlášení a odepsání zakázky pak proběhlo ve velmi krátkém čase, zatímco časová ztráta – čekací doba, narůstala.

Mezi stěžejní body pro vypracování celkové analýzy procesu pro možnost snižování časové ztráty můžeme zařadit:

- Vypracovat analýzu na úzká místa podniku, resp. zjistit, zda některé z pracovišť v průběžné době výroby RGT nejsou úzkými místy, kde dochází ke ztrátám v důsledku nízké kapacity pracoviště a vysokého objemu materiálu čekajícího na zpracování.
- Získání dat z monitorování výroby konkrétního pracoviště (stroje) a určit využití kapacity pracoviště. Častým případem je možnost nevyužití kapacity pracoviště s důvodů zmíněných v kapitole [4.2.3.1.]. Naopak, z těchto dat lze zjistit, zda dané pracoviště není úzkým místem ve výrobě.
- Ověření správného fungování logistických procesů – přesun materiálu mezi pracovišti.
- Ověření plánování výroby. Zjištění, zdali je kapacita stroje plně využita naplánovanou výrobou.



- Na základě dat získaných ze systému, ověření reálného fungování na pracovišti. Posouzení tvrzení operátorů o jejich možnostech a vzájemného porovnání vykázaných výsledků operátorů.
- Ověření nastavení správné velikosti dávky. Optimální velikost dávky je rozhodující pro správné využití kapacit specifických strojů, např. pecí pro tepelné zpracování.

U výše stanovených základních příčin (operací), tvořících přes 30% celkové časové ztráty, lze jednoznačně doporučit dílčí samostatné analýzy, které rozkryjí důvody zdržení na jednotlivých operacích – pracovištích. K jednotlivým příčinám časových ztrát v průběžné době výroby RGT, je také třeba vypracovat analýzu na možnost vniku úzkých míst. Zjednodušeně lze říci, že v případě časové ztráty na určité operaci – potažmo pracovišti, lze dosáhnout dvěma způsoby. V prvním případě jde o možnost, kdy kapacita pracoviště není využita na 100% nebo naopak v případě souvisejícím z tvorbou úzkých míst, kapacita pracoviště je překročena. V kombinaci obou dvou případů, pak časová ztráta výrazně narůstá.

4.2.3 Analýza časových ztrát pracoviště CNC soustruh

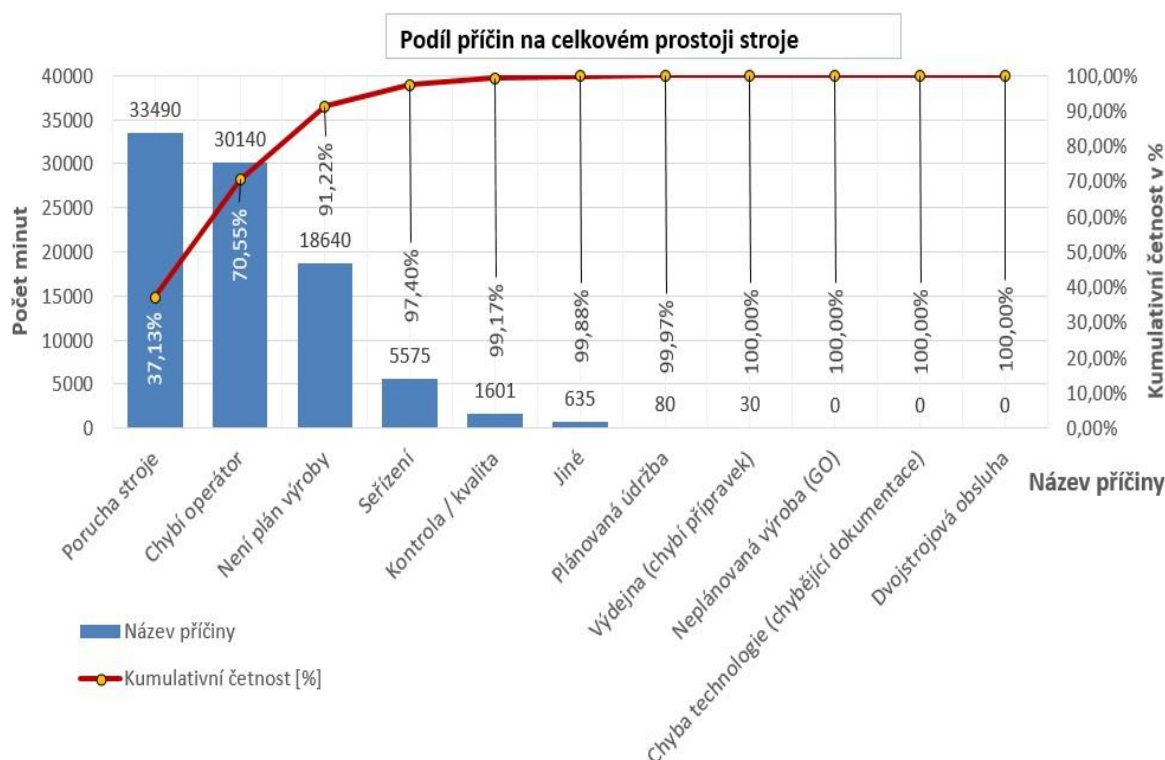
Jedním z problémů, kterým se práce nadále zabývá, je snižování časové ztráty, prostojů a možnosti urychlení procesu obrábění na konkrétním pracovišti. Jedná se o pracoviště CNC soustruhu Masturn 550. Na tomto pracovišti jsou vykonávány operace č. 100 a 20. Operace č. 100 je z hlediska časových ztrát na 8 místě s příspěvkem do celkové časové ztráty 3,3%. Operace č. 20 je s celkovou průměrnou časovou ztrátou téměř 75 hodin a příspěvkem na celkové časové ztrátě 2,6% na 12 místě.

4.2.3.1 Časová ztráta stroje

Pro případná nápravná opatření, bylo zapotřebí vypracovat analýzu prostoje jednotlivého stroje. Tato analýza si vyžádala sběr dat z podnikové řídicího systému, do kterého jsou zaznamenány ztráty dle příčiny a také množství ztrátových minut. Následně proběhlo třídění těchto dat z pohledu jejich četnosti a vypracování samotné analýzy. Pro detailní pohled na zpracovaná data bylo použito opět Paretovy analýzy.



Tabulka 8 - Podíl příčin na celkovém prostoji stroje



Zpracovaná data obsahuje graf [tabulka č. 8]. Zde se můžeme zaměřit především na první 4 příčiny prostojů. Tyto prvotní 4 příčiny tvoří více než 97% celkového času prostojů. Jejich případnou eliminací lze tedy teoreticky získat až 97% ztraceného času. Jako prvotní příčina, která v daném období tvoří přes 37% ztráty, je uvedena porucha stroje. Z hlediska sběru dat za určité období čítající 4 měsíce, lze tedy tuto informaci brát s jistým nadhledem. Pokud by porucha stroje nevstoupila do procesu Paretovy analýzy, v zobrazení podílu příčin by na prvním místě byla příčina – Chybějící operátor. V konkrétním případě stroje Masturn 550/800, má však pro podnik i tento výsledek vypovídající hodnotu. Vzhledem k déle trvajícím problémům a samotnému staří stroje, je možno očekávat podobné problémy s poruchovostí i do budoucna.

Z pohledu logistického problému, kterou značí příčina na 3 místě – Není plán výroby, doporučuji věnovat řešení tohoto problému zvýšenou pozornost, neboť případné odstranění problému lze zajistit s minimálními náklady a ve své podstatě jednoduše. Nápravným opatřením je ověření plánování výroby a zjištění, zdali je pro daný stroj naplánované plné využití kapacity s dostatečným předstihem.

Řešení problému příčiny na 2 místě – Chybějící operátor stroje, bude pravděpodobně vyžadovat zvýšené náklady na zaplacení např. přesčasů dalšího operátora nebo získání dalšího nového operátora stroje.



4.3 Vyhodnocení rozboru výrobních časů

Podstata snižování průběžné doby výroby, spočívá v odstranění časových ztrát a zefektivnění veškerých procesů. V této kapitole byl věnován prostor pro rozebrání, analýzu veškerých operací vstupujících do průběžné doby výroby RGT a s nimi souvisejících časových ztrát, které nalezneme u každé jedné operace. V návaznosti na popis systému plánování, soupisu jednotlivých operací a jejich rozebrání z hlediska časové náročnosti byl vypracován soupis operací a rozčlenění času operací na čas kladný a samostatnou časovou ztrátu. Na základě časových ztrát byla vypracována Paretova analýza, která určuje počet operací – příčin, jenž mají největší podíl na celkové časové ztrátě v průběžné době výroby. Bylo zde zjištěno, že celkové časové ztráty 30%, je dosahováno pouhými 8 operacemi z celkového počtu 57 operací. Na časové ztrátě přes 50%, má pak podíl 14 operací. K zjištěným příčinám s největším podílem na časové ztrátě, je doporučeno prověření situace dle zmíněných bodů nápravných opatření [4.2.2.2].

Mé doporučení pro další kroky vedoucí k úspěšnému snižování průběžného času výroby, je přistoupit individuálně ke každé příčině - operaci a vypracovat analýzu obsahující rozkrytí jednotlivých specifických důvodů, díky kterým dochází na určených operacích – příčinách k tak velkým časovým ztrátám. Jeden z bodů analýzy bude také provedení výzkumu, zda daná místa nejsou úzkými místy podniku nebo naopak zda jsou dostatečně vytížena.

Další část této kapitoly byla věnována konkrétnímu pracovišti - potažmo jisté operaci, která je na tomto pracovišti prováděna a časová ztráta na ní dosahuje poměrně vysoké hodnoty. Jedná se o pracoviště CNC soustruhu Masturn 550. Pracovišti soustruhu a operaci soustružení, se ve své práci věnuji jednak z důvodu dosahování velkých časových ztrát ale hlavně také z důvodu mého studijního zaměření na ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie. Jedním z problému při obrábění rozvaděče generátorové turbíny, je pomalá rychlost soustružení vzhledem k obráběnému materiálu Rene 108. Snižování průběžné doby výroby, by mělo být realizováno od základu samotného problému. V případě pomalého obrábění a ostatních problému spojených s tímto procesem je právě řešení této problematiky výchozím bodem k možnému dalšímu postupu v oblasti snižování průběžné doby výroby dílů.



5 Obrábění materiálu Rene 108

5.1 Problémy při obrábění GT rozváděče

Jedním z hlavních problémů obrábění materiálu RENE 108, je celková struktura tohoto materiálu. Poměrně dobře obrobitelná niklová fáze je vyplněna disperzními karbidy legujících prvků, které pomáhají tvořit vlastnosti tohoto materiálu. Rozložení legujících prvků a jejich karbidů však není v rámci objemu materiálu homogenní (i když prvořadou snahou je, mít materiál o homogenním složení). V důsledku heterogenního rozložení nastává z hlediska obrábění problém, kdy břitová destička v záběru naráží na vyloučené velmi tvrdé karbidy a tím musí absorbovat tvrdé rázy. Další problém při obrábění materiálu Rene 108, je charakterizován vysokou teplotou na ostří destičky, právě díky legujícím prvkům (vysoký obsah Cr). Tato teplota způsobuje vysoké opotřebení, vylamování ostří, vznik vrubů na ostří a případný lom. Všechny tyto faktory snižují životnost nástroje a mají negativní vliv na deformaci špičky nástroje, dokonce i za nízkých rezných rychlostí.

Jeden z dalších závažných problémů nastává z pohledu obrábění samotného RGT a tvaru odlitku - tím je přerušovaný řez. Přerušovaný řez se děje při základních hrubovacích operacích, kdy jsou soustruženy určité plochy, na kterých se vyskytují zbytky po nálitcích. Tyto zbytky po ubroušených nálitcích způsobují nekonstantní hloubku řezu ap a tedy cyklicky se zvyšující a snižující namáhání na břitovou destičku. Následkem nesouvislého řezu jsou především silné vibrace obrobek - nástroj ale i vibrace přenášející se do celého stroje. Tento řez má také velmi destruktivní dopad na samotné břitové destičky, kdy v mnoha případech dojde k ulomení břitové destičky během záběru a pro odebrání poměrně malého množství materiálu musí být destičky často měněny.

Pro reálné posouzení opotřebení břitové destičky bylo toto opotřebení změřeno a zaznamenáno mikrometrickou metodou. Měřené destičky byly využity pro základní hrubovací operace.



5.2 Měření opotřebení břitových destiček

Jedním z důvodů měření opotřebení břitové destičky, je skutečnost zjištění opotřebení v souvislosti s nastavenými řeznými rychlostmi v_c a trvanlivostí T a možností změny těchto parametrů. V operacích soustružení dochází velmi často k výměně břitové destičky nebo jejímu otočení a použití více řezných hran destičky. Jednotlivé náměry opotřebení definují, zda jsou destičky měněny správně ve stavu krajního opotřebení VB, resp. zdali jsou otáčeny na jinou řeznou hranu ve vhodný moment a nelze je dále použít pro další operaci soustružení. V případě výměny břitové destičky dříve než je potřebné, dochází k zbytečným finančním ztrátám ale také k navyšování vedlejšího neproduktivního času a tím k navyšování časových prodlev. V případě výměny břitu později, než je výměna stanovena podle maximálního opotřebení VB, dochází k snižování kvality obrobeneho povrchu.

5.2.1 Použité nástroje a zařízení

Měření břitové destičky jsou převzaty po soustružnických hrubovacích operacích, které jsou základními operacemi při obrábění RGT. Všechny tyto operace jsou prováděny na CNC soustruhu Masturn 550/800 [kapitola 3.4.1.]. Základní údaje o použitém zařízení jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9 - Použitá zařízení v rámci obrábění

Použitá zařízení	Název zařízení	Výrobce
<i>CNC soustruh</i>	Masturn 550/800	Kovosvit MAS
<i>Nožová hlava</i>	MULTIFIX D1	MULTIFIX
<i>Soustružnický nůž</i>	DSSNR / PDJNL	ISCAR
<i>Břitové destičky</i>	TF/EM-R IC 806	ISCAR

Použitá zařízení v rámci měření

V rámci měření opotřebení destiček, byla použita aparatura pro optické vyhodnocení opotřebení. Tato aparatura se nachází v materiálové laboratoři společnosti GEAC. Seznam použitého zařízení udává tabulka č. 10.



Tabulka 10 - Použitá zařízení pro měření opotřebení

Použitá zařízení	Název zařízení	Výrobce
<i>Optické vyhodnocení</i>	Stereomikroskop Stemi 2000-c	Zeiss
<i>Snímač fotografie</i>	Canon EOS 550D	Canon
<i>Software</i>	AxioVision	Zeiss

Upínací systém MULTIFIX

Upínací systém soustružnického nože nese označení MULTIFIX D1 [obrázek č. 14]. Tento rychloupínací systém výrobce MULTIFIX s označením řady D1, nahrazuje klasickou nástrojovou hlavu nebo revolverový zásobník nástrojů. Jde o systém jedinečné a letité konstrukce, který je umístěn v místě klasické nástrojové hlavy. Předností tohoto systému, je velmi rychlá výměna nástrojů a kompatibilita s desítkami různých držáků soustružnického nože. Systém výměny je velmi přesný a jednoduchý na obsluhu. Nevýhodou, která se může projevit zejména a při obrábění velmi tvrdých materiálu (do kterých RENE 108 spadá), je možnost při zvýšených rázech v místě obrobek – nástroj, vyhnutí MULTIFIXU z jeho centrované polohy. Polohu MULTIFIXU zajišťuje jeden centrální šroub vycházející ze supportu stroje. [10]

Jako samostatný držák soustružnického nože je použit držák ze sady držáků BERNARDO [obrázek č. 15] vzájemně použitelný se systémem MULTIFIX. Výměna probíhá velmi rychle a jednoduše.



Obrázek 14 - Nožová hlava MULTIFIX D1 [10]



Obrázek 15 - Držák soustružnického nože [11]

Charakteristika soustružnického nože

Použitý soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou je označen jako:

Pro VBD SNMG EM-R IC 806 je použit nůž DSSNR 2525M-12

Tento nůž slouží k upnutí destičky s úhlem ostří 45° s negativní geometrií.

Pro VBD DNMG TF IC 806 je použit nůž PDJNL 2525M-15

Tento nůž slouží k upnutí destičky s úhlem ostří 55° s negativní geometrií.



Obrázek 16 – Soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou [12]

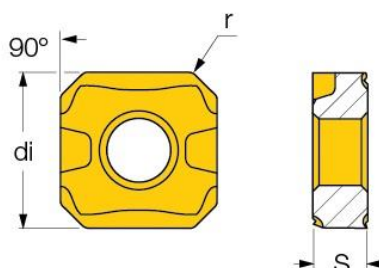


Charakteristika destičky

SNMG 120408-EM-R-IC 806 Iscar



Obrázek 17 - Břitová destička SNMG IC 806 (nahore)



Obrázek 18 - Geometrie břitové destičky SNMG IC 806 (vpravo)

Jedná se o čtyřhrannou břitovou vyměnitelnou destičku se 4 řeznými hranami (2 na každé straně), geometrie je provedena se zkosenými hranami pro lepší odvod tepla. Úhel sklonu ostří vůči obrobku je 45°. Destička je navržena pro použití na hrubování těžce a vysokoteplotně odolných materiálů. [18]

Tabulka 11 - Parametry břitové destičky SNMG IC 806

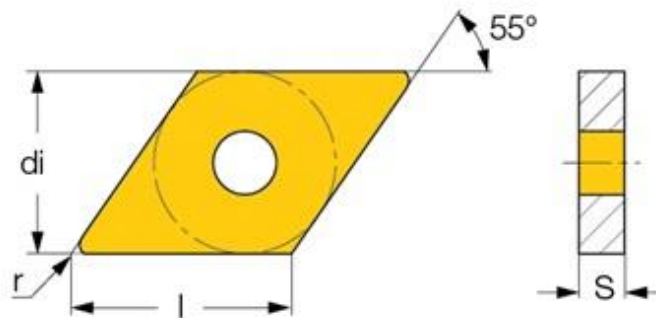
SNMG EM-R IC 806	
Typ povlaku	PVD
Složení povlaku	Al-Ti-N "SUMO TEC"
HRA	92.8
TRS [N/mm ²]	3380
Doporučená V_c	30-40 m/min



DNMG 150408-TF IC806 Iscar



Obrázek 19 - Břitová destička DNMG TF IC 806 (nahore)



Obrázek 20 - Geometrie břitové destičky DNMG TF IC 806

Tato břitová destička tvaru kosočtverce, je dvoustranou destičkou s úhlem špičky 55°. Pozitivní úhel čela se postupně směrem k hraně břitu mění v negativní z důvodu snížení působení účinku vylamování částic na ostří. Destička je určena pro soustružení všech druhů ocelí a také materiálů vysoko pevných. [18]

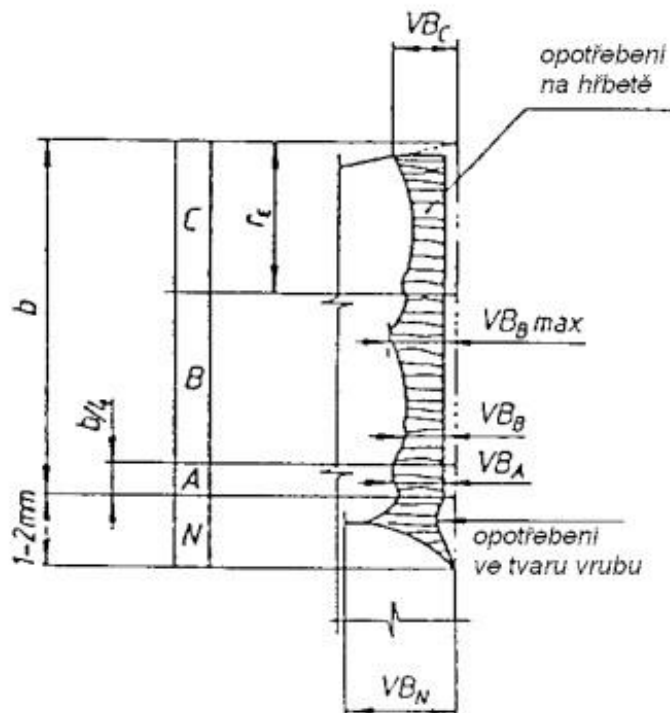
Tabulka 12 - Parametry břitové destičky DNMG TF IC 806

DNMG TF IC 806	
Typ povlaku	PVD
Složení povlaku	Al-Ti-N "SUMO TEC"
HRA	92.8
TRS [N/mm ²]	3380
Doporučená V_c	30-40 m/min



5.2.2 Vyhodnocování opotřebení

K vyhodnocení opotřebení každé břitové destičky a jejich řezných hran, došlo po ukončení cyklu-jedné operace, ve které byla destička použita. Čas cyklu je zapsán v tabulce č. 10. Měření opotřebení je soustředěno na získání hodnoty VB – opotřebení na hřbetu nástroje. Byla získána průměrná hodnota VB_B – opotřebení přímé části ostří průměrné.



Obrázek 21 - Forma opotřebení dle ISO 3685 [14]

Měření proběhlo na stereomikroskopu při zvětšení 40x až 50x podle potřeby. Ze získaných snímků lze také odvodit velikost vydrolení ostří, což je jedno z dalších nejčastěji se vyskytujících forem opotřebení. Náměry jednotlivých hodnot jsou zaznamenány v tabulce č. 10.

Doporučená maximální velikost opotřebení VB na hřbetu nástroje, je výrobcem břitových destiček u konkrétních měřených kusů stanovena na hodnotu:

$$VB = \max. 0,28\text{mm}$$



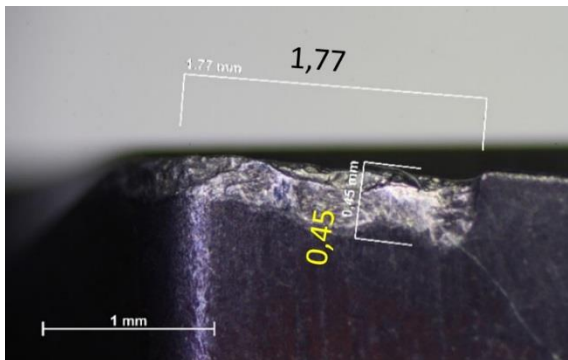
Tabulka 13 - Provozní technologické podmínky a náměry opotřebení jednotlivých břitových destiček

Břítová destička	v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t záběru [min]	Břit	VB [mm]
1. SNMG EM-R IC 806	28	0,14	1,5	32	5	I.	0,22
						II.	0,35
						III.	0,2
						IV.	0,28
2. SNMG EM-R IC 806	28	0,14	1,5	32	5	I.	0,35
						II.	0,24
						III.	0,34
						IV.	0,38
3. SNMG EM-R IC 806	28	0,14	1,5	32	5	I.	0,27
						II.	0,27
						III.	0,22
						IV.	0,24
4. SNMG EM-R IC 806	28	0,14	1,5	32	5	I.	0,22
						II.	0,16
						III.	0,16
						IV.	0,18
5. DNMG TF IC806	35	0,14	1,5	66	6	I.	1,14
						II.	0,25
						III.	0,3
						IV.	0,28
6. DNMG TF IC806	35	0,14	1,5	66	6	I.	0,19
						II.	0,21
						III.	0,8
						IV.	0,31
7. DNMG TF IC806	35	0,14	1,5	66	6	I.	0,24
						II.	0,28
						III.	0,21
						IV.	0,28
8. DNMG TF IC806	35	0,14	1,5	66	6	I.	0,52
						II.	0,24
						III.	1,31
						IV.	0,29

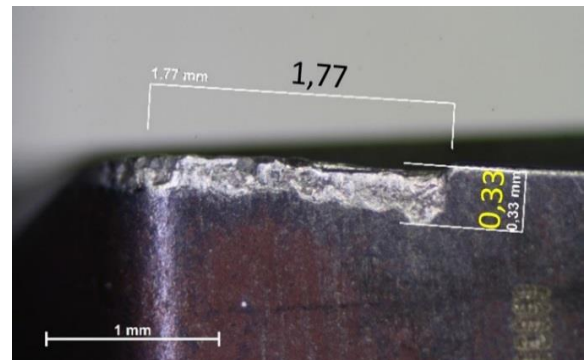


5.2.3 Snímky opotřebení

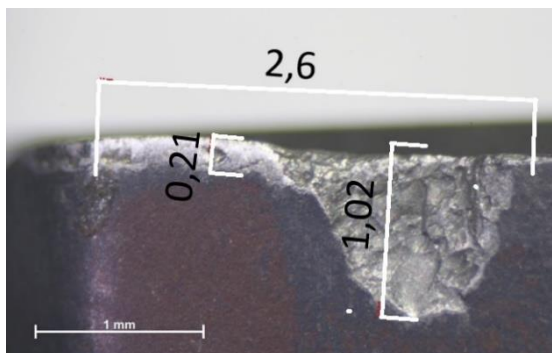
Hodnoty opotřebení byly odečteny ze získaných snímků. Díky softwaru AxioVision bylo do snímků promítnuto měřítko 1[mm] a pomocí promítnutých kót odečteno opotřebení. Byla vybrána hodnota symbolizující hodnotu opotřebení průměrné VB_B . Snímky opotřebení jsou nadále přiloženy, jako ilustrace reálného opotřebení. Pro každou destičku je opotřebení zobrazeno na 1 řezné hraně.



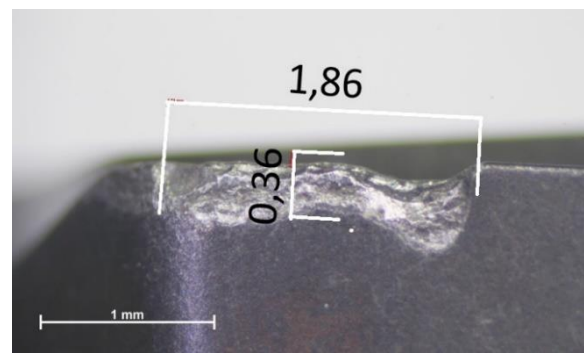
Obrázek 22 - Opotřebení břitu destičky 1. SNMG



Obrázek 24 - Opotřebení břitu destičky 2. SNMG



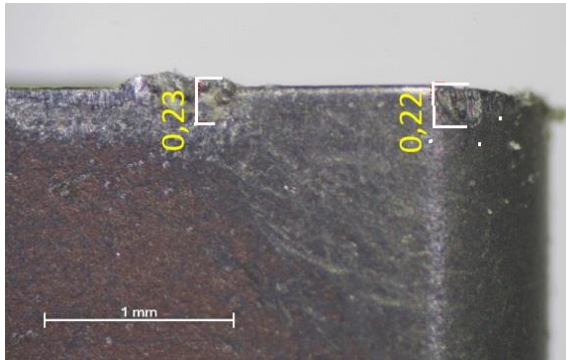
Obrázek 25 - Opotřebení břitu destičky 3. SNMG



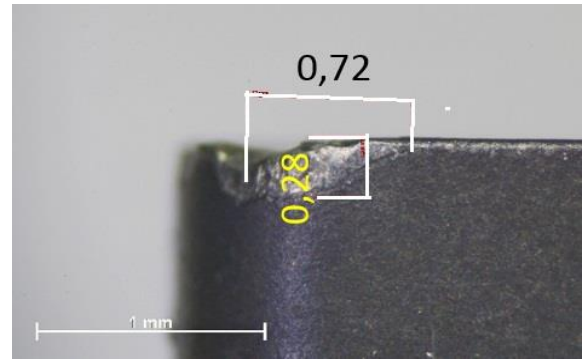
Obrázek 23 - Opotřebení břitu destičky 4. SNMG

Na obrázku č. 24, si je možno povšimnout opotřebení ve formě velkého záseku.

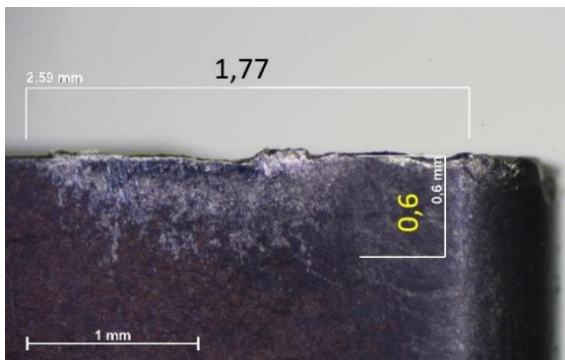
V takovém případě jde o maximální opotřebení ve tvaru zubu VB_N . V ostatních případech se opotřebení ve formě zubu objevuje také. Důležitá je však vždy hodnota průměrného opotřebení.



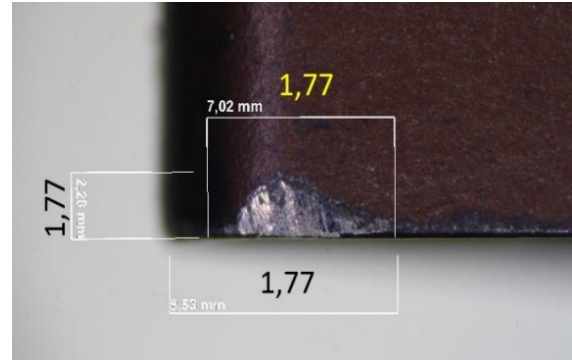
Obrázek 27 - Opotřebení břitu destičky 3. DNMG



Obrázek 26 - Opotřebení břitu destičky 4. DNMG



Obrázek 29 - Opotřebení břitu destičky 1. DNMG



Obrázek 28 - Opotřebení břitu destičky 2. DNMG

5.2.4 Vyhodnocení měření opotřebení

Výsledné náměry potvrdily opotřebení destiček. Všechny tyto destičky byly vyřazeny operátorem v okamžik daný praktickými zkušenostmi s daným typem břitových destiček. Mikrometrickým měřením se potvrdilo, že destičky jsou opotřebované do značné míry a není možno s nimi již nadále obrábět se 100% jistotou dodržení požadované kvality obrobené plochy. V porovnání s praktickými zkušenostmi vyplývá a tímto náměrem byla potvrzena hodnota ze všech náměrů jako průměrná, opotřebení $>0,3$ mm je hraniční v případě opotřebení hřbetu nástroje VB.

Stereomikroskopickými snímky bylo také dokázáno značné opotřebení ostří – vydrolení ostří. V případě obrábění materiálu RENE 108, jde o jev spojený se zmíněnou integritou a nehomogenitou materiálu. Vydrolení ostří nastává v okamžiku zejména přerušovaného řezu. Vlivem nárazového zatížení dochází k vylamování drobných částek. Toto opotřebení může ve velké míře vést k lomu břitu. Jednou z příčin je však také možnost nevhodné volby materiálu obrobku – zvoleného ostří. Z jednotlivých náměrů nebyla zjištěna přítomnost vzniku nárůstku.



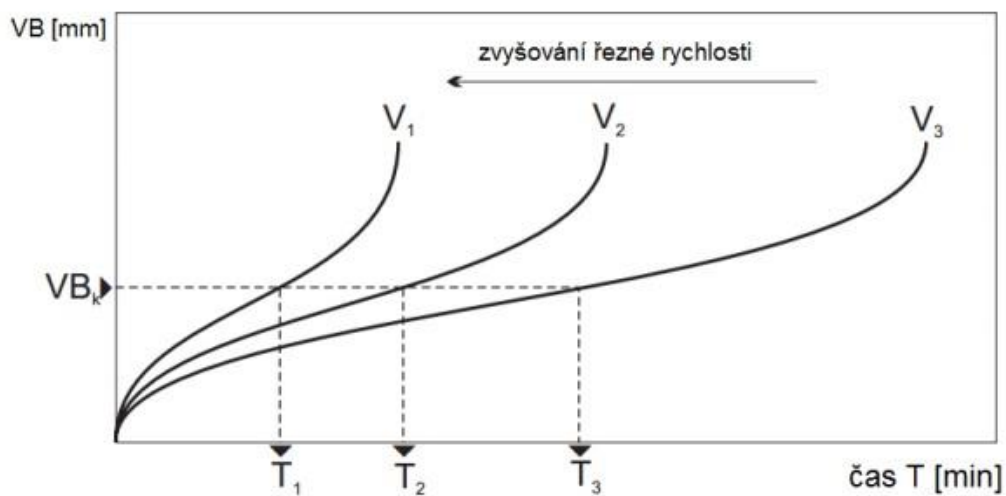
Jedno z možných řešení prodloužení potřebné doby mezi výměnami by poskytl experiment, kterým by se za použití více druhů břitových destiček od různých výrobců, vyhodnotilo opotřebení v závislosti na trvanlivosti T . Výstupem experimentu je stejné vyhodnocení jako v tomto případě a následné porovnání opotřebení VB , popř. dalších charakteristik z hlediska trvanlivosti destičky. Vzájemného porovnání by určilo, která z břitových destiček má lepší vlastnosti pro tyto těžké hrubovací operace na tak specifickém materiálu.

Měření opotřebení však přineslo jeden pozitivní výsledek a to skutečnost, že destičky jsou vyřazovány z provozu ve vhodný okamžik a obrábění není uskutečňováno opotřebenými destičkami. Měření ukázalo, že hodnota daná výrobcem a hodnota reálného maximálního opotřebení se v zásadě shodují. Zvolená doba výměny destičky od začátku obrábění, je podle praktických zkušeností operátora soustruhu optimální.

5.3 Trvanlivost nástroje s uvažováním omezení řezné rychlosti

Problematiku opotřebení břitových destiček, lze také řešit z hlediska životnosti a trvanlivosti nástroje (dále jen T).

Trvanlivost a tedy požadovaná řezivost nástroje je proměnná s časem obrábění. S rostoucím časem obrábění t řezivost klesá. Tyto parametry jsou nejvíce ovlivněny řeznou rychlostí v_c .



Obrázek 30 - Vliv řezné rychlosti na opotřebení hřbetu a trvanlivost [16]

Obrázek č. 27 zobrazuje hlavní parametry, které dávají do souvislosti opotřebení VB , T a řeznou rychlost v_c . Je zřejmé, že s klesající v_c klesá opotřebení nástroje a naopak s rostoucí v_c opotřebení roste. Parametr VB pak udává hodnotu opotřebení při daném T . Hodnota opotřebení na hřebu nástroje VB je stanovena na určitou hodnotu. K opotřebení nástroje dochází vždy. Je tedy otázkou, jaká je jeho trvanlivost.

V souvislosti s v_c a T je však úzce spojen jeden z dalších významných parametrů v obráběcím procesu a tím je měrná řezná síla k_c a závislost k_c na v_c .

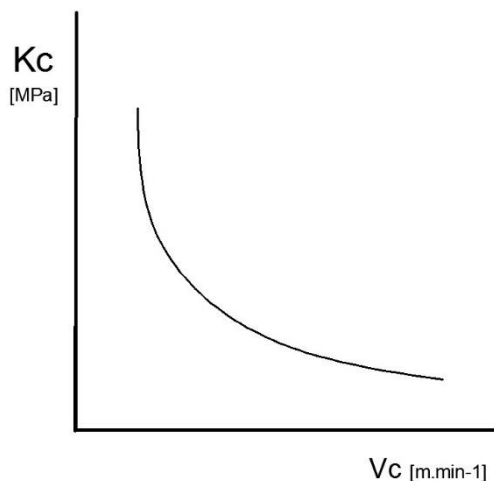
Měrná řezná síla k_c

$$k_c = \frac{F_c}{a_p \cdot f} \quad (1)$$

F_c = řezná síla [N]

a_p = hloubka řezu [mm]

f = strojní posuv [mm/ot.]



Obrázek 31 - Graf závislosti měrné řezné síly na řezné rychlosti

Z grafu [obrázek č. 28] závislosti měrné řezné síly K_c vyplývá, že při zvyšující se v_c tato síla klesá. Důsledkem poklesu K_c , je užší oblast primární plastické deformace. Klesá tedy vzájemný odpor obrobek – nástroj. Teoreticky by se měl obráběcí proces se zvyšující se v_c stávat výhodnější z hlediska T nástroje. V důsledku poklesu složky řezné síly, dochází ke snížení namáhání nástroje a prodloužení jeho životnosti. Idealizovaným stavem by bylo zvýšení v_c natolik, aby celý proces obrábění byl co nejvíce efektivní z hlediska rychlosti obrobění a ideálního odporu materiálu. V případě obrábění materiálu Rene 108 však vstupuje do optimalizace procesu samotný fakt, vlastnost materiálu jako takového. Tím je žáruodolnost a žárupevnost. Pro odstranění problému s vibracemi obrobku při soustružení je jednou možností změna geometrie břitové destičky a tedy změna nastavení úhlů. Dalším řešením je změna v_c . Jak již bylo popsáno, z pohledu teorie by zvýšení v_c přineslo snížení měrné řezné síly. Snížení K_c má za následek pokles vibrací. V důsledku zvyšování v_c však roste teplota na břitu destičky. Teplota je jedním z faktorů, který nejvíce ovlivňuje opotřebení a T destičky.

Vzhledem k vlastnostem materiálu, jeho žárupevnosti a nízké tepelné vodivosti v porovnání s konvenčními materiály, není zajištěn dostatečný odvod tepla z místa obrobek – nástroj a dochází k nadměrnému přehřívání nástroje. Při nastavení vysokých v_c , dosahuje teplota na špičce nástroje extrémních hodnot a T břitové destičky je v tomto případě velmi nízká, řádově v desítkách sekund.



5.3.1 Výpočet trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti

Životnost neboli trvanlivost břitů T , je dána nastavenými řeznými podmínkami a na těchto podmínkách je ve skutečnosti závislá. Závislost řezných podmínek na trvanlivosti je popsána zkráceným Taylorovým vztahem pro řeznou rychlost v_c .

Taylorův vztah: [15]

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad (2)$$

C_T = empirická konstanta Taylorova vztahu [-]

m = empirická konstanta [-]

v_c = řezná rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$]

Taylorův vztah můžeme zapsat také ve tvaru:

$$T = f(v_c) = C_T \cdot v_c^{-m} [\text{min}] \quad (3)$$

A pro použití v některých případech, lze Taylorův vztah zapsat ve tvaru:

$$v_c \cdot f(T) = C_v \cdot T^{-1/m} [\text{min}] \quad (4)$$

Kde konstanta C_v :

$$C_v = C_T^{1/m} [\text{min}] \quad (5)$$

Konstantu m , lze také charakterizovat z vlastností řezného nástroje a pro jednotlivé materiály nástroje je tato konstanta určena rozmezím stanoveným výrobcem a dle dlouholetých všeobecných zkušeností v oblasti obrábění.

Konstanta m , je případě slinutého karbidu stanovena na hodnotu: $m = 5 - 2,5$ (až 2).

V případě povlakovaného slinutého karbidu, lze volit spodní hodnotu, neboť se svými vlastnostmi blíží řezné keramice, která má hodnotu m , stanovenou jako: $m = 2,5 - 1,5$ (až 1,2).

Pro zjištění trvanlivosti podle neúplného Taylorova vztahu, vůči V_c nastavné z hodnot předepsané výrobcem, je proveden následující výpočet:

Vstupní hodnoty výpočtu pro destičku *SNMG EM-R IC 806* :

$$v_{c1} = 28 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]; T1 = 5 [\text{min}.]$$

$$v_{c2} = 40 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]; T1 = 2,2 [\text{min}.]$$



Z Taylorova vztahu plyne:

$$T1 \cdot v_{c1}^m = T2 \cdot v_{c2}^m \quad (6)$$

Dále pak:

$$m = \frac{\log T1 - \log T2}{\log v_{c2} - \log v_{c1}} = \frac{\log 5 - \log 2,2}{\log 40 - \log 28} = 2,301 \quad (7)$$

Vzhledem k vyhodnocování konstanty m , jen z několika měření nastavení v_c , je výsledek pouze přibližný. S přihlédnutím na doporučený rozsah konstanty m , je pro další výpočet zvolena konstanta $m = 2$.

Konstanty C_v a C_T jsou stanoveny ze vztahu:

$$C_T = T1 \cdot v_{c1}^m = 5 \cdot 28^2 = 4\,704 \quad (8)$$

$$C_v = C_T^{1/m} = 4\,704^{1/2} = 68,586 \quad (9)$$

Nyní lze určit T , která je dána neúplným Taylorovým vztahem, pro určitou řeznou rychlost v_c . Řezná rychlost je stanovena na hodnotu $v_{c1} = 40 [m \cdot min^{-1}]$. Tato hodnota je doporučena výrobcem břitové destičky, jako maximální hodnota nastavení v_c .

$$T = f(v_c) = C_T \cdot v_c^{-m} = 4\,704 \cdot 40^{-2} = 2,94 [min] \quad (10)$$

Výpočtem pro T nástroje, je čas roven 2,94 [min] na jeden břit při nastavení $v_c = 40 [m \cdot min^{-1}]$.

5.3.2 Vyhodnocení trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti

Z výsledku pro výpočet trvanlivosti a samotné reálné trvanlivosti v procesu lze usoudit, že výsledný vztah může být s přihlédnutím použit pro výpočet trvanlivost T v rozsahu jiných řezných rychlostí v celém spektru doporučených rychlostí pro břitovou destičku. Pokud je vzata v úvahu výsledná vypočtená trvanlivost nástroje a také trvanlivost, která byla naměřena při pokusu s nastavením vyšších řezných rychlostí, je patrné, že výsledné hodnoty jsou nízké. Snahou o nastavení vyšší V_c lze proces zrychlit o téměř 42%, pokud by byla v_c zvýšena ze současných 28 $[m \cdot min^{-1}]$ na maximálně doporučených 40 $[m \cdot min^{-1}]$. Trvanlivost T však v tomto případě klesne o 50%.



Při hledání ideální v_c vůči požadované T nástroje je navíc nutné vzít v potaz samotnou délku obráběcího cyklu pro jednu destičku – jeden břit.

V tomto případě výměna – otočení destičky a použití dalšího břitu během jedné operace negativně ovlivňuje výsledný povrch, řez musí být přerušen a nový břit musí najíždět opětovně do materiálu. Do délky operace také musí být započten čas potřebný pro výměnu – otočení destičky, opětovný náběh stroje spolu s nájezdy a přejezdy nástroje.

V samotném výpočtu jsou však navíc zanedbány další z důležitých charakteristik a tím je hloubka řezu $ap^{x_{Fc}}$ s daným koeficientem hloubky řezu x_{Fc} a druhá z významných charakteristik, posuv $f^{y_{Fc}}$ s koeficientem posuvu y_{Fc} . Použití těchto charakteristik by znamenalo zpřesnění výpočtu při použití komplexního Taylorova vztahu. Jednotlivé koeficienty charakteristik, by však musely být přesně experimentálně zjištěny dalším měřením pro konkrétní materiál.

Vzhledem k omezeným možnostem měření přesného opotřebení VB v průběhu času při nastavení různých řezných rychlostech v_c , z důvodu provozních a také rozsáhlosti problematiky v případě detailního rozpracování, je výsledek pouze prvním krokem k úspěšné celkové optimalizaci obráběcího procesu a tím možného zrychlování obrábění. Výsledek vypočtené trvanlivosti je v souladu s měřením opotřebení břitu, kdy bylo zjištěno, při určité T při nastavené v_c ideální opotřebení. Hodnoty trvanlivost a řezné rychlosti tedy mohli být dále použity pro výpočet teoretické trvanlivosti při různých řezných rychlostech.



6 Zhodnocení a závěr

Tato práce byla zaměřena na možnosti zkracování průběžné doby výroby rozváděcího kola generátorové turbíny.

Bylo zapotřebí sesbírat velké množství dat a tyto data zpracovat do použitelné podoby a výstupů. Na základě vstupních dat byl vypracován rozbor časové náročnosti jednotlivých operací. Proběhlo zjištění průměrného kladného času všech operací, kdy se na součásti skutečně pracuje a naproti tomu byly zjištěny časové ztráty na každé operaci. Časové ztráty na každé operaci byly označeny jako příčiny celkové časové ztráty v průběžné době výroby RGT. Pomocí Paretovy analýzy, byl vyhodnocen podíl příčin na celkové časové ztrátě. Bylo zjištěno, že přes 30 % celkové časové ztráty, je tvořeno časovou ztrátou na pouhých 8 operacích. Přes 50 % celkové časové ztráty je tvořeno 25% příčin - operací. Byly navrhnuty jednotlivé nápravné opatření, které jsem doporučil k dalšímu rozpracování v rámci jednotlivých projektů.

Dalším postupem bylo vypracování rozboru časových ztrát z hlediska podílu příčin na konkrétním pracovišti CNC soustruhu. Bylo zjištěno, že přes 90% časových ztrát je tvořeno pouze 4 příčinami.

V zájmu snižování průběžného času výroby a tedy urychlení procesů byl na operaci CNC soustružení proveden rozbor se snahou o zvýšení řezných podmínek. Výchozím bodem, bylo vyhodnocení opotřebení břitových destiček VB , zda při současné délce doby použití a řezné rychlosti dosahuje opotřebení optimální hodnoty. Výsledek měření potvrdil optimální hodnotu opotřebení $VB = 0,28$ [mm]. Hodnoty trvanlivosti a řezné rychlosti tedy mohly být použity do výpočtu zkráceného Taylorova vztahu, kde byla výpočtem potvrzena teoretická hodnota trvanlivosti ve srovnání s praktickou hodnotou. Do výpočtového vztahu mohou být dále dosazovány různé hodnoty řezné rychlosti, pro zjištění teoretické trvanlivosti. Z provozních a časových důvodů, nemohla být problematika optimalizace řezné rychlosti a tedy urychlení procesu zpracována podrobně. Ze současných výsledků však plyne a jednoznačně doporučuji, detailní rozpracování možnosti zvýšení řezné rychlosti ale také započnutí dílčích projektů na zkracování průběžné doby výroby v souvislosti s vyhodnocením časových ztrát a podílu jednotlivých příčin.



7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Motor GE H80. [online]. Dostupné z: <http://www.geaviation.com/bga/engines>
- [2] IRCRAFT OWNERS AND PILOTS ASSOCIATION. [online]. [cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.aopa.org/>
- [3] ASTM International. [online]. [cit. 2015-06-01]
<http://www.astm.org/Standards/E139.htm>
- [4] GEBURA, M., CHEMICAL COMPOSITION AND CLASSIFICATION OF SINGLE CRYSTAL NICKEL BASE SUPERALLOYS. [online]. 2008, [cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.materialing.com/>
- [5] JANOVEC, J., ZUNA, P., MACEK, K.: Kovové materiály., Praha: Vydavatelství ČVUT, 2006.
- [6] YONG GAO, STOLKEN, J.S., KUMAR, M., RITCHIE, R.O.: High-cycle fatigue of nickel-base superalloy Rene. [online]. 2007, [cit. 2015-06-01].
Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/>
- [6] NĚMEC, M., PLACHÝ, J., BEDNÁŘ, B.: Teorie slévání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1990
- [7] KOVOSVIT MAS a.s Masturn 550. [online]. cit. 2015-06-01].
Dostupné z : <http://www.kovosvit.cz/>
- [8] MAŇASOVÁ, V.: Zvýšení žáruvzdornosti žárových dílů proudových motorů povrchovou ochranou. Diplomová práce. 1981
- [9] Mtu Aero Engines Gmbh. Method for Local Alitiation, Siliconization or Chromation of Metal Components. Vynálezci: Michael Strasser, Heinrich Walter. Germany. Patentový spis US20070272331 A1. 23.9.2004.
Dostupné z: <http://www.google.com.ar/patents/US20070272331>
- [10] Multifix Stahlhalter D1. [online]. cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.multifix.eu/de/>
- [11] Sada rychloupínacích nožových držáků Bernardo. [online]. cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.strojeslovakia.sk/>
- [12] DSSNR 2525M 12. [online]. [cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.aydosa-tools.com/>



- [13] BIAX SVH Series. [online]. [cit. 2015-06-01].
Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/biax>
- [14] JURKO, J.: Opatrebenie rezných nástrojov. [online]. [cit. 2015-06-01]. Prešov, 2005.
ISBN 80-8073-255-8. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/>
- [15] KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie výroby II. Brno: Vydavatelství VUT, 2002.
- [16] BISSACCO, G. Material removal process. Copenhagen : DTU Mechanical Engineering, 2012
- [17] JUROVÁ, M.,: Výrobní procesy řízené logistikou. Praha: Vydavatelství BizBook. 2013.
ISBN: 978-80-2650-059-9
- [18] SNMG 120408-EM-R-IC 806 Iscar. DNMG 150408-TF IC806 Iscar. [online].
[cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/>



8 Seznam použitých veličin a zkratk

<i>Veličina / Zkratka</i>	<i>Popis</i>	<i>Jednotka</i>
<i>ap</i>	Hloubka řezu	[mm]
CNC	Počítačově číslicově řízené	[-]
<i>C_T</i>	Empirická konstanta	[-]
<i>C_V</i>	Empirická konstanta	[-]
EDM	Elektrojiskrové obrábění	[-]
<i>f</i>	Strojní posuv	[mm]
GEAC	GE Aviation Czech s.r.o.	[-]
HRA	Trvdost	[-]
<i>K_c</i>	Měrný řezný odpor	[MPa]
<i>m</i>	Empirická konstanta materiálu	[-]
<i>n</i>	Otáčky	[min ⁻¹]
PVD	Fyzikální nanášení povlaků	[-]
RGT	Rozváděč generátorové turbíny	[-]
<i>t</i>	Doba v záběru	[min]
<i>T</i>	Trvanlivost	[min]
TRS	Pevnost v ohybu	[N/mm ²]
VB	Opotřebenění hřbetu nástroje	[mm]
<i>v_c</i>	Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
<i>x_{Fc}</i>	Koeficient hloubky řezu	[-]
<i>y_{Fc}</i>	Koeficient posuvu	[-]



9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Motor GE H80 [1]	11
Obrázek 2 - Zástavba motoru H80 do letounu Trush 510G [2]	12
Obrázek 3 – Řez motorem M601-E, zvýraznění umístění rozváděče	14
Obrázek 4 – Model rozváděče generátorové turbíny.....	14
Obrázek 5 - Odlitek rozváděče generátorové turbíny [3].....	15
Obrázek 6 - Spaghettiho diagram	22
Obrázek 7 - Procesní mapa 1/4.....	23
Obrázek 8 - Procesní mapa 2/4.....	24
Obrázek 9 - Procesní mapa 3/4.....	25
Obrázek 10 - Procesní mapa 4/4.....	26
Obrázek 11 - Univerzální hrotový soustruh MAS Masturn 550/800 [7].....	28
Obrázek 12 – Schéma zařízení pro zkoušku prolitím	30
Obrázek 13 - Pneumatická ruční bruska BIAX [13]	32
Obrázek 14 - Nožová hlava MULTIFIX D1 [10]	48
Obrázek 15 - Držák soustružnického nože [11]	49
Obrázek 16 – Soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou [12].....	49
Obrázek 17 - Břitová destička SNMG IC 806 (nahore).....	50
Obrázek 18 - Geometrie břitové destičky SNMG IC 806 (vpravo)	50
Obrázek 19 - Břitová destička DNMG TF IC 806 (nahore).....	51
Obrázek 20 - Geometrie břitové destičky DNMG TF IC 806	51
Obrázek 21 - Forma opotřebení dle ISO 3685 [14].....	52
Obrázek 22 - Opotřebení břitu destičky 1. SNMG	54
Obrázek 23 - Opotřebení břitu destičky 4. SNMG	54
Obrázek 24 - Opotřebení břitu destičky 2. SNMG	54
Obrázek 25 - Opotřebení břitu destičky 3. SNMG	54
Obrázek 26 - Opotřebení břitu destičky 4. DNMG.....	55
Obrázek 27 - Opotřebení břitu destičky 3. DNMG.....	55
Obrázek 28 - Opotřebení břitu destičky 2. DNMG.....	55
Obrázek 29 - Opotřebení břitu destičky 1. DNMG.....	55
Obrázek 30 - Vliv řezné rychlosti na opotřebení hřbetu a trvanlivost [16]	57
Obrázek 31 - Graf závislosti měrné řezné síly na řezné rychlosti	58



10 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chemické složení materiálu skupiny RENE [4]	17
Tabulka 2 - Rozsah mechanických vlastností Rene [6]	19
Tabulka 3 - Rozsah parametrů pro zkoušku roztržením pod napětím [6]	19
Tabulka 4 - Parametry stroje soustruh Masturn 550/800 [7].....	29
Tabulka 5 - Délka trvání operace podle technologického postupu	36
Tabulka 6 – Porovnání průměrné délky trvání operace a průměrné časové ztráty na operaci	39
Tabulka 7 - Podíl příčin na celkové časové ztrátě	41
Tabulka 8 - Podíl příčin na celkovém prostoji troje	44
Tabulka 9 - Použitá zařízení v rámci obrábění	47
Tabulka 10 - Použitá zařízení pro měření opotřebení	48
Tabulka 11 - Parametry břitové destičky SNMG IC 806.....	50
Tabulka 12 - Parametry břitové destičky DNMG TF IC 806	51
Tabulka 13 - Provozní technologické podmínky a náměry opotřebení jednotlivých břitových destiček.....	53