

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

**Racionalizace výroby ozubeného kola
moderními obráběcími stroji**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Ondřej Horných

Studijní program: Výrobní inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horných** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **465352**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Racionalizace výroby ozubeného kola moderními obráběcími stroji

Název diplomové práce anglicky:

Rationalization of gear fabrication by modern machine-tools

Pokyny pro vypracování:

1. Výběr vhodných strojů.
2. Vytvoření výrobního postupu pro jednotlivé varianty.
3. Vytvoření časových studií.
4. Porovnání a ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Novák, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Pavel Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené na konci této práce.

V Praze dne

.....

Bc. Ondřej Horných

Anotace

Předmětem této práce je změna postupu výroby technologiemi obrábění zadané součásti s využitím obráběcích strojů s možností kombinace jednotlivých technologií a řízení více os. Vzorovou zadanou součástí je ozubené kolo převodovky. V první části práce je rozebrán současný postup výroby včetně strojů. Následuje návrh nových variant strojů a k nim efektivních nástrojů. Dále jsou podle jednotlivých navržených variant upraveny výrobní postupy, ze kterých jsou poté vytvořeny časové studie. Z výsledků časových studií je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení výrobních nákladů promítajících se do návratnosti investic do nových navržených strojů. V závěru práce je návrh nejvhodnějších variant inovace strojního vybavení podle ekonomického zhodnocení a podle přínosu dané varianty pro společnost, v jejíž spolupráci je tato práce realizována.

Klíčová slova:

Racionalizace, CNC obrábění, obráběcí stroj, ozubené kolo, výrobní postup, technologický postup, časové studie, úspora, návratnost

Annotation

The subject of this work is the change of machining technology in the fabrication of a given part using machine tools with the possibility of combining individual technologies and control of multiple axes. A sample specified part is a gearbox gear. The first part of the work discusses the current production process, including machines. A draft for new variants of machines and effective tools follows. Furthermore, the production procedures are modified according to the individual drafted variants, from which time studies are created thereafter. A technical and economic evaluation of production costs is performed from the results of time studies, which is reflected in the return on investment in new designed machines. At the end of the work is the draft of the most suitable variation of machinery innovation according to the economic evaluation and to the benefit of the variation for the company in whose cooperation this work is carried out.

Keywords:

Rationalization, CNC machining, machine tool, gear, production process, time studies, savings, return

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu práce Ing. Pavlu Novákovi, Ph.D. za ochotu, připomínky a cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Děkuji také pracovníkům z oddělení technologie společnosti Wikov MGI a.s. za možnost realizace diplomové práce, za jejich praktické rady, poskytnutí informací a ochotný přístup. Poděkovat si zaslouží i má rodina za veškerou poskytnutou podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Společnost Wikov Industry a.s.....	10
3	Řešená součást k racionalizaci.....	11
3.1	Konstrukční charakteristika	11
3.2	Materiál součásti	12
3.3	Polotovary.....	12
4	Rozbor současného stavu	12
4.1	Výrobní postup.....	12
4.1.1	Operace 10 – Frézování a vrtání 1	13
4.1.2	Operace 30 – Soustružení 1	14
4.1.3	Operace 40 – Soustružení 2	14
4.1.4	Operace 160 – soustružení 3	14
4.1.5	Operace 170 – Soustružení 4	15
4.1.6	Operace 180 – Frézování a vrtání 2	15
4.2	Použité stroje	15
4.2.1	Starrag Heckert 1600 Athletic.....	15
4.2.2	Geminis GHT 6 G2 – 1300x4000	16
4.2.3	Starrag Heckert 800 Athletic	17
4.3	Zhodnocení současného stavu.....	18
5	Výběr nových vhodných strojů	18
5.1	Starrag Heckert 800 X5 MT.....	18
5.2	TDZ Turn VSC 800LC APC.....	20
5.3	CZ.TECH SP 50 CNC	23
6	Výrobní postupy pro navržené varianty.....	25
6.1	Upnutí součásti	26
6.2	Výběr nástrojů pro obrobení součásti	27
6.2.1	Upínací systémy	27

6.2.2	Nástroje pro soustružení	29
6.2.3	Nástroje pro frézování	32
6.2.4	Nástroje pro vrtání	34
6.2.5	Nástroje pro závitování	40
6.3	Sledy operací výrobního postupu jednotlivých variant	41
6.3.1	Varianta se strojem HEC 800 X5 MT	41
6.3.2	Varianta se strojem VSC 800LC APC	42
6.3.3	Varianta se strojem SP 50 CNC	43
6.3.4	Srovnání jednotlivých variant	44
6.4	Výrobní postupy variant se stroji HEC 800 X5 MT a VSC 800LC APC	46
6.5	Výrobní postupy varianty se strojem SP 50 CNC	48
7	Časové studie výroby	50
7.1	Výrobní časy současné výroby	52
7.2	Časové studie nově navržených variant	53
7.3	Srovnání časových studií podle operací	53
7.3.1	Operace Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1	54
7.3.2	Operace Soustružení 2	55
7.3.3	Operace Soustružení 3	56
7.3.4	Operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2	58
7.4	Srovnání časových studií podle celkových časů	59
8	Technicko-ekonomické zhodnocení	62
8.1	Výpočet nákladů	62
8.1.1	Odpisy a hodinové náklady na provoz strojů	67
8.1.2	Náklady na výrobu operace Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1	69
8.1.3	Náklady na výrobu operace Soustružení 2	73
8.1.4	Náklady na výrobu operace Soustružení 3	75
8.1.5	Náklady na výrobu operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2	77
8.1.6	Shrnutí vypočtených nákladů	80
8.2	Výpočet úspor	82

8.3	Výpočet návratností	86
8.4	Zhodnocení navržených variant	88
9	Závěr	91
	Seznam použité literatury	92
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	95
	Seznam obrázků	96
	Seznam tabulek	97
	Seznam příloh	100

1 Úvod

Téma této práce bylo navrženo ve spolupráci se společností Wikov MGI a.s., ve které pracuji od začátku svého vysokoškolského studia. Tato firma vyrábí mechanické převodovky a ozubená kola. Racionalizovaným dílem je tedy právě ozubené kolo z portfolia společnosti. Obsahem práce je analýza současného stavu výroby tohoto dílce, se zvláštním ohledem na strojní vybavení a inovace výroby spočívající ve výběru nových strojů a vytvoření nových výrobních postupů na těchto strojích. To by mělo přinést úsporu času výroby zadané součásti, uvolnění kapacit na současných strojích vhodných i pro složitější součásti, a hlavně úsporu nákladů na výrobu.

V podniku je v současné době prováděna celková restrukturalizace strojního vybavení, proto bude úkolem pro zadanou součást vybrat buď výrobu na některém z nově pořízených strojů, nebo vytipovat stroje nové k budoucímu zakoupení. Hlavním aspektem racionalizace tedy bude pořízení víceosého obráběcího stroje, který zvládne soustružit a zároveň frézovat a vrtat, čímž dojde ke sloučení několika operací a zrušení nutnosti používat více strojů k výrobě. To přinese zkrácení časů a požadované zlevnění výroby součásti.

Postup racionalizace bude takový, že se nejdříve určí tři varianty nového strojního vybavení pro tuto součást a k nim odpovídající nástroje, které budou zaručovat efektivnější výrobu na těchto strojích. Poté se upraví výrobní postup ke všem racionalizovaným variantám a k nim se vytvoří časové studie výroby na těchto strojích. Nakonec se provede technicko-ekonomické zhodnocení a výsledné porovnání. Technicko-ekonomické zhodnocení bude vycházet z nákladů na výrobu zadaného dílce jednotlivými navrženými stroji, které budou určeny díky časovým studiím jednotlivých operací. Tyto náklady budou porovnány mezi sebou i se současnou výrobou, čímž bude zjištěna úspora nákladů na výrobu jednoho kusu součásti u jednotlivých navržených variant. Dalším rozhodujícím vypočteným faktorem pak bude doba návratnosti investice do nového strojního vybavení.

Cílem práce je tedy návrh zajištění výroby složitějších ozubených kol na nových strojích, díky kterým se dosáhne časové i nákladové úspory, snížení počtu pracovišť a uvolnění kapacit na strojích pro náročnější charakter obrábění, které zvyšují cenu výroby daných součástí.

2 Společnost Wikov Industry a.s.

Společnost Wikov byla založena před více jak 130 lety. Přes 100 let se zabývá výrobou ozubených kol a mechanických převodovek. Převodovky jsou ve firmě nejen vyráběny, ale i přímo testovány a kontrolovány na většinu parametrů včetně simulace prostředí, ve kterých budou následně provozovány.



Obrázek 1: Logo firmy Wikov Industry a.s. [1]

Vyrábí převodovky pro:

- vodní, tepelnou, větrnou a přílivovou energetiku
- povrchové a hlubinné doly, těžbu ropy a plynu
- vodní, gumárenský, chemický a metalurgický průmysl
- cementárny a zpracování surovin
- kolejová vozidla a lodní dopravu
- rychloběžné aplikace.

Skupina Wikov, kterou zaštiťuje společnost Wikov Industry a.s. v sobě zahrnuje společnosti Wikov MGI a.s., Wikov Gear s.r.o., Wikov Sázavan s.r.o., Czech ORBITAL2 s.r.o., Gmeinder Getriebe Gruppe a řadu obchodních zastoupení po celém světě.

Tato práce je zpracována pro závod Wikov MGI a.s. v Hronově. Počátky strojírenského podniku v Hronově sahají do roku 1884. Po znárodnění v roce 1945 se z podniku stává ČKD Hronov, které v roce 2004 koupila firma Wikov. Ze skupiny Wikov se v současnosti jedná o největší výrobní závod.

V tomto podniku se nachází kompletní strojní vybavení pro výrobu převodovek a ozubených kol, jako jsou soustruhy, frézky, obráběcí centra, obrážečky, odvalovací frézky či profilové a hrotové brusky. Také je zde oddělení tepelného zpracování, pracoviště kontroly a zkušebna převodovek. [1] [2]

3 Řešená součást k racionalizaci

Aby mohla být řešena racionalizace výroby, musí být určen vzorový díl, pro jehož výrobu inovace proběhne. Vzhledem k zaměření a budoucím plánům společnosti byl spolu s jejími pracovníky vybrán často vyráběný vzorový díl ozubeného kola. V této kapitole bude popis zadaného výrobku z konstrukčního a materiálového hlediska včetně popisu polotovaru.

3.1 Konstrukční charakteristika

Jak již bylo zmíněno, vzorová součást pro racionalizaci je ozubené kolo. Jedná se o čelní ozubené kolo se šikmým vnějším evolventním ozubením o hlavovém průměru 663,61 mm, šířce 124 mm a s otvorem pro hřídel o průměru 225 mm, ve kterém se nachází zápich. Na levém boku je prodlouženo osazení kola o 18 mm. Na kole je z obou bočních stran odlehčení, ve kterém se navíc nachází devět děr o průměru 90 mm a tři závitové otvory se závitem M16. Z levého boku kola je z osazení veden jeden průchozí šikmý otvor pro slisování s hřídelí. Tento otvor začíná zahloubením o průměru 37 mm, pokračuje závitem M16x1,5 a nakonec postupuje jen jako díra o průměru 5 mm.

Kompletní rozměry včetně tolerancí a charakteristiky řešené součásti jsou na výkresu, který je připojen jako Příloha 1 této práce. Model součásti je na obrázku 2 níže.



Obrázek 2: Model zadané součásti

3.2 Materiál součásti

Součást se vyrábí z oceli s označením 18CrNiMo7-6, případně ČSN EN 10084 či 1.6587. Jedná se o středně legovanou ušlechtilou ocel k cementování. Používá se pro velmi namáhané části strojů a motorů, jakými jsou právě ozubená kola. Po tepelném zpracování dosahuje cementovaná vrstva tvrdosti 62 až 64 HRC, zatímco v jádře má zvýšenou houževnatost. Z hlediska obrábění spadá tento materiál do skupiny materiálů k obrábění P3. Díky feriticko-perlitické struktuře má dobrou obrobitelnost. Materiálový list obsahující složení, mechanické vlastnosti a možnosti tepelného zpracování dané oceli je v Příloze 2 [3].

3.3 Polotovar

Polotovar pro výrobu zadané součásti je výkovek z oceli uvedené výše. Tvar výkovku kopíruje hrubý tvar výsledné součásti. Přídavky na jednotlivých stěnách určených k obrábění se pohybují od 3 do 9 mm. Polotovar je do společnosti dodáván externím dodavatelem. Výkres polotovaru s jednotlivými rozměry je v Příloze 3 této práce.

4 Rozbor současného stavu

V této kapitole bude rozebrána současná výroba zadané součásti ve zmíněném podniku. Rozbor se bude zaměřovat na výrobní postup včetně jednotlivých operací a časů, na výrobní stroje a na upnutí obrobků. Jelikož se má následná racionalizace týkat pouze obrábění, tak nebudou rozebírány operace výrobního postupu, kde nedochází k obrábění, ale budou pouze zmíněny. Operace obrábění ozubení a broušení rovněž nejsou předmětem této práce, proto taktéž nebudou blíže rozebírány. Celkově se tedy bude jednat výhradně o operace soustružení, frézování a vrtání.

4.1 Výrobní postup

V následující tabulce 1 je uveden stručný výrobní postup neboli sled operací výroby daného ozubeného kola spolu se strojem či pracovištěm, kde se operace provádí. Níže jsou pak rozepsány jednotlivé operace, kterých se bude týkat následná racionalizace. Použité stroje u operací k inovaci budou popsány v následující podkapitole.

Tabulka 1: Sled operací současné výroby

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
10	Frézování a vrtání 1	Obráběcí centrum HEC 1600
20	Kontrola tvrdosti	Tvrdoměr
30	Soustružení 1	Soustruh Geminis GHT 6
40	Soustružení 2	Soustruh Geminis GHT 6
50	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
60	Ruční úprava	Pracoviště montáže
70	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
80	Odmaštění	Odmašťovací stroj
90	Ochranné nátěry	Pracoviště tepelného zpracování
100	Cementace a kalení	Pracoviště tepelného zpracování
110	Žihání a popouštění	Pracoviště tepelného zpracování
120	Kontrola hloubky cementace	Pracoviště tepelného zpracování
130	Tryskání	Metací tryskač
140	Kontrola tvrdosti	Pracoviště tepelného zpracování
150	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
160	Soustružení 3	Soustruh Geminis GHT 6
170	Soustružení 4	Soustruh Geminis GHT 6
180	Frézování a vrtání 2	Obráběcí centrum HEC 800
190	Broušení	Bruska
200	Kontrola	Souřadnicový měřicí stroj
210	Broušení ozubení	Šneková bruska na ozubení
220	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
230	Ruční úprava	Pracoviště montáže
240	Odmaštění	Odmašťovací stroj
250	Kontrola trhlin	Defektoskop
260	Konečná kontrola	Pracoviště kontroly

4.1.1 Operace 10 – Frézování a vrtání 1

První operace obrábění polotovaru součásti probíhá na horizontálním obráběcím centru Heckert 1600. Polotovar je upnut na pravoúhlý stůl na kostky a je vyrovnán stranou vyššího náboje směrem ke vřetenu stroje. V této operaci je vyvrtáno všech devět otvorů o průměru 90 mm v odlehčení kola. Ty jsou nejdříve předvrtány vrtákem o menším průměru a následně vyvrtány vyvrtávací tyčí na zadaný průměr. Následně jsou vyvrtány tři díry o průměru 14 mm taktéž v odlehčení, na kterých je následně sražena hrana a vyříznut závit M16. První obrobek z dávky se vždy předá ke kontrole závitů M16.

4.1.2 Operace 30 – Soustružení 1

Po kontrole tvrdosti je další na řadě soustružení na soustruhu Geminis GHT 6. Obrobek je upnut zleva do tvrdých čelistí soustruhu, je vyrovnán a jsou proměřeny přídávky. V této operaci je téměř veškeré soustružení prováděno s přídávkem, jelikož součást následně projde tepelným zpracováním, při kterém dojde ke změně přesných rozměrů. Kvůli tomu se soustruží všechny rozměry načisto až poté. V této operaci je zarovnáno pravé čelo náboje, soustružen povrch budoucího ozubení po čelisti, bok a sražení ozubení a čelo věnce. Blíže ke středu kola je pak zarovnáno pravé čelo náboje a soustružen otvor. Poté je soustruženo osazení mezi průměry 255 a 304 mm, které je jako jediné zhotoveno načisto. Nakonec jsou sraženy hrany s ohledem na přídávky. Po soustružení dochází k ověření soustružených rozměrů.

4.1.3 Operace 40 – Soustružení 2

Další operace probíhá rovnou po předchozí operaci na tomtéž soustruhu, kdy je obrobek pouze otočen a upnut tentokrát do měkkých čelistí a vyrovnán. I v této operaci probíhá veškeré soustružení s přídávkem kvůli tepelnému zpracování. Operace je téměř totožná s minulou, takže jsou opět v krajní části kola soustruženy povrch, sražení a bok ozubení a čelo věnce. V oblasti u středu kola je pak zarovnáno čelo náboje a osazení u vnitřního kraje odlehčení načisto. Nakonec se srazí hrany s ohledem na přídávky a zkontrolují soustružené rozměry.

4.1.4 Operace 160 – soustružení 3

Po několika operacích týkajících se výroby ozubení a tepelného zpracování se součást opět dostává k soustružení. V této operaci se jedná už o soustružení načisto. Součást je upnuta zleva do měkkých čelistí a pečlivě vyrovnána dle ozubení a pravého čela. Soustružení probíhá zarovnááním pravého čela věnce a čela náboje do roviny s přídávkem na broušení. Poté je osoustružen hlavový průměr ozubení na čisto. Následně je soustružen otvor s přídávkem na brus a v něm zápich R2 načisto. Nakonec se srazí hrany hotově s ohledem na přídávky a ověří soustružené rozměry a geometrické tolerance.

4.1.5 Operace 170 – Soustružení 4

U této operace je to stejně jako u operace 40, tedy se kolo pouze otočí a soustruží se druhá strana. Upnutí a vyrovnání je stejné jako u operace 160, pouze otočené. Taktéž se zde zarovná čelo s přídávkem na brus, osoustruží hlavový průměr načisto, zarovná čelo věnce na čisto a srazí hrany s ohledem na přídavek. Ověřují se soustružené rozměry a geometrické tolerance.

4.1.6 Operace 180 – Frézování a vrtání 2

V další operaci se obrábění provádí na obráběcím centru Heckert 800. Tato operace slouží k vytvoření šikmého otvoru z osazení ke slisování s hřídelí. Obrobek se upne opět na pravouhlý stůl podobně jako v operaci 10 a vyrovná stranou vyššího náboje směrem ke vřetenu. Šikmý otvor nemusí být polohován vůči žádnému prvku na kole, pouze stačí, když je jeho osa vodorovná, čímž je vyrovnání jednodušší. Následně se otočný stůl stroje natočí o 45° do polohy šikmého otvoru a stroj je připraven k obrábění. Nejprve se vyfrézuje zahloubení o průměru 37 mm, v něm se vyvrtá díra o průměru 14 mm pro závit a zbytek otvoru se dovrtá vrtákem na průměr 5 mm. Nakonec se srazí hrana na díře pro závit M16x1,5, který se následně vyřízne. První obrobek se předá ke kontrole závitu.

4.2 Použité stroje

Jelikož hlavní podstatou racionalizace zadané součásti je změna výrobních strojů, je nutné popsat současné strojní vybavení používané pro výrobu tohoto dílu.

4.2.1 Starrag Heckert 1600 Athletic

Prvním použitým strojem pro výrobu daného ozubeného kola je obráběcí centrum od společnosti Starrag Heckert 1600. Tento stroj je druhým největším obráběcím centrem v ve společnosti, kde se používá už několik let a časem dojde k jeho výměně.

HEC 1600 je horizontální obráběcí centrum pro čtyřosé obrábění se dvěma osami X a Y na vřeteni. Pracovní otočný stůl stroje s lineárním posuvem v ose Z má maximální nosnost 8 tun a rozměry 1600x1250 mm. Centrum je vybaveno dvoupaletovým výměnným systémem pro rychlejší upínání obrobků pro jednotlivé operace, což snižuje vedlejší časy operací.

Maximální otáčky vřetene jsou 6000 ot./min a při zátěžové charakteristice 25 % lze dosáhnout výkonu 55 kW a krouticího momentu vřetene 1 500 Nm. Řídicí systém stroje je Sinumerik 840D.

Výměna nástrojů probíhá automaticky ze řetězového zásobníku o kapacitě až 80 nástrojů s největším možným průměrem 325 mm. Upínací systém nástrojů ve vřetení je s rozhraním HSK 100. [4]



Obrázek 3: Obráběcí centrum HEC 1600 [5]

4.2.2 Geminis GHT 6 G2 – 1300x4000

K veškerému soustružení, které probíhá na zadaném ozubeném kole, je používán soustruh GHT 6 G2 od společnosti Geminis. Jedná se o horizontální čelní soustruh, u něhož jsou obrobky zpravidla velkých průměrů a malých délek upínány na lícní desku a obráběny čelně.

Soustruh je poháněn motorem o výkonu 37 kW, který vyvozuje otáčky vřetene až 1400 ot./min. Soustruh má oběžný průměr nad ložem 1300 mm a nad suportem 940 mm. Délka lože je 4 metry. Maximální hmotnost obrobku je 10 tun. Soustruh je ovládán řídicím systémem Fagor. [6]



Obrázek 4: Soustruh Geminis GHT 6 [7]

4.2.3 Starrag Heckert 800 Athletic

Druhým použitým obráběcím centrem je opět stroj od společnosti Starrag, tentokrát Heckert 800 Athletic, který je na obrázku 5 níže. Opět se jedná o stroj staršího data výroby, proto je v plánu jeho nahrazení.

Jedná se o čtyřosé horizontální obráběcí centrum, kdy 2 osy X a Y jsou lineární na vřetení a 2 osy na stole, který je otočný a má lineární posuv v ose Z. Tento pracovní stůl stroje o rozměrech 1000x800 mm pojme obrobky o hmotnosti až 2 tuny. Rozsah os je 1450x1100x1300 mm. Stroj je vybaven dvoupaletovým výměnným systémem, díky kterému dochází k úspoře časů při upínání dílců pro jednotlivé operace. Následná výměna palety trvá 18 s.

Maximální otáčky vřetene stroje jsou 6000 ot./min a při zátěžové charakteristice 40 % lze dosáhnout výkonu stroje 50 kW a krouticího momentu 1210 Nm. Stroj je ovládán řídicím systémem Sinumerik 840D.

Centrum disponuje automatickou výměnou nástrojů z řetězového zásobníku o kapacitě až 80 nástrojů najednou s maximálním průměrem 325 mm. Výměna probíhá za použití hydraulického otočného dvouramenného uchopovače za 5 sekund. Vřeteno stroje má upínací rozhraní s kuželem SK50. [8]



Obrázek 5: Obráběcí centrum HEC 800 [9]

4.3 Zhodnocení současného stavu

Pokud se zaměřím pouze na operace z výrobního postupu, uvedeného v této kapitole, které jsou určené k racionalizaci, tak technologický sled výroby je díky zkušenosti pracovníků společnosti optimalizovaný a není na něm co měnit. Největší slabinou je ovšem použití mnoha strojů, což sebou nese vyšší počet operací, přesunů mezi pracovišti, přeupínání obrobku a skladování. Tím pádem je vyšší čas výroby, což je nežádoucí. Navíc výše uvedená obráběcí centra mají vysoké náklady na výrobu a při použití jiných strojů na výrobu zadané součásti této práce by mohla být využita pro obrábění rozměrově větších a složitějších součástí, jako jsou např. skříně převodovek. Proto se následně zaměřím na racionalizaci strojního vybavení včetně nástrojů a zkrácení časů výroby zadaného dílce.

5 Výběr nových vhodných strojů

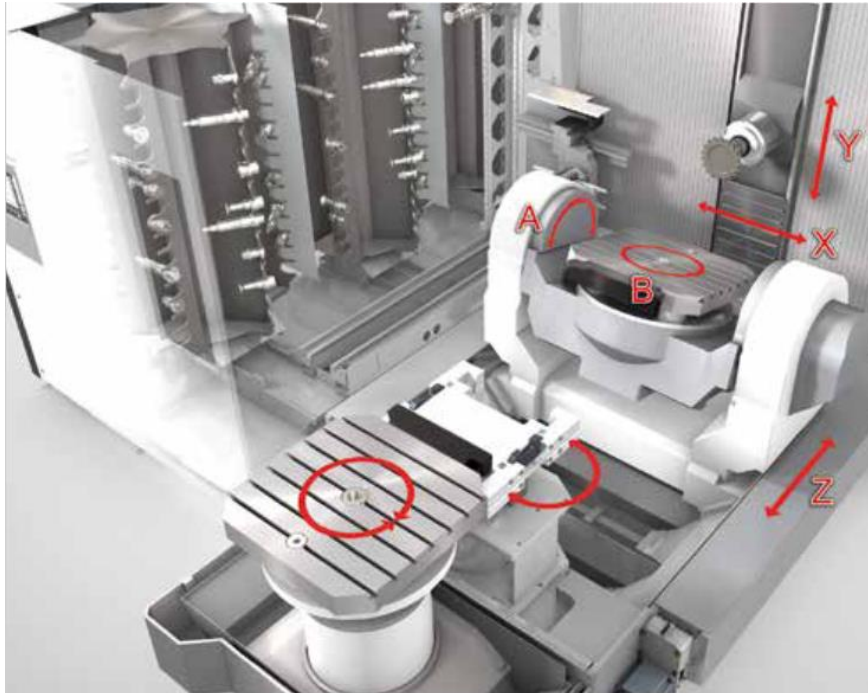
5.1 Starrag Heckert 800 X5 MT

Prvním navrhovaným strojem pro efektivnější výrobu zadané součásti je obráběcí centrum Heckert 800 X5 MT od společnosti Starrag, které lze vidět na obrázku 6 níže i s pohledem dovnitř stroje. Tento stroj navazuje na již osvědčenou a zaběhlou značku v této společnosti, jak je možno vidět v minulé kapitole. Jedná se o multifunkční pětiosé obráběcí centrum, které je určeno hlavně pro frézování, ale dokáže i soustružit. Stroj byl do společnosti Wikov MGI a.s. zakoupen v lednu 2021 a v současné době je používán v záběhovém testovacím režimu. Tento konkrétní kus lze vidět na obrázku 8.



Obrázek 6: Obráběcí centrum HEC 800 X5 [8]

Stejně jako u staršího centra HEC 800 zmiňovaného v kapitole 4.2.3 se jedná o horizontální obráběcí centrum, tedy kde vřeteno stroje je v horizontální pozici a pohybuje se v osách X a Y. Karuselový otočný stůl s kolíbkou, kde je upnut obrobek, pak vykonává lineární pohyb v ose Z, rotační v ose B a díky kolébce i naklápěcí v ose A. Schéma těchto pohybů je možné vidět na obrázku 7. Rozměry palet jsou 800x1000 mm a unesou obrobky o váze až 1200 kg. [8] [10]



Obrázek 7: Pohyby os v centru HEC 800 X5 [8]

Na obrázku 7 je vidět i další vybavení stroje. Jedná se o výměnný paletový systém, kdy výměna palet probíhá přes otočný výměník. Na druhé paletě, která je mimo pracovní prostor stroje, tedy lze připravovat práci pro další operace, čímž dochází k úspoře času. Výměna palet trvá 22 s.

Druhým viditelným prvkem výbavy stroje je zásobník nástrojů. Ten se skládá ze dvou otočných věží o kapacitě 90 nástrojů v jedné věži. Upínací rozhraní nástrojů je HSK-A100 a HSK-T100, které jsou určeny právě pro automatickou výměnu nástroje a umožňují přívod procesních kapalin i vzduchu. Rozhraní HSK-A100 je pro použití rotačních nástrojů a rozhraní HSK-T100 umožňuje použití soustružnických nástrojů. Maximální průměr nástrojů je 340 mm a délka 450 mm. V patnácti přidaných kapsách pak mohou být i nástroje s délkou nad 450 mm. Nástroje jsou v zásobníku automaticky kontrolovány na opotřebení a trhliny, kdy stroj poškozené nebo opotřebované nástroje sám vyřadí. Zároveň sám upraví korekce každého nástroje a dokáže určit i teplotní kompenzace.

Výkon vřetena dosahuje až 83 kW a momentu 1500 Nm při 25 % zatížení. Maximální otáčky vřetena jsou 7500 ot./min. Řídicí systém stroje je Sinumerik 840 D od společnosti Siemens, který je ve firmě běžně používán.

Přidaný karuselový stůl, díky kterému může stroj soustružit, dosahuje otáček 500 ot./min. Při 100% zatížení, kdy jsou otáčky nad 200 ot./min, může centrum obrábět maximálně 30 minut a vyvine výkon 52 kW a krouticí moment 1 680 Nm. Nosnost stolu je 1 200 kg do 60 ot./min, nad tyto otáčky pak 1 000 kg. Kvůli soustružení je stůl vybaven kontrolou nevyváženosti palety a správného dosednutí.

Ve stroji je oproti základu zvýšen pojezd v osách Y a Z pro použití při obrábění dílů s velkými rozměry, které se musí upnout na pracovní stůl až nad kolébku, která omezuje pracovní prostor a obrobky se do ní nevejdou.

Další parametry stroje jsou uvedeny ve výtahu z kupní smlouvy stroje do firmy v Příloze 4. [8] [10]



Obrázek 8: Obráběcí centrum HEC 800 X5 ve společnosti Wikov MGI a.s. [11]

5.2 TDZ Turn VSC 800LC APC

Druhým vybraným strojem je soustruh VSC 800LC APC od české společnosti TDZ Turn. Jedná se o vertikální soustruh, ve kterém je obráběcí hlava umístěna svisle a pohybuje se v osách X a Z. Tento stroj je navíc vybaven třetí osou C neboli vřetenem pro poháněné nástroje, což umožňuje stroji také frézovat a vrtat.



Obrázek 9: Vertikální soustruh TDZ Turn VSC 800LC ve společnosti Zapro profi s.r.o. [13]

Paleta s obrobkem je umisťována na karuselový rotační stůl s výkonem až 62 kW a krouticím momentem 13042 Nm. Maximální otáčky stolu jsou 600 ot./min. Stroj je vybaven dvěma paletami o průměru 800 mm, které se vyměňují manuálně. Jedna paleta je vždy mimo pracovní prostor stroje a je na ní upínán obrobek pro další operaci do sklíčidla nebo na ruční upínací desku. Maximální hmotnost obrobku je 3000 kg. Maximální oběžný průměr je 900 mm a výška součásti 750 mm.

Vřeteno s poháněnými nástroji má maximální otáčky 2500 ot./min a dosahuje výkonu až 17 kW a krouticího momentu 840 Nm. Upínací rozhraní vřetene je SK50.

Stroj je vybaven zásobníkem nástrojů, který má kapacitu 16 kusů. Nástroje jsou vyměňovány automaticky. Zásobník je umístěn mimo pracovní prostor stroje, což umožňuje výměnu i v průběhu obráběcího cyklu. Soustružnické nástroje jsou upnuty ve speciálním držáku Capto C6, díky kterému je možné je upnout do rozhraní SK50, které je na vřetení stroje i v kapsách zásobníku.

Soustruh je ovládán řídicím systémem Sinumerik 840D, stejně jako předešlá obráběcí centra Heckert. [12] [14]

Pro použití této hlavy jsou kladeny zvýšené požadavky na operační systém stroje, kdy je nutné interpolovat souřadnice pohybu nástroje vzhledem k naklonění úhlové hlavy. Ovšem pro tento operační systém stroje by to neměl být problém.

Nákup této hlavy není přímo v nabídce stroje, proto by se musela poptat u dodavatele stroje, případně dokoupit zvlášť.



Obrázek 11: Úhlová nástrojová hlava pro stroj VSC 800LC APC k možnosti šikmého obrábění [15]

5.3 CZ.TECH SP 50 CNC

Třetím a zároveň posledním novým vybraným strojem pro inovaci výroby zadané součásti je soustruh SP 50 CNC od společnosti CZ.TECH Čelákovice. Tento stroj je podobný předchozímu popisovanému stroji VSC 800LC APC. Hlavní rozdíl je v tom, že se jedná o horizontální soustruh, takže je obráběcí hlava i osa obrobku umístěna vodorovně. Obráběcí hlava umožňuje také použití rotačních nástrojů k frézování a vrtání a pohybuje se v osách X a Z.



Obrázek 12: Horizontální soustruh CZ.TECH SP 50 CNC [16]

Obrobek je na tomto stroji upnut do sklíčidla na vřeteníku stroje, který je umístěn na skloněném loži pod úhlem 45° , aby docházelo k úplnému a bezproblémovému odvodu třísek. Oběžný průměr nad ložem je 1000 mm, nad suportem pak 900 mm a vzdálenost mezi hroty je 2000 mm. Vřeteno s obrobkem dosahuje maximálních otáček 1650 ot./min a při 40% zatížení výkonu 43 kW a maximálního krouticího momentu 905 Nm.

Nástrojová revolverová hlava TBMA 250 pracující z čelní strany obrobku je řízená servomotorem a vybavena dvanáctipozicovým nástrojovým diskem, který umožňuje i použití poháněných nástrojů. Ta je zobrazena na obrázku 13 níže. Výměna nástrojů tedy probíhá pootočením nástrojové hlavy, což ovládá stroj automaticky. Upínací systém pro nástroje je VDI 50 normy DIN1809. Vzhledem k tomuto rozhraní bude na stroji použito upínání přes upínací systém Capto C8, přes který lze pohodlně a rychle upnout poháněné i statické nástroje. Maximální otáčky poháněných nástrojů jsou 3000 ot./min a lze dosáhnout výkonu 8,8 kW při 40% zatížení a krouticího momentu 84 Nm.

Řídicí systém je u tohoto stroje také od společnosti Siemens, tentokrát se ale jedná o Sinumerik One rozšířený PLC automatem Simatic S7-300NE. [16] [17]

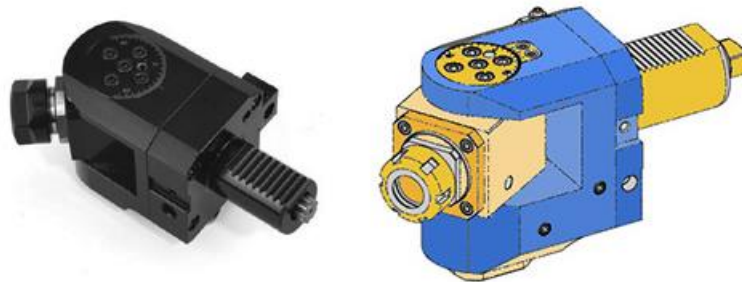


Obrázek 13: Revolverová nástrojová hlava TBMA 250 [16]

Stejně jako u předchozího vertikálního soustruhu není díky základní konstrukci tohoto soustruhu možné zhotovit šikmý otvor z osazení zadané součásti. I v tomto případě lze do nástrojové hlavy umístit přídatnou úhlovou nástrojovou hlavu se schopností nástroj naklopit o určitý úhel z rozsahu $\pm 90^\circ$ včetně interpolace souřadnic v řídicím systému stroje.

Příklad takové hlavy pro rozhraní stroje VDI50 DIN1809 je na obrázku níže. Opět se jedná o hlavu zakončenou kleštinovým sklíčidlem pro upnutí válcové stopky nástroje.

Ani u tohoto stroje není úhlová hlava v nabídce stroje, proto by ji bylo nutné přikoupit nebo poptat u dodavatele stroje.



Obrázek 14: Úhlová nástrojová hlava pro stroj SP 50 CNC k možnosti šikmého obrábění [18]

6 Výrobní postupy pro navržené varianty

S výběrem nových strojů pro výrobu zadané součásti je díky jejich rozšířeným vlastnostem oproti původnímu vybavení nutné upravit i výrobní postupy. V těch dojde k inovaci v tom, že se sloučí soustružnické, frézovací i vrtací operace. To přinese časovou i finanční úsporu díky obrábění najednou a odpadnutí manipulace, skladování a upínání obrobků na jiném stroji. Zároveň se tím uvolní kapacity strojů pro jiné operace.

Postupy budou navrhovány pro jednotlivé nové varianty strojů zvláště podle jejich možností. Optimalizovat se ale budou pouze obráběcí operace, jak již bylo popsáno v kapitole 4, a ostatní nesouvisející operace budou zachovány z původního postupu.

Upínání obrobku a nástroje pro obrábění se budou volit tak, aby byly univerzální pro všechny vybrané stroje. Celé výrobní postupy budou navíc koncipovány k možnému využití i pro další ozubená kola z portfolia společnosti s podobnou geometrií, jakou má zadaná součást.

6.1 Upnutí součásti

Upnutí obrobku bude ve své podstatě obdobné, jaké je používáno při současném obrábění na soustruhu Geminis GHT 6. Na všech nově vybraných strojích bude realizováno stejným způsobem, a to pomocí tříčelistového sklíčidla. Obrobek bude vždy upínán za vnější průměr mezi čelisti, což zaručí pevné uchycení a tlumení chvění obrobku. Při upnutí polotovaru se použijí tvrdé čelisti a při upnutí za již obrobené plochy načisto se použijí měkké čelisti.

K upínání bude použito sklíčidlo KNCS-NB od německého výrobce SMW Autoblok, které je na obrázku 15 níže. Toto sklíčidlo umožňuje upnout součásti různých tvarů mezi čelisti, které pracují od průměru 210 mm do 800 mm. Ve sklíčidle lze použít všechny typy vnějších čelistí, které lze vyměnit za velmi krátkou dobu. [19]



Obrázek 15: Sklíčidlo KNCS-NB [19]

Při vrtání děr v odlehčení kola, které bude nyní prováděno na stejném stroji, kde se bude i soustružit, je nutné odsazení kola od sklíčidla, ve kterém je kolo upnuto, aby nedošlo ke kolizi nástrojů se sklíčidlem. K tomuto účelu bude použito speciálních vyvýšených čelistí.

6.2 Výběr nástrojů pro obrobení součásti

Výběr vhodných nástrojů se bude řídit primárně tím, aby je bylo možné použít pro co nejvýkonnější a nejúspornější obrábění a neomezovaly tím výkon stroje. Dalším hlediskem pak bude možnost použít současné nástrojové vybavení společnosti tak, aby nevznikaly náklady na pořízení nových nástrojů a upínacích systémů. Zároveň budou nástroje vybírány od současného hlavního dodavatele nástrojů do firmy, kterým je společnost Seco Tools. Ta již více než 80 let nabízí nástroje pro frézování, soustružení, obrábění otvorů i závitování, tudíž na obrábění zadané součásti budou stačit nástroje pouze od této společnosti.

Při výběru nástrojů je taktéž zohledňován pracovní prostor stroje, limity zásobníku a vhodnost pro použití na zadané součásti.

Ke každému poháněnému nástroji budou uvedeny optimální řezné podmínky dle doporučení výrobce pro materiál 18CrNiMo7-6, který spadá do skupiny nástrojů pro obrábění P3. Konkrétní volba řezných podmínek pro jednotlivé operace na jednotlivých vybraných strojích zde nebude uvažována.

6.2.1 Upínací systémy

Upínací systémy jsou pro jednotlivé stroje rozdílné díky různým rozhraním ve vřetenech strojů. Z tohoto důvodu bude u každého nástroje popsán pouze typ upínače s ohledem na stranu k nástroji a uveden vybraný konkrétní model výrobce. Jednotlivé modely již ale nebudou blíže charakterizovány.

V obráběcím centru HEC 800 X5 MT budou poháněné nástroje upnuty přímo do upínacích systémů s rozhraním na straně stroje HSK-A100. Soustružnické nástroje budou upnuty přes systém CAPTO C6 s rozhraním HSK-T100.

Na vertikálním soustruhu VSC 800LC APC bude použito podobné řešení jako u stroje HEC 800 X5 MT pouze s rozdílným rozhraním. Poháněné nástroje budou upnuty přímo do upínačů s rozhraním SK50 a soustružnické nástroje přes systém Capto C6 se stejným rozhraním stroje SK50. Nástroje pro obrábění v oblasti šikmého otvoru budou upnuty ve speciální úhlové nástrojové hlavě přes kleštinové sklíčidlo. K těmto nástrojům tedy nebudou vybírány upínače s rozhraním SK50.

Na horizontálním soustruhu SP 50 CNC je v revolverové nástrojové hlavě použito rozhraní VDI 50. Toto rozhraní je typické pro soustruhy, ovšem pro použití rotačních poháněných nástrojů není vhodné z důvodu omezené nabídky a rozsahu použití upínacích systémů. Z tohoto důvodu bude na stroji pro upnutí soustružnických i poháněných nástrojů použit systém Capto C8 s vnějším rozhraním VDI 50. Nástroje pro

obrábění v oblasti šikmého otvoru budou upnuty ve speciální úhlové nástrojové hlavě přes kleštinové sklíčidlo stejně jako u stroje VSC 800LC APC. K těmto nástrojům tedy nebudou ani v tomto případě vybírány upínače.

Upínací systém Capto

Capto je modulární rychlovýměnný nástrojový upínací systém vhodný pro celý sortiment obráběcích nástrojů s použitím na širokém spektru obráběcích strojů. Vhodný je pro použití na víceúčelových strojích nebo obráběcích centrech s možností soustružení, jelikož jeho modulární systém obsahuje adaptéry na většinu používaných typů rozhraní těchto strojů.

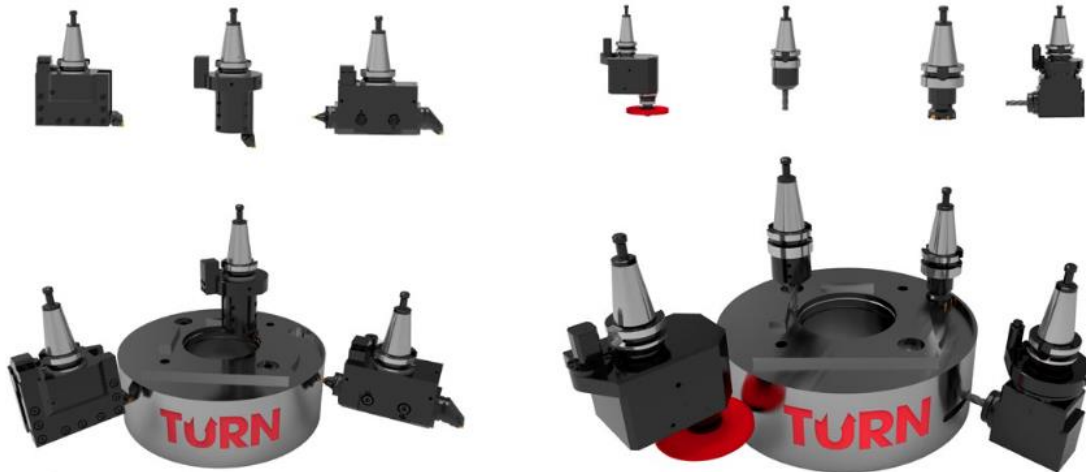
Z jednotlivých modulů lze sestavit nástroje různých délek a tvarů, čímž lze snížit potřebu nákupu jednotlivých drahých nástrojů. Systém je kompatibilní s většinou typů držáků destiček, nástrojů i jejich prodloužení, redukcí a nástavců. Díky tomuto systému lze používat stejné nástroje pro většinu strojů ve výrobním závodě.



Obrázek 16: Modulární upínací systém Capto pro použití v revolverové hlavě [21]

Tento systém také vyniká rychlou a snadnou výměnou nástrojů, čímž přispívá k zvýšení využití stroje. Výměna nástroje dosahuje rychlosti až 30 sekund, což je značná úspora oproti klasické koncepci, kde výměna trvá v řádu jednotek minut. Capto je dodáváno v šesti velikostech C3 až C10 podle typu požadavků zákazníka. Jeho robustní provedení zaručuje dobrou stabilitu, tuhost, přesnost polohování a přenos krouticích momentů. [20] [21]

Systém Capto dodává jak výhradní dodavatel společnosti Wikov Seco Tools, tak i Sandvik Coromant, pod něž společnost Seco Tools spadá.



Obrázek 17: Systém Capto s rozhraním SK50 na stroji společnosti TDZ Turn [12]

6.2.2 Nástroje pro soustružení

Vnější hrubovací nůž

K ohrubování všech vnějších ploch lze využít jeden nůž. Nástroj bude sestaven z držáku destičky v upínači a z karbidové povlakované destičky s utvařečem třísek vhodným pro hrubování. Nástrojový držák i destička musí být schopny soustružit podélně k vytvoření průměrů i svisle k vytvoření orovnání. Směr posuvu nože bude pravý stejně jako ve všech následujících případech. Vybraný držák i destička jsou specifikovány v tabulkách 2, 3 a 4.


Tabulka 2: Parametry destičky vnějšího hrubovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	CNMG160616-MR7 TP3501
	Teoretická délka břitu	16,1 mm
	Průměr vepsané kružnice	15,88 mm
	Poloměr špičky destičky	1,6 mm
	Úhel špičky destičky	80°
	Tloušťka destičky	6,35 mm

Tabulka 3: Parametry držáku Capto C6 vnějšího hrubovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C6-DCLNR-45065-16-M
	Funkční šířka	45 mm
	Funkční délka	65 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	95°
	Úhel sklonu ostří	-6°

Tabulka 4: Parametry držáku Capto C8 vnějšího hrubovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C8-DCLNR-55080-16
	Funkční šířka	55 mm
	Funkční délka	80 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	95°
	Úhel sklonu ostří	-6°


Vnější dokončovací nůž

Výběr dokončovacího nože pro soustružení vnějších ploch kladl stejný požadavek na schopnost nástroje obrábět čelní i válcové plochy. Opět se bude jednat o sestavu povlakované destičky a držáku. Destička bude mít utvařeč i geometrii vhodnou pro dokončování s ohledem na nejmenší zaoblení na součásti R0,8. Zvolená destička zvládne soustružit materiál i po cementaci a kalení, které probíhá na některých plochách před dokončením. Vybrané komponenty nástroje jsou včetně specifikace v tabulkách níže.


Tabulka 5: Parametry destičky vnějšího dokončovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	DNMG150608-MF2 TP1501
	Teoretická délka břitu	15,5 mm
	Průměr vepsané kružnice	12,7 mm
	Poloměr špičky destičky	0,8 mm
	Úhel špičky destičky	55°
	Tloušťka destičky	6,35 mm

Tabulka 6: Parametry držáku Capto C6 vnějšího dokončovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C6-DDUNR-45065-15
	Funkční šířka	45 mm
	Funkční délka	65 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	93°
	Úhel sklonu ostří	-7°

Tabulka 7: Parametry držáku Capto C8 vnějšího dokončovacího nože [22]


	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C8-DDUNR-55080-15
	Funkční šířka	55 mm
	Funkční délka	80 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	93°
	Úhel sklonu ostří	-7°

Vnitřní hrubovací nůž

Vnitřní hrubovací nůž bude použit pouze pro jeden úkon, kterým bude hrubování středového otvoru kola pro nasazení na hřídel. Jelikož se bude jednat jen o podélné soustružení, tak bude hlavním kritériem pro výběr nástroje délka držáku, aby nůž zvládl obrobit celou hloubku otvoru včetně přídavek. Destička bude použita stejná, jako v případě vnějšího hrubovacího nože, jelikož je vhodná pro podélné hrubování. Charakteristika destičky je v tabulce 2. Použitý držák je popsán v tabulce 8.

V nabídce dodavatele Seco nejsou pro tento typ obrábění držáky s rozhraním Capto C8, proto by v případě použití stroje SP 50 CNC bylo využito redukce C8-391.02-63055A z rozhraní Capto C6 na C8, která je zobrazena na obrázku 18 níže.

Tabulka 8: Parametry držáku Capto C6 vnitřního hrubovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C6-PCLNR-35175-16
	Funkční šířka	35 mm
	Funkční délka	175 mm
	Využitelná délka	152 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	95°
	Úhel sklonu ostří	-11°




Obrázek 18: Redukce C8-391.02-63055A pro držáky Capto C6 vnitřních nožů [21]

Vnitřní dokončovací nůž

Vnitřní dokončovací nůž použitý pro soustružení na zadané součásti je vybrán stejným způsobem jako vnitřní hrubovací nůž výše. Opět je zde stěžejní využitelná délka držáku pro obrábění. Destička bude opět vybrána stejná, jako je použita v dokončovacím vnějším noži. Její geometrie je vhodná pro použití v tomto držáku a této operaci. Zvládne obrobit i zápich s R2, který se v daném otvoru nachází, tudíž nebude potřeba využívat dalšího speciálního nože. Destička je popsána v tabulce 5. Parametry vybraného držáku jsou v tabulce 9 níže. Opět zde není na výběr držák s rozhraním Capto C8, proto bude použito stejné redukce, jako v minulém případě.

Tabulka 9: Parametry držáku Capto C6 vnitřního dokončovacího nože [22]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	C6-PDUNR-35175-15
	Funkční šířka	35 mm
	Funkční délka	175 mm
	Využitelná délka	152 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	93°
	Úhel sklonu ostří	-10°


6.2.3 Nástroje pro frézování

Fréza Minimaster MM16


Řada fréz Minimaster od společnosti Seco zahrnuje univerzální systém nástrojů pro čelní frézování. Skládá se z dvoudílné konstrukce stopky a řezné hlavičky pro různé aplikace, která se po opotřebením snadno vymění. Systém Minimaster zahrnuje rozsáhlou řadu stopek a hlaviček pro frézování drážek, otvorů, bočních ploch, rohů, rádiů, srážení hran nebo pro ponorné frézování. [23]

Pro výrobu zadaného dílu bude použit nástroj Minimaster MM16 s hlavičkou na srážení hran pro srážení hrany 1,5x45° na šikmém otvoru o průměru 14,5 mm před řezáním závitu M16x1,5. Hlavička bude upnuta ve válcové stopce s čelní válcovou částí pro upnutí hlavičky. Na stopce je ploška pro upnutí upínacím systémem Weldon, podle čehož bude zvolen i upínač celého nástroje. Parametry a zobrazení součástí tohoto nástroje jsou v tabulkách níže.

Tabulka 10: Parametry hlavičky Minimaster MM16 [23]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	MM16-16011-4540-E06 T60M
	Obráběcí průměr	7,69 – 16 mm
	Funkční délka	100 mm
	Délka břítu	42 mm
	Úhel nastavení hlavního ostří	45°
	Počet břitů	4
	Posuv na zub f_z	0,19 mm/zub
	Otáčky n	5931 ot./min

Tabulka 11: Parametry stopky Minimaster MM16 [23]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	MM16-25100.3-0019
	Celková délka	100 mm
	Délka vyložení	94 mm
	Průměr stopky	25 mm

Jak už bylo uvedeno výše, pro tento nástroj je vhodný upínací systém Weldon. V systému Weldon proti vysunutí nebo otočení nástroje působí boční zajišťovací šrouby právě na zmíněnou plošku ve stopce nástroje.

Tato stopka je vhodná i k použití v kleštinových sklíčidlech úhlových přídavných hlav na strojích VSC 800LC APC a SP 50 CNC, jelikož má válcový tvar. Pouze nebude využita funkce plošky. Takto bude postupováno i v příštích případech nástrojů s touto ploškou určených pro obrábění šikmého otvoru.

Model upínacího systému Weldon pro upnutí dané frézy na stroji HEC 800 X5 MT je v tabulce 12 níže.


Tabulka 12: Upínací systém Weldon pro upnutí frézy MM16 [21]



Monolitní fréza D20

K obrobení zahloubení nad závitem šikmého otvoru z osazení kola bude použita monolitní karbidová fréza z řady Jabro-Solid² výrobce Seco. Tato vysokovýkonná řada fréz pro všeobecné obrábění se vyznačuje velkou flexibilitou, rychlostí a nízkými náklady. Fréza je vhodná pro obrábění šroubovou interpolací, čehož bude v tomto případě využito. Vybraná fréza je rohového válcového provedení o průměru 20 mm s nejnižším možným rohovým sražením 0,25 mm. Další parametry nástroje jsou v tabulce níže. [24]

Tabulka 13: Parametry monolitní frézy D20 [24]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	554200Z4.3-SIRON-A
	Celková délka	100 mm
	Délka rezné části	42 mm
	Počet břitů	4
	Průměr stopky	20 mm
	Posuv na zub f_z	0,12 mm/zub
	Otáčky n	2149 ot./min

Jelikož má vybraná fréza stopku s ploškou pro upnutí v upínacím systému Weldon, stejně jako v minulém případě je podle toho zvolen i držák s tímto systémem popsaným výše, pouze je zvolen jiný typ pro menší průměr stopky. Upnutí na strojích s přídatnou úhlovou hlavou bude provedeno stejně jako v minulém případě, pouze bude zvoleno menší kleštinové pouzdro.

Tabulka 14: Upínací systém Weldon pro upnutí frézy D20 [21]



6.2.4 Nástroje pro vrtání

Vrták D80

Ke zhotovení devíti otvorů ve vybrání zadaného ozubeného kola bude využito dvou nástrojů. Jelikož otvory nejsou předlity ani předkovány v polotovaru, bude je nutné obrobit do plného materiálu. To by s sebou při přímém použití vrtáku o průměru 90 mm neslo velké zatížení stroje, které není žádoucí, a které by při použití dvou vybraných soustruhů bylo i hůře dosažitelné. Proto se nejdříve otvory předvrtají vrtákem o průměru 80 mm a následně se pomocí vyvrtávací tyče dokončí na požadovaných 90 mm.


Pro tuto náročnou operaci je vybrán vrták z řady Seco Perfomax. Tato řada vrtáků se skládá z tělesa vrtáku a čtvercových vyměnitelných břitových destiček se čtyřmi řeznými hranami a karbidovým povlakem. Pro tento typ vrtáku jsou použity 2 druhy destiček. Destička na obvodu vrtáku je povlakovaná vícevrstevným materiálem DP3000 s vyšší houževnatostí pro použití při vyšších posuvech a řezných rychlostech. Destička ve středu vrtáku má povlak T400D pro použití v produktivním vrtání.

Těleso vrtáku je drážkované a povlakované pro snadný a usměrněný odvod třísek a je vybaveno kanálky pro přívod řezné kapaliny. Tělesa řady Perfomax vynikají vysokou tuhostí, díky čemuž dosahují dobré produktivity a výsledků i ve ztížených podmínkách. Těleso a destičky vrtáku jsou charakterizovány v tabulkách níže. [25]


Tabulka 15: Parametry tělesa vrtáku D70 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SD542-80-200-50RS
	Celková délka	331,5 mm
	Využitelná délka	200 mm
	Počet břitů	4
	Průměr příruby	79 mm
	Průměr stopky	50 mm
	Posuv na otáčku f_{ot}	0,22 mm/ot.
	Otáčky n	1293 ot./min

Tabulka 16: Parametry obvodové destičky vrtáku D70 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SCGX120408-P2 DP3000
	Teoretická délka břitu	12,7 mm
	Poloměr špičky destičky	0,8 mm
	Úhel špičky destičky	90°
	Tloušťka destičky	4,76 mm

Tabulka 17: Parametry středové destičky vrtáku D70 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SPGX12T3-C1 T400D
	Teoretická délka břitu	12,7 mm
	Úhel špičky destičky	90°
	Tloušťka destičky	3,97 mm

Upnutí tělesa vrtáku bude i v tomto případě přes stopku s ploškou pro upínací systém Weldon, jako tomu bylo u několika minulých případů. V tomto případě bude pouze rozdíl v průměru stopky nástroje. Vybrané držáky jsou v tabulce 18.


Tabulka 18: Upínací systémy Weldon pro upnutí vrtáku D70 [21]

Upínač s HSK-A100	Upínač s SK50	Upínač s Capto C8
HSKA100-EM50-130-L1	DIN50ADB-EM50-130-L1	C8-391.0584-50120
		

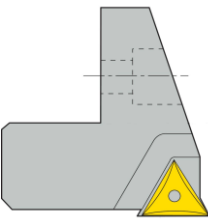
Vyvrťovací tyč D90

K dokončení předvrtaného otvoru z průměru 80 mm na průměr 90 mm je jako nejvhodnější nástroj použita vyvrťovací tyč. Vyvrťovací tyč, nebo také hlava, se používá k dosažení otvorů požadované přesnosti a jakosti. Používají se různé tvary a druhy hlav pro hrubování a pro jemné dokončovací vyvrťování. V tomto případě využijeme radiální hlavy pro jemné vyvrťování řady EPB 780 společnosti Seco. Ty zahrnují 9 vyvážených řezných hlav pro kazety s rozsahem použití na průměry 15 až 205 mm. Každá hlava pojme jednu kazetu s vyměnitelnou břitovou destičkou, která se nastaví do rozsahu průměrů dané hlavy. Pro obrábění daných otvorů se použije hlava s rozsahem 85 až 144 mm s kazetou pro jemné vyvrťování. Parametry jednotlivých částí nástroje jsou v tabulkách níže.


Tabulka 19: Parametry vyvrťovací hlavy [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	A78060
	Rozsah obráběných průměrů	85–144 mm
	Celková délka	140 mm
	Funkční délka	105 mm

Tabulka 20: Parametry kazety obráběcí hlavy [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	A72460
	Rozsah obráběných průměrů	85–115 mm
	Funkční délka	16,3 mm
	Funkční šířka	18,9 mm
	Počet břitů	1

Tabulka 21: Parametry destičky vyvrťovací tyče [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	TCMT110204-F1 CP500
	Teoretická délka břitu	11 mm
	Průměr vepsané kružnice	6,35 mm
	Poloměr špičky destičky	0,4 mm
	Úhel špičky destičky	60°
	Tloušťka destičky	2,38 mm

Upnutí vyvrťovacích hlav je realizováno přes upínací rozhraní systémem Graflex. Tento přírubový modulární systém s nastavitelnými držáky je vhodný pro mnoho typů nástrojů s dlouhým vyložení a vysokou stabilitou. Jednotlivé upínače se systémem Graflex pro upnutí vyvrťovací tyče jsou v tabulce 22. [21]


Tabulka 22: Upínací systémy Graflex pro upnutí vyvrtávací tyče D90 [21]

Upínač s HSK-A100	Upínač s SK50	Upínač s Capto C8
EM93064013675	EM34714013645	C8-391.0401-36055
		

Vrták D14

Pro vrtání tří otvorů o průměru 14 mm pro závity M16 v odlehčení kola bude použito monolitního vrtáku z řady Seco Feedmax o délce 5D, tedy přibližně pětinasobku průměru vrtáku. Jedná se o základní víceúčelovou řadu vrtáků, která je vhodná pro vrtání do většiny materiálů. Vrták disponuje dobrými mechanickými a funkčními vlastnostmi díky vhodně zvolené geometrii a karbidovému povlaku TiAlN naneseného metodou PVD. Parametry, znázornění vrtáku a doporučené řezné podmínky jsou v tabulce 23. [25]

Tabulka 23: Parametry vrtáku D14 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SD205A-1400-060-14R1-P
	Celková délka	124 mm
	Využitelná délka	60 mm
	Počet břitů	2
	Průměr stopky	14 mm
	Posuv na otáčku f_{ot}	0,46 mm/ot.
	Otáčky n	3410 ot./min

Pro následné obrábění závitu M16 ve vyvrtaných otvorech tímto vrtákem je nutné sražení hrany otvoru. To umožňuje u řady Seco Feedmax přídavný modul pro sražení hran, který se umísťuje přímo na tělo vrtáku. Tím lze srazit hranu přímo v jedné operaci s vrtáním, čímž se obráběcí proces urychlí. Řezné podmínky jsou při použití modulu stejné jako při použití samotného vrtáku. Znázornění a parametry srážecího modulu jsou v tabulce níže. [25]

Tabulka 24: Parametry srážecího modulu vrtáku D14 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SD200-C45-14R1
	Obráběný průměr	12–14 mm
	Průměr příruby	30 mm
	Využitelná délka vrtáku	22–83 mm
	Délka tělesa modulu	25 mm
	Celková délka modulu	71,5 mm
	Počet břitů	2
	Průměr stopky	20 mm

Upnutí vrtáku se srážecím modulem bude realizováno pomocí kleštinového sklíčidla. Nástroj je v tělese sklíčidla sevřen kleštinovým upínacím pouzdrem. Do sklíčidla lze upnout více druhů pouzder, proto je variabilní pro použití širokého rozsahu nástrojů. Jednotlivé držáky s kleštinovým sklíčidlem jsou v tabulce 25. Kleštinové upínací pouzdro bude u tohoto nástroje použito ER 40. [21]


Tabulka 25: Kleštinová sklíčidla pro upnutí vrtáku D14 [21]

Upínač s HSK-A100	Upínač s SK50	Upínač s Capto C8
E9306567540120	E3471567540100	C8-391.5675-40070
		

Vrták D14,5

Pro vrtání otvoru pro závit M16x1,5 v šikmém otvoru se použije vrták o průměru 14,5 mm opět řady Feedmax jako minulý vrták D14. Rozdíl bude kromě průměru i v délce vrtáku, kdy zde stačí délka 3D. Parametry vrtáku jsou v tabulce níže.

Tabulka 26: Parametry vrtáku D14,5 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SD203A-1450-045-16R1-P
	Celková délka	115 mm
	Využitelná délka	45 mm
	Počet břitů	2
	Průměr stopky	16 mm
	Posuv na otáčku f_{ot}	0,46 mm/ot.
	Otáčky n	3622 ot./min

I po vrtání tímto vrtákem bude nutné srazit hrany na vyvrtaném otvoru pro řezání závitů, ale kvůli zahlobení nad otvorem a velikosti srážecího modulu není možné tento modul použít, jinak by došlo ke kolizi. Pro sražení hrany tedy bude nutné použít nástroj Minimaster MM16 uvedený v kapitole „Nástroje pro frézování“ výše.

Upnutí nástroje bude stejně jako v předchozím případě do kleštinového sklíčidla, ale použijeme menší variantu díky menšímu průměru stopky a menší délce nástroje. Kleštinové pouzdro bude použito ER 32. Jelikož se jedná o nástroj použitý ke zhotovení šikmého otvoru, bude upnut na dvou zmíněných strojích v přídavných úhlových nástrojových hlavách, které mají kleštinové sklíčidlo zabudované přímo v sobě.


Tabulka 27: Kleštinové sklíčidlo pro upnutí vrtáku D14,5 [21]



Vrták D5

Pro dovrátání šikmého otvoru do vnitřku náboje bude použit vrták z řady Seco Universal pro hloubku vrtání 12D. Vrták má vnitřní chlazení a dobré středění díky geometrii špičky nástroje. Povlak je z karbidu TiAlN vyrobeného metodou PVD a zajišťuje dobré mechanické a řezné vlastnosti nástroje. Parametry a zobrazení jsou v tabulce 28. [25]

Tabulka 28: Parametry vrtáku D5 [25]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	SD1112A-0500-074-06R1
	Celková délka	121 mm
	Využitelná délka	74 mm
	Počet břitů	2
	Průměr stopky	6 mm
	Posuv na otáčku f_{ot}	0,15 mm/ot.
	Otáčky n	5411 ot./min


Pro upnutí tohoto vrtáku použijeme stejné kleštinové sklíčidlo, jako u vrtáku D14,5. Jedinou změnou bude jiné kleštinové pouzdro vhodné pro velikost stopky 6 mm. Stejný postup upnutí bude i v úhlových nástrojových hlavách.

6.2.5 Nástroje pro závitování

Závitník M16

Pro výrobu tří závitů M16 v odlehčení kola byl vybrán monolitní závitník ze slinutého karbidu. Jedná se o nástroj ze základní závitníkové řady Threadmaster od společnosti Seco. Je zvolen závitník s přímými drážkami, jelikož je závit zhotovován v průchozím otvoru, díky čemuž lépe odchází třísky otvorem ven. Parametry a zobrazení závitníku jsou v tabulce 29. [26]

Tabulka 29: Parametry závitníku M16 [26]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	MTP-M16X2.00ISO6H-TB-V008-A
	Celková délka	110 mm
	Využitelná délka	68 mm
	Délka závitové části	20 mm
	Počet břitů	4
	Průměr stopky	12 mm
	Otáčky n	657 ot./min

Upnutí závitníku bude realizováno pomocí kleštinového sklíčidla TCER. To funguje na stejném principu, jako již zmíněné kleštinové upínače použité pro upnutí vrtáků. Sklíčidla TCER ale mají navíc mikrokompenzace pro synchronizované závitování, které eliminují malé odchylky a axiální síly při závitování. To vede k menšímu namáhání nástroje a lepší kvalitě vyrobeného závitu. Použity jsou speciální kleštiny ER 25 se čtyřhranem, které také lze měnit v tělese sklíčidla pro použití různých velikostí závitníků. [26] [21]


Tabulka 30: Kleštinová sklíčidla TCER pro upnutí závitníků [21]

Upínač s HSK-A100	Upínač s SK50	Upínač s Capto C8
E9306586725134	E4471586725126	C8-391.5867-25131
		

Závitník M16x1,5

Ke zhotovení závitu M16x1,5 v šikmém otvoru z osazení součásti bude zvolen závitník ze stejné řady Threadmaster společnosti Seco jako M16 výše. Jelikož se ale v tomto případě jedná o závitování v neprůchozím otvoru, resp. v otvoru pokračujícím výrazně menším průměrem, bude zvolen závitník se šroubovými drážkami se stoupáním 48° pro odvod třísek. Parametry a zobrazení nástroje jsou v tabulce níže. [26]

Tabulka 31: Parametry závitníku M16x1,5 [26]

	Atribut nástroje	Hodnota
	Označení výrobce	MTH-M16X1.5ISO6HX-BC-P011
	Celková délka	100 mm
	Využitelná délka	58 mm
	Délka závitové části	15 mm
	Počet břitů	4
	Průměr stopky	12 mm
	Otáčky n	895 ot./min

Jelikož má tento závitník stejné upínací rozměry jako závitník výše, bude upnut ve stejném držáku. Pouze na strojích s přídavnou nástrojovou hlavou nutnou pro šikmé obrábění bude tento závitník upnut v klasických kleštinových sklíčidlech umístěných přímo na těchto hlavách. Případně ještě může být přikoupeno speciální upínací kleštinové pouzdro určené k řezání závitů, které eliminuje axiální kompenzace vyvolané nepřesností posuvu. Toto pouzdro by bylo při použití závitníků vloženo přímo do kleštinového sklíčidla na přídavných úhlových hlavách.

6.3 Sledy operací výrobního postupu jednotlivých variant


6.3.1 Varianta se strojem HEC 800 X5 MT

Tabulka 32: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem HEC 800 X5 MT

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
10	Kontrola tvrdosti	Tvrdoměr
20	Soustružení 1, frézování a vrtání 1	Obráběcí centrum HEC800 X5 MT
30	Soustružení 2	Obráběcí centrum HEC800 X5 MT
40	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
50	Ruční úprava	Pracoviště montáže
60	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
70	Odmaštění	Odmašťovací stroj
80	Ochranné nátěry	Pracoviště tepelného zpracování
90	Cementace a kalení	Pracoviště tepelného zpracování

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
100	Žíhání a popouštění	Pracoviště tepelného zpracování
110	Kontrola hloubky cementace	Pracoviště tepelného zpracování
120	Tryskání	Metací tryskač
130	Kontrola tvrdosti	Pracoviště tepelného zpracování
140	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
150	Soustružení 3	Obráběcí centrum HEC800 X5 MT
160	Soustružení 4, frézování a vrtání 2	Obráběcí centrum HEC800 X5 MT
170	Broušení	Bruska
180	Kontrola	Souřadnicový měřicí stroj
190	Broušení ozubení	Šneková bruska na ozubení
200	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
210	Ruční úprava	Pracoviště montáže
220	Odmaštění	Odmašťovací stroj
230	Kontrola trhlin	Defektoskop
240	Konečná kontrola	Pracoviště kontroly

Tabulka 33: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem HEC 800 X5 MT

Pracoviště obrábění současné výroby		Pracoviště obrábění nové varianty
Obráběcí centrum HEC 1600		Obráběcí centrum HEC 800 X5 MT
Soustruh Geminis GHT 6		
Obráběcí centrum HEC 800		


6.3.2 Varianta se strojem VSC 800LC APC

Tabulka 34: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem VSC 800LC APC

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
10	Kontrola tvrdosti	Tvrdoměr
20	Soustružení 1, frézování a vrtání 1	Soustruh VSC 800LC APC
30	Soustružení 2	Soustruh VSC 800LC APC
40	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
50	Ruční úprava	Pracoviště montáže
60	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
70	Odmaštění	Odmašťovací stroj
80	Ochranné nátěry	Pracoviště tepelného zpracování
90	Cementace a kalení	Pracoviště tepelného zpracování
100	Žíhání a popouštění	Pracoviště tepelného zpracování
110	Kontrola hloubky cementace	Pracoviště tepelného zpracování
120	Tryskání	Metací tryskač
130	Kontrola tvrdosti	Pracoviště tepelného zpracování
140	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
150	Soustružení 3	Soustruh VSC 800LC APC
160	Soustružení 4, frézování a vrtání 2	Soustruh VSC 800LC APC
170	Broušení	Bruska

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
180	Kontrola	Souřadnicový měřicí stroj
190	Broušení ozubení	Šneková bruska na ozubení
200	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
210	Ruční úprava	Pracoviště montáže
220	Odmaštění	Odmašťovací stroj
230	Kontrola trhlin	Defektoskop
240	Konečná kontrola	Pracoviště kontroly

Tabulka 35: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem VSC 800LC APC


Pracoviště obrábění současné výroby		Pracoviště obrábění nové varianty
Obráběcí centrum HEC 1600		Soustruh VSC 800LC APC
Soustruh Geminis GHT 6		
Obráběcí centrum HEC 800		

6.3.3 Varianta se strojem SP 50 CNC

Tabulka 36: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem SP 50 CNC

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
10	Frézování a vrtání 1	Obráběcí centrum HEC1600
20	Kontrola tvrdosti	Tvrdoměr
30	Soustružení 1	Soustruh SP 50 CNC
40	Soustružení 2	Soustruh SP 50 CNC
50	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
60	Ruční úprava	Pracoviště montáže
70	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
80	Odmaštění	Odmašťovací stroj
90	Ochranné nátěry	Pracoviště tepelného zpracování
100	Cementace a kalení	Pracoviště tepelného zpracování
110	Žihání a popouštění	Pracoviště tepelného zpracování
120	Kontrola hloubky cementace	Pracoviště tepelného zpracování
130	Tryskání	Metací tryskač
140	Kontrola tvrdosti	Pracoviště tepelného zpracování
150	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
160	Soustružení 3	Soustruh SP 50 CNC
170	Soustružení 4, frézování a vrtání 2	Soustruh SP 50 CNC
180	Broušení	Bruska
190	Kontrola	Souřadnicový měřicí stroj
200	Broušení ozubení	Šneková bruska na ozubení
210	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
220	Ruční úprava	Pracoviště montáže
230	Odmaštění	Odmašťovací stroj
240	Kontrola trhlin	Defektoskop
250	Konečná kontrola	Pracoviště kontroly

Tabulka 37: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem SP 50 CNC

Pracoviště obrábění současné výroby		Pracoviště obrábění nové varianty
Obráběcí centrum HEC 1600		Obráběcí centrum HEC 1600
Soustruh Geminis GHT 6		Soustruh SP 50 CNC
Obráběcí centrum HEC 800		

6.3.4 Srovnání jednotlivých variant

Díky výběru nových strojů s možností soustružit i frézovat v jedné operaci na jedno upnutí dojde ve sledu operací výrobního postupu ke změnám. Změny jsou označeny v následující tabulce 38, kde je uveden sled operací výrobního postupu současné výroby s barevným vyznačením změněných operací.

První změna je stejná pro dvě ze tří nově navržených variant, a to se stroji HEC800 X5 MT a VSC 800LC APC. Tato změna je v porovnávací tabulce označena oranžově. Při ní dojde ke sloučení původních operací 10 a 30, kdy je možné přenést Frézování a vrtání 1 včetně závitování v operaci 10 do následující operace Soustružení 1. Tím pádem z postupu výroby odpadá obrábění na stroji HEC 1600, který bude moci být využit pro jiné obrábění, nebo postupně vyřazen. Další věcí je, že díky této změně se stane první operací výrobního postupu kontrola tvrdosti, kterou je lepší provést před obráběním, aby nedocházelo k vyhodnocení zmetkovitosti polotovaru až po obrábění, což by bylo časově i finančně nevýhodné. U varianty se strojem SP 50 CNC bylo v průběhu návrhu nových výrobních postupů zjištěno, že na daném stroji není možné tuto změnu provést z důvodu nízkého výkonu poháněného nástrojového vřetena revolverové hlavy, které by nezvládlo zhotovení otvorů o průměru 90 mm. Při využití této varianty tedy zůstane zachována celá původní operace 10 na obráběcím centru HEC 1600.

Druhá změna je při základní konstrukci strojů možná pouze při použití varianty se strojem HEC 800 X5 MT a je v tabulce označena červeně. Díky možnosti pětiosého obrábění na tomto centru je možné provést Frézování a vrtání 2 z původní operace 180 ve stejné operaci se Soustružením 4 v operaci 160. Tím pádem se v dané variantě původní operace 180 ruší, s čímž je spojeno i vyřazení obráběcího centra HEC 800 z výroby zadané součásti. Ovšem pokud se ke strojům VSC 800LC APC a SP 50 CNC dokoupí zmíněné přídatné úhlové nástrojové hlavy, díky kterým bude možné obrobit šikmý otvor, bude sloučení operací možné provést i na těchto strojích. Pokud by se nákup nevyužil, zmíněná operace by v těchto případech zůstala na stroji HEC 800. V této práci se každopádně bude počítat s variantou nákupu úhlových hlav, tudíž i se zrušením původní operace 180 při využití všech tří nových variant.

Tato inovace je prvním krokem k racionalizaci výroby zadané součásti. Snížení operací a počtu strojů potřebných k výrobě s sebou nese časovou úsporu, což znamená i úsporu finanční a uvolnění kapacit na vyřazených strojích k výrobě jiných součástí. Dalším krokem je vypracování podrobnějšího výrobního postupu s novými nástroji, který bude v příští kapitole sloužit k vytvoření časových studií na nových strojích s vybranými nástroji, což by mělo přinést další časovou úsporu ve výrobě.

Tabulka 38: Sled operací výrobního postupu současné výroby s označením změn nových variant

Operace	Činnost	Stroj/pracoviště
10	Frézování a vrtání 1	Obráběcí centrum HEC 1600
20	Kontrola tvrdosti	Tvrdoměr
30	Soustružení 1	Soustruh Geminis GHT 6
40	Soustružení 2	Soustruh Geminis GHT 6
50	Frézování ozubení	Odvalovací frézka
60	Ruční úprava	Pracoviště montáže
70	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
80	Odmaštění	Odmašťovací stroj
90	Ochranné nátěry	Pracoviště tepelného zpracování
100	Cementace a kalení	Pracoviště tepelného zpracování
110	Žíhání a popouštění	Pracoviště tepelného zpracování
120	Kontrola hloubky cementace	Pracoviště tepelného zpracování
130	Tryskání	Metací tryskač
140	Kontrola tvrdosti	Pracoviště tepelného zpracování
150	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
160	Soustružení 3	Soustruh Geminis GHT 6
170	Soustružení 4	Soustruh Geminis GHT 6
180	Frézování a vrtání 2	Obráběcí centrum HEC800
190	Broušení	Bruska
200	Kontrola	Souřadnicový měřicí stroj
210	Broušení ozubení	Šneková bruska na ozubení
220	Kontrola ozubení	Pracoviště ozubárny
230	Ruční úprava	Pracoviště montáže
240	Odmaštění	Odmašťovací stroj
250	Kontrola trhlin	Defektoskop
260	Konečná kontrola	Pracoviště kontroly

6.4 Výrobní postupy variant se stroji HEC 800 X5 MT a VSC 800LC APC

Tabulka 39: Výrobní postup operace 20 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC

Operace 20 – Soustružení 1, Frézování a vrtání 1		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout polotovary zprava do sklíčidla do tvrdých čelistí	-
2	Zarovnat pravé čelo náboje s přídávkem 1,5 mm	Vnější hrub. nůž
3	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 304 mm dle výkresu s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
4	Soustružit bok ozubení na šířku 106,5 mm do průměru 625 mm s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
5	Soustružit zbytek čela věnce s přechodem do vybrání s přídávkem 1,5 mm na plochu	Vnější hrub. nůž
6	Soustružit povrch ozubení na průměr 664 + 0,2 mm po čelisti	Vnější hrub. nůž
7	Soustružit otvor na průměr 220 mm s tolerancí H8	Vnitřní hrub. nůž
8	Soustružit bok ozubení na šířku 105,5 mm do průměru 625 mm se sražením 3x30° hotově	Vnější dokon. nůž
9	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 304 mm se zaoblením R5 a přechodem do vybrání dle výkresu o ohledem na přídavek hotově	Vnější dokon. nůž
10	Vrtat 9x otvor ve vybrání o průměru 80 mm skrz	Vrták D80
11	Vyvtat otvory o průměru 80 mm na průměr 90 mm	Vyvtávací tyč D90
12	Vrtat 3x otvor ve vybrání o průměru 14 mm skrz a srazit hranu	Vrták D14
13	Řezat 3x závit M16 v otvorech o průměru 14 mm skrz	Závitník M16
14	Kontrola rozměrů a závitů	-

Tabulka 40: Výrobní postup operace 30 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC

Operace 30 – Soustružení 2		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zleva do sklíčidla do tvrdých čelistí	-
2	Zarovnat čelo náboje na šířku 127 mm s přídávkem 1,5 mm na každém čele	Vnější hrub. nůž
3	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 296,2 mm dle výkresu s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž

Operace 30 – Soustružení 2		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
4	Soustružit bok ozubení na šířku 106,5 mm do průměru 625 mm s přídavkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
5	Soustružit zbytek čela věnce s přechodem do vybrání s přídavkem 1,5 mm na plochu	Vnější hrub. nůž
6	Soustružit povrch ozubení na průměr 664 + 0,2 mm	Vnější hrub. nůž
7	Soustružit bok ozubení na šířku 105,5 mm do průměru 625 mm se sražením 3x30° hotově	Vnější dokon. nůž
8	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 296,2 mm se zaoblením R5 a přechodem do vybrání dle výkresu o ohledem na přídavek hotově	Vnější dokon. nůž
9	Kontrola rozměrů	-

Tabulka 41: Výrobní postup operace 150 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC

Operace 150 – Soustružení 3		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zleva do sklíčidla do měkkých čelistí	-
2	Zarovnat pravé čelo náboje a čelo věnce rovně s přídavkem 0,1 mm pro brus	Vnější dokon. nůž
3	Soustružit hlavový průměr ozubení na průměr 663,6 - 0,3 mm po čelisti	Vnější dokon. nůž
4	Soustružit otvor na průměr 224,6 mm s přídavkem 0,1 mm pro brus včetně zápichu R2 dle výkresu hotově s ohledem na přídavek	Vnitřní dokon. nůž
5	Kontrola rozměrů a geometrických tolerancí	-

Tabulka 42: Výrobní postup operace 160 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC

Operace 160 – Soustružení 4, Frézování a vrtání 2		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zprava do sklíčidla do měkkých čelistí	-
2	Zarovnat čelo náboje na šířku 124 mm s přídavkem 0,1 mm na každém čele pro brus	Vnější dokon. nůž
3	Soustružit hlavový průměr ozubení na průměr 663,6 - 0,3 mm	Vnější dokon. nůž
4	Zarovnat nákržek na čele věnce na šířku 17,5 mm	Vnější dokon. nůž
5	Zhotovit zafrézování šikmého otvoru o průměru 37 mm dle výkresu	Monol. fréza D20
6	Vrtat otvor 14,5 mm do hloubky 18 mm	Vrták D14,5
7	Vrtat zbytek otvoru na průměr 5 mm skrz	Vrták D5
8	Srazit hranu na otvoru o průměru 14,5 mm	Fréza MM16

Operace 160 – Soustružení 4, Frézování a vrtání 2		Pracoviště: HEC 800 X5 MT / VSC 800LC APC
9	Řezat závit M16x1,5 v otvoru o průměru 14,5 mm do hloubky 13 mm	Závitník M16x1,5
10	Kontrola rozměrů, závitu a geometrických tolerancí	-

6.5 Výrobní postupy varianty se strojem SP 50 CNC

Tabulka 43: Výrobní postup operace 10 pro stroj HEC 1600

Operace 10 – Frézování a vrtání 1		Pracoviště: HEC 1600
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout polotovar zprava na pravouhlý stůl s podložením	-
2	Vrtat 9x otvor ve vybrání o průměru 80 mm skrz	Vrták D80
3	Vyvrtat otvory o průměru 80 mm na průměr 90 mm	Vyvrtávací tyč D90
4	Vrtat 3x otvor ve vybrání o průměru 14 mm skrz a srazit hranu	Vrták D14
5	Řezat 3x závit M16 v otvorech o průměru 14 mm skrz	Závitník M16
6	Kontrola závitů	-

Tabulka 44: Výrobní postup operace 30 pro stroj SP 50 CNC

Operace 30 – Soustružení 1		Pracoviště: SP 50 CNC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout polotovar zprava do sklíčidla do tvrdých čelistí	-
2	Zarovnat pravé čelo náboje s přídávkem 1,5 mm	Vnější hrub. nůž
3	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 304 mm dle výkresu s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
4	Soustružit bok ozubení na šířku 106,5 mm do průměru 625 mm s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
5	Soustružit zbytek čela věnce s přechodem do vybrání s přídávkem 1,5 mm na plochu	Vnější hrub. nůž
6	Soustružit povrch ozubení na průměr 664 + 0,2 mm po čelisti	Vnější hrub. nůž
7	Soustružit otvor na průměr 220 mm s tolerancí H8	Vnitřní hrub. nůž
8	Soustružit bok ozubení na šířku 105,5 mm do průměru 625 mm se sražením 3x30° hotově	Vnější dokon. nůž
9	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 304 mm se zaoblením R5 a přechodem do vybrání dle výkresu o ohledem na přídavek hotově	Vnější dokon. nůž
10	Kontrola rozměrů	-

Tabulka 45: Výrobní postup operace 40 pro stroj SP 50 CNC

Operace 40 – Soustružení 2		Pracoviště: SP 50 CNC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zleva do sklíčidla do tvrdých čelistí	-
2	Zarovnat čelo náboje na šířku 127 mm s přídávkem 1,5 mm na každém čele	Vnější hrub. nůž
3	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 296,2 mm dle výkresu s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
4	Soustružit bok ozubení na šířku 106,5 mm do průměru 625 mm s přídávkem 1 mm	Vnější hrub. nůž
5	Soustružit zbytek čela věnce s přechodem do vybrání s přídávkem 1,5 mm na plochu	Vnější hrub. nůž
6	Soustružit povrch ozubení na průměr 664 + 0,2 mm	Vnější hrub. nůž
7	Soustružit bok ozubení na šířku 105,5 mm do průměru 625 mm se sražením 3x30° hotově	Vnější dokon. nůž
8	Soustružit osazení mezi průměry 255 a 296,2 mm se zaoblením R5 a přechodem do vybrání dle výkresu o ohledem na přídavek hotově	Vnější dokon. nůž
9	Kontrola rozměrů	-

Tabulka 46: Výrobní postup operace 160 pro stroj SP 50 CNC

Operace 160 – Soustružení 3		Pracoviště: SP 50 CNC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zleva do sklíčidla do měkkých čelistí	-
2	Zarovnat pravé čelo náboje a čelo věnce rovně s přídávkem 0,1 mm pro brus	Vnější dokon. nůž
3	Soustružit hlavový průměr ozubení na průměr 663,6 - 0,3 mm po čelisti	Vnější dokon. nůž
4	Soustružit otvor na průměr 224,6 mm s přídávkem 0,1 mm pro brus včetně zápichu R2 dle výkresu hotově s ohledem na přídavek	Vnitřní dokon. nůž
5	Kontrola rozměrů a geometrických tolerancí	-

Tabulka 47: Výrobní postup operace 170 pro stroj SP 50 CNC

Operace 170 – Soustružení 4, Frézování a vrtání 2		Pracoviště: SP 50 CNC
Číslo úkonu	Úkon	Nástroj
1	Upnout součást zprava do sklíčidla do měkkých čelistí	-
2	Zarovnat čelo náboje na šířku 124 mm s přídávkem 0,1 mm na každém čele pro brus	Vnější dokon. nůž
3	Soustružit hlavový průměr ozubení na průměr 663,6 - 0,3 mm	Vnější dokon. nůž
4	Zarovnat nákržek na čele věnce na šířku 17,5 mm	Vnější dokon. nůž
5	Zhotovit zafrézování šikmého otvoru o průměru 37 mm dle výkresu	Monol. fréza D20
6	Vrtat otvor 14,5 mm do hloubky 18 mm	Vrták D14,5
7	Vrtat zbytek otvoru na průměr 5 mm skrz	Vrták D5
8	Srazit hranu na otvoru o průměru 14,5 mm	Fréza MM16
9	Řezat závit M16x1,5 v otvoru o průměru 14,5 mm do hloubky 13 mm	Závitník M16x1,5
10	Kontrola rozměrů, závitu a geometrických tolerancí	-

7 Časové studie výroby

Pro jednotlivé výrobní postupy uvedené výše byly vytvořeny časové studie výroby zadané součásti obráběním. Základním výstupem časové studie je jednotkový čas výroby t_A na vybraných strojích. Tento čas bude v další kapitole stěžejní hodnotou pro ekonomické zhodnocení jednotlivých variant včetně porovnání se současným stavem výroby. Jednotkový čas obráběcího stroje t_A se skládá z několika složek, které jsou uvedené ve vztahu 7.1:

$$t_A = t_{A4} + t_{A5} + t_{A6} \text{ [min]} \quad (7.1)$$

kde t_{A4} je jednotkový čas chodu obráběcího stroje,

t_{A5} je jednotkový čas klidu obráběcího stroje,

t_{A6} je jednotkový čas interference obráběcího stroje. [27]

Pro další postup v této práci jsou jednotlivé složky vztahu upraveny. Jednotkový čas chodu obráběcího stroje t_{A4} je uvažován pro všechny technologické úkony v dané operaci včetně kinematických aspektů, tudíž nezahrnuje pouze čistě strojní čas

obrábění. Tyto hodnoty navýšení času ale netvoří významnou část procesu a pohybují se obvykle do 5 až 10 % celkového času chodu stroje.

V případě strojů s prvky automatizace, kterými jsou u strojů HEC 800 X5 MT a VSC 800LC APC výměnné paletové systémy, uvažujeme hodnotu jednotkového času klidu obráběcího stroje t_{A5} nulovou. Proces výměny palet zde totiž probíhá automaticky a neměly by v něm být téměř žádné prodlevy z hlediska upínání a snímání obrobků, proměňování a výměny nástrojů, jelikož je možné tyto úkony provádět při běhu stroje. I když by zde docházelo k určitým krátkým přestávkám, jejich hodnoty by byly tak nízké, že budeme v těchto případech daný čas předpokládat nulový.

Jednotkový čas interference bude taktéž nulový, jelikož na každý z navržených strojů je plánována obsluha pracovníka pouze na tomto stroji, tudíž k žádné interferenci nebude docházet.

Vzhledem k úpravám popsaným výše, lze vztah pro jednotkový čas t_A upravit do této podoby [27]:

$$t_A = t_{A4} + 0 + 0 \rightarrow t_A = t_{A4} \text{ [min]} \quad (7.2)$$

Tato úprava bude použita ve všech řešených operacích, kde proběhne automatizace. Ve zbylých bude připočítán čas klidu stroje, ovšem interference nenastane v žádném případě.

Druhým řešeným časem v časových studiích bude čas dávkový t_{BC} pro obrobení jedné výrobní série. Ten je také podstatný pro následné vypočtení nákladů nutné k ekonomickému zhodnocení. Jedná se o čas nutný k přípravě celého obráběcího procesu jedné dávky před započítáním samotného obrábění. Dávkový čas obráběcího stroje se vypočítá následovně:

$$t_{BC} = t_{BC4} + t_{BC5} \text{ [min]} \quad (7.3)$$

kde t_{B4} je dávkový čas chodu obráběcího stroje,

t_{B5} je dávkový čas klidu obráběcího stroje [27].

Dávkový čas chodu obráběcího stroje t_{BC4} je čas potřebný k odladění NC kódu z programu přímo na stroji pro následné bezproblémové a bezchybné obrábění. Dávkový čas klidu obráběcího stroje t_{BC5} lze rozdělit na dvě složky. První z nich je čas pro přípravu obrobku k obrábění. Je nutné připravit paletu nebo upínací sklíčidlo po předchozí operaci a upnout a vyrovnat nový obrobek. U strojů s automatizací je možné část této práce provést v tzv. překrytém čase neboli při chodu stroje s jinou upnutou paletou. Druhou položkou dávkového času klidu stroje je čas nutný k přípravě nástrojů pro následné obrábění a jejich založení do zásobníku nástrojů. U velkých zásobníků je možné, že už

tam nástroje budou založeny, ale je nutná i výměna opotřebovaných nástrojů nebo uvolnění místa pro jiné. Vztah pro dávkový čas obráběcího stroje lze tedy upravit takto:

$$t_{BC} = t_{BC4_{odladění}} + t_{BC5_{upnutí}} + t_{BC5_{nástroje}} \text{ [min]} \quad (7.4)$$

kde $t_{BC4_{odladění}}$ je dávkový čas chodu obráběcího stroje pro odladění programu,

$t_{BC5_{upnutí}}$ je dávkový čas klidu obráběcího stroje pro upnutí obrobku,

$t_{BC5_{nástroje}}$ je dávkový čas klidu obráběcího stroje pro přípravu nástrojů [27].

Hodnoty všech těchto položek jsou zvoleny podle zkušeností pracovníků společnosti z výroby podobných operací v současné době.

Dávkový čas je zvolen vždy pro celou výrobní dávku, kdy se díly vyrábí najednou kus po kusu na daném stroji. Dávkový čas vztažený následně na jeden kus se získá vydělením dávkového času celé dávky počtem kusů v dávce. Pro zadanou součást byla zvolena výrobní dávka 25 kusů. V následujících tabulkách týkajících se časových studií bude tedy nejprve uveden dávkový čas celé dávky a poté i dávkový čas na jeden kus obrobku, aby byl vidět vliv velikosti dávky na čas přípravy jednoho kusu a také rozdíl mezi jednotlivými variantami, co se týče obou časů na výrobu jednoho dílu.

7.1 Výrobní časy současné výroby

Pro následné porovnání budou nejprve uvedeny časy jednotlivých řešených operací při současné výrobě, aby bylo možné následně zhodnotit přínos a úsporu u jednotlivých nově navržených variant.

Tabulka 48: Výrobní časy současné výroby

Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
10 – Frézování a vrtání 1	35	90	3,6	HEC 1600
30 – Soustružení 1	36,2	60	2,4	Geminis GHT 6
40 – Soustružení 2	27,5	60	2,4	
160 – Soustružení 3	55,1	70	2,8	
170 – Soustružení 4	57	70	2,8	
180 – Frézování a vrtání 2	12	60	2,4	HEC 800
Suma	222,8	410	16,4	

7.2 Časové studie nově navržených variant

Tabulka 49: Časová studie varianty se strojem HEC 800 X5 MT

Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
20 – Soustružení 1, Frézování a vrtání 1	56,3	30	1,2	HEC 800 X5 MT
30 – Soustružení 2	22,6	30	1,2	
150 – Soustružení 3	48,4	30	1,2	
160 – Soustružení 4, Frézování a vrtání 2	58,3	30	1,2	
Suma	185,6	120	4,8	

Tabulka 50: Časová studie varianty se strojem VSC 800LC APC

Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
20 – Soustružení 1, Frézování a vrtání 1	53,2	90	3,6	VSC 800LC APC
30 – Soustružení 2	16,3	90	3,6	
150 – Soustružení 3	42,6	90	3,6	
160 – Soustružení 4, Frézování a vrtání 2	54,2	90	3,6	
Suma	166,3	360	14,4	

Tabulka 51: Časová studie varianty se strojem SP 50 CNC

Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
10 – Frézování a vrtání 1	35	90	3,6	HEC 1600
30 – Soustružení 1	28,1	60	2,4	SP 50 CNC
40 – Soustružení 2	20,5	60	2,4	
160 – Soustružení 3	46,2	60	2,4	
170 – Soustružení 1, Frézování a vrtání 1	57,3	60	2,4	
Suma	187,1	330	13,2	

7.3 Srovnání časových studií podle operací

První porovnání výsledků časových studií a srovnání se současnými časy výroby bude provedeno po jednotlivých operacích. Jelikož jsou ale u původního výrobního postupu i u jednotlivých nových variant jednotlivé výrobní kroky očíslovány různě z důvodů popsaných výše, nebude v nadpisu použito žádné číslování kvůli přehlednosti. Místo toho budou použity názvy operací, které jsou i v celé práci používány přímo u každé číselné zmínky o některé operaci. K tomu bude vždy uveden i stručný

slovní popis, o které části výroby se jedná. V porovnávacích tabulkách a zhodnoceních pak už ale budou jednotlivá čísla operací daných variant uvedena.

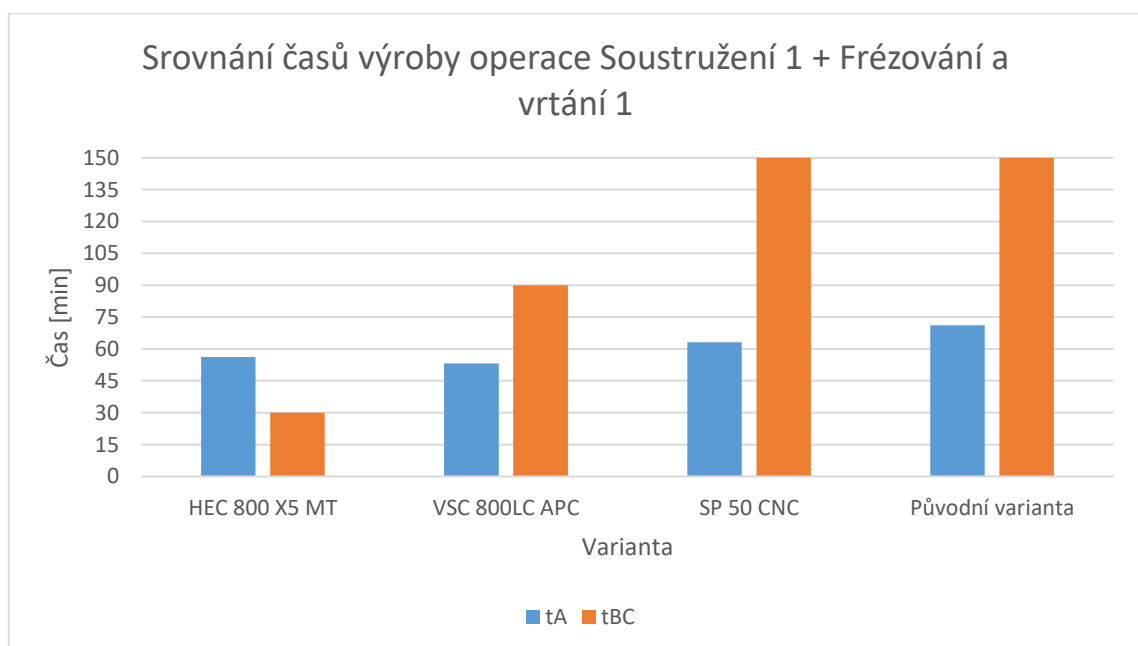
Srovnání časů u jednotlivých operací bude provedeno pro časy na výrobu jednoho kusu. Srovnání časů pro výrobu celé dávky bude následně provedeno až v celkovém zhodnocení časů všech operací, kde to bude i názornější než u jednotlivých operací.

7.3.1 Operace Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1

Jedná se o zhotovení otvorů o průměru 90 mm, závitů M16 a soustružení levé části nahrubo s dokončením několika prvků. Bližší popis je v kapitolách 4.1.1, 4.1.2 a v tabulkových výrobních postupech výše. Čísla operací v jednotlivých variantách, ať spojených nebo rozdělených, jsou v tabulce níže spolu s časy výroby.

Tabulka 52: Srovnání časových studií operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1

Varianta se strojem	Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
HEC 800 X5 MT	20	56,3	30	1,2	HEC 800 X5 MT
VSC 800LC APC	20	53,2	90	3,6	VSC 800LC APC
SP 50 CNC	10	35	90	3,6	HEC 1600
	30	28,1	60	2,4	SP 50 CNC
	Suma	63,1	150	6	
Původní varianta	10	35	90	3,6	HEC 1600
	30	36,2	60	2,4	Geminis GHT 6
	Suma	71,2	150	6	



Obrázek 19: Graf srovnání časů výroby operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1

Ze srovnávací tabulky 52 a z grafu na obrázku 19 výše je jasné vidět, že nejvyšších časů jednotkových i dávkových dosahují varianty, u kterých je obrábění rozděleno do dvou operací. Tento případ najdeme u současné výroby dílce a u varianty se strojem SP 50 CNC. U druhé zmíněné varianty je ale tato skutečnost ovlivněna tím, že je zde operace 10 zachována ze současného výrobního postupu a ke zkrácení výroby zde dochází pouze u Soustružení 1 v operaci 30.

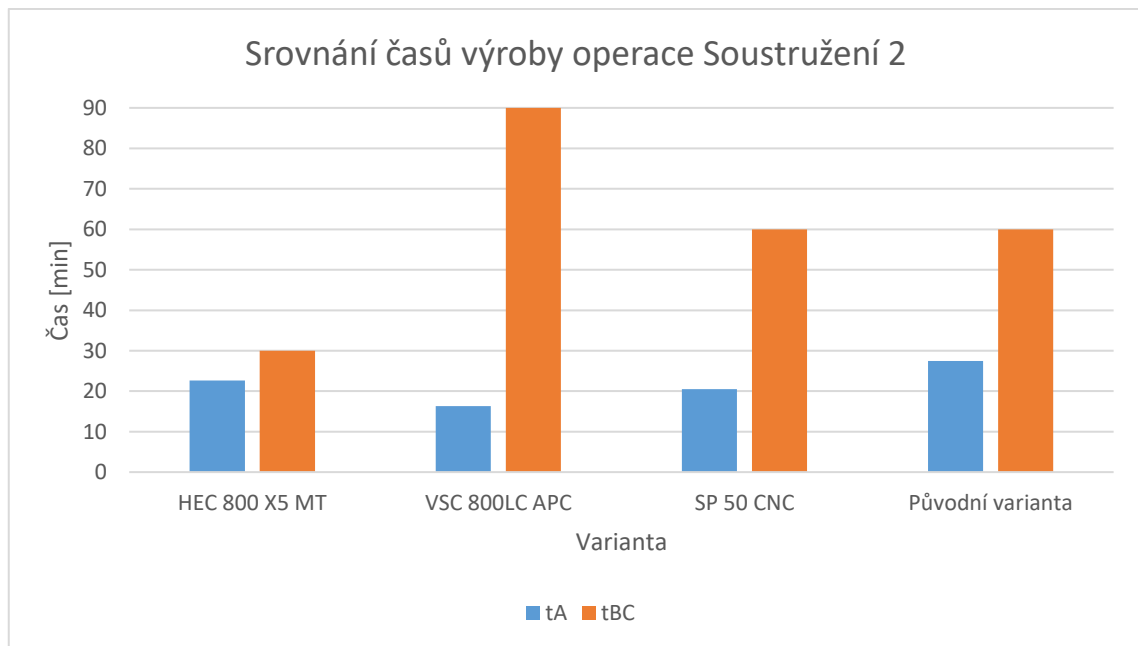
U variant, kde došlo ke sloučení operací a pracovišť, je jasné patrný ušetřený dávkový přípravný čas díky obrábění na jedno upnutí. Další úsporou času, zde ovšem nezapočítanou, se tímto dosáhne díky odstranění nutnosti přesunu součásti a prostojům v její výrobě. Rychlejší je u těchto dvou variant i výroba součásti, tím pádem jsou zde i kratší jednotkové časy, které dosahují úspory u varianty se strojem VSC 800LC APC až 18 minut, tedy až okolo 25 % oproti současné výrobě. Nejnižší čas přípravy má ale stroj HEC 800 X5 MT, u kterého je i nejlepší poměr jednotkového času k dávkovému času na jeden vyrobený kus.

7.3.2 Operace Soustružení 2

V tomto případě se jedná se o soustružení pravé části nahrubo s dokončením několika prvků. Bližší popis je v kapitole 4.1.3 a v tabulkových výrobních postupech výše. U žádné varianty nedochází ke spojení s jinou operací, ani k rozdělení operace, tudíž jsou v následující tabulce uvedeny pouze konkrétní čísla operace v dané variantě.

Tabulka 53: Srovnání časových studií operace Soustružení 2

Varianta se strojem	Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	$t_{BC_{ks}}$ [min]	Stroj
HEC 800 X5 MT	30	22,6	30	1,2	HEC 800 X5 MT
VSC 800LC APC	30	16,3	90	3,6	VSC 800LC APC
SP 50 CNC	40	20,5	60	2,4	SP 50 CNC
Původní varianta	40	27,5	60	2,4	Geminis GHT 6



Obrázek 20: Graf srovnání časů výroby operace Soustružení 2

U této operace je už u všech variant realizováno obrábění pouze v jedné operaci, čímž je ulehčeno i srovnání daných variant. U dávkového času přípravy výroby je nejnižší čas opět u centra HEC 800 X5 MT. U dvou následujících variant není rozdíl a dávkový čas přípravy je jedna hodina. Nejvyšší čas je u varianty se strojem VSC 800LC APC, u kterého i když příprava částečně probíhá tzv. v překrytém čase, tedy když stroj na jedné paletě obrábí a na druhé probíhá příprava, tak výměna sklíčidel, palet, nástrojů, odladění programu a připravení nového obrobku k soustružení trvá delší čas než jen přeupnutí na sklíčidlo klasického horizontálního soustruhu.

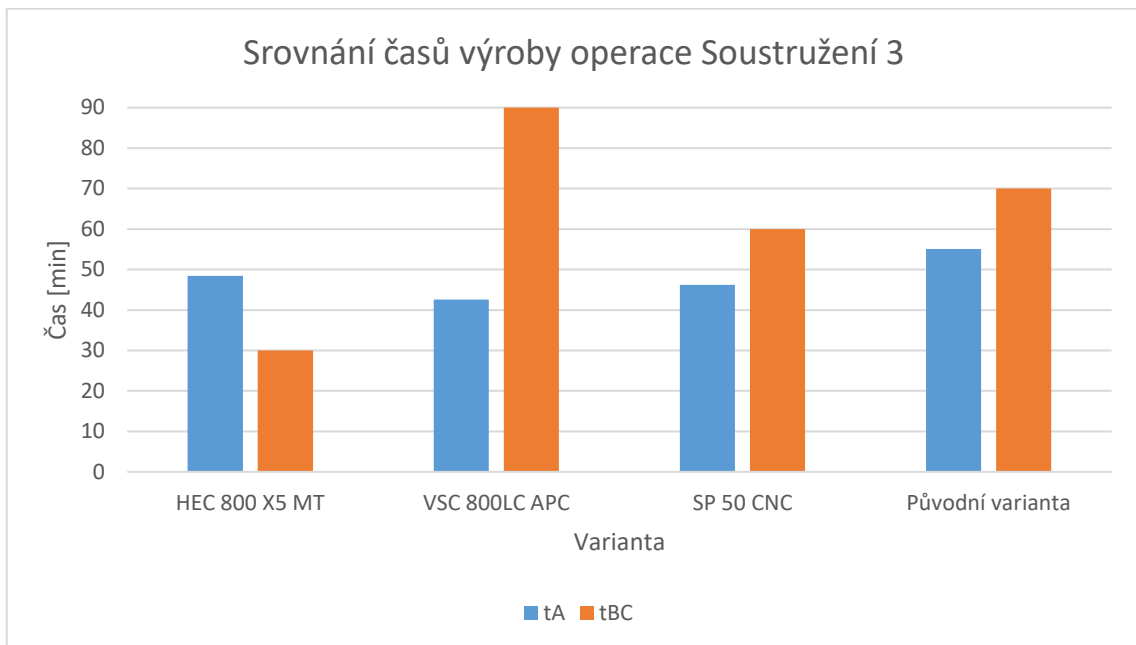
Ovšem čas výroby má tato varianta nejrychlejší díky nejlepším mechanickým a výkonovým vlastnostem stroje včetně jeho tuhosti a dosahuje časové úspory 11,2 minuty, tedy až okolo 41 % oproti původnímu jednotkovému času výroby. Logicky následuje horizontální soustruh SP 50 CNC a obráběcí centrum HEC 800 X5 MT, které není pro soustružení primárně určeno. Ovšem díky nízkému dávkovému času i zde vyniká nejlepším poměrem jednotkového času k času dávkovému 0,75.

7.3.3 Operace Soustružení 3

Dalším krokem je soustružení pravé části načisto, kde dochází k dokončení ohrubovaných ploch. Bližší popis je v kapitole 4.1.4 a v tabulkových výrobních postupech výše. Stejně jako v minulém případě, ani zde u žádné varianty nedochází ke spojení ani dělení operace a v tabulce jsou tedy uvedeny pouze konkrétní čísla operace v jednotlivých variantách.

Tabulka 54: Srovnání časových studií operace Soustružení 3

Varianta se strojem	Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
HEC 800 X5 MT	150	48,4	30	1,2	HEC 800 X5 MT
VSC 800LC APC	150	42,6	90	3,6	VSC 800LC APC
SP 50 CNC	160	46,2	60	2,4	SP 50 CNC
Původní varianta	160	55,1	70	2,8	Geminis GHT 6



Obrázek 21: Graf srovnání časů výroby operace Soustružení 3

V tomto případě je opět snazší porovnání jednotlivých variant díky tomu, že u všech probíhá obrábění v jedné operaci. U dávkových časů je to zde podobné jako u minulé operace, kdy nejvyšší dávkový čas přípravy 90 minut, respektive 3,6 minuty na kus, je u stroje VSC 800LC APC. Zde ale dochází k nárůstu dávkového času u současné varianty díky delšímu upínání a vyrovnání obrobku v měkkých čelistech sklíčidla. Tento nárůst ale díky pořízení lepšího sklíčidla pro nový stroj nebude u nových variant uvažován.

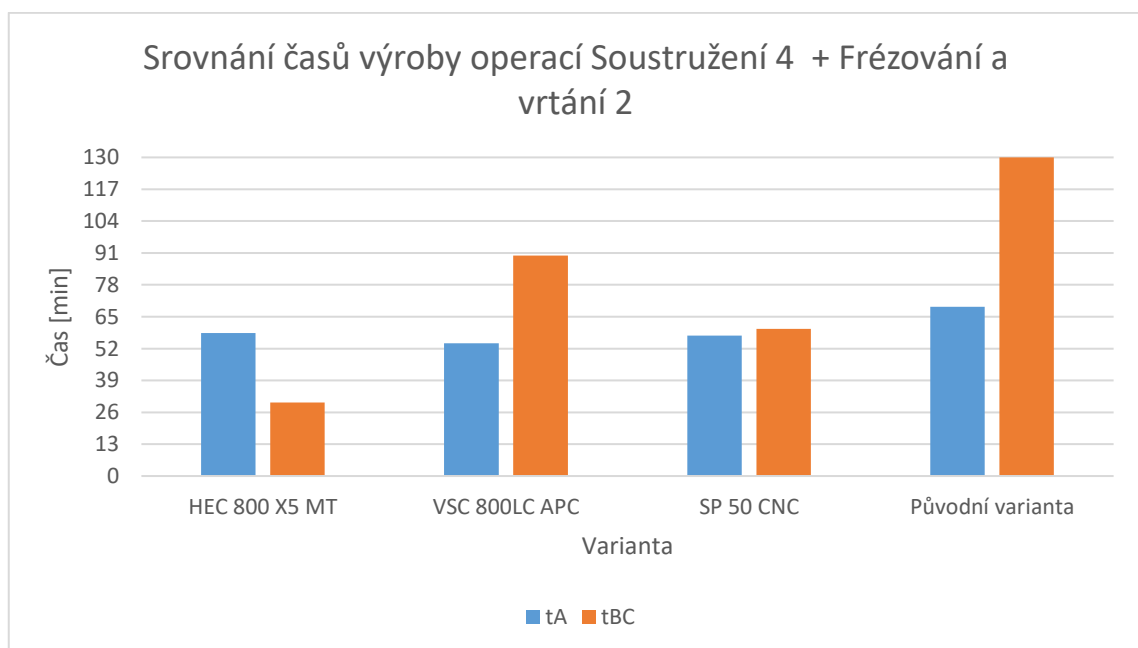
U jednotkového času je stejné pořadí i vysvětlení tohoto pořadí jako v minulém případě. Největší časové úspory jednotkového času je dosahováno u stroje VSC 800LC APC, která činí 12,5 minuty, tedy necelých 23 % oproti současnému stavu. Následuje soustruh SP 50 CNC a obráběcí centrum HEC 800 X5 MT, které má opět nejlepší poměr jednotkového času k dávkovému času.

7.3.4 Operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

V poslední operaci dojde k finálnímu osoustružení levé strany kola a ke zhotovení šikmého otvoru včetně zafrézování a závitu M16. Bližší popis je v kapitolách 4.1.5, 4.1.6 a v tabulkových výrobních postupech výše. Čísla operací v jednotlivých variantách, ať spojených nebo rozdělených, jsou v tabulce níže spolu s časy výroby.

Tabulka 55: Srovnání časových studií operací Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

Varianta se strojem	Operace	t_A [min]	t_{BC} [min]	t_{BC_ks} [min]	Stroj
HEC 800 X5 MT	160	58,3	30	1,2	HEC 800 X5 MT
VSC 800LC APC	160	54,2	90	3,6	VSC 800LC APC
SP 50 CNC	170	57,3	60	2,4	SP 50 CNC
Původní varianta	170	57	70	2,8	Geminis GHT 6
	180	12	60	2,4	HEC 800
	Suma	69	130	5,2	



Obrázek 22: Graf srovnání časů výroby operací Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

Jak už bylo popsáno výše, v tomto případě dojde u všech nových variant ke sloučení dvou původních operací do jedné díky použití přídavné úhlové hlavy. Tím pádem zde stejně jako u prvního srovnání časů v kapitole 7.3.1 dojde k rapidnímu snížení přípravných dávkových časů díky obrábění na jednom stroji na jedno upnutí. Rozdíl zde už sice není tak velký jako u operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1, ale přesto je u stroje SP 50 CNC více než poloviční a u stroje HEC 800 X5 MT je čas dokonce menší než 25 % oproti současné výrobě.

Zato u jednotkových časů už k takovým rozdílům mezi jednotlivými novými variantami nedochází. To je zapříčiněno tím, že obráběcí centrum má delší časy soustružení, ale zase naopak frézování a vrtání zvládne rychleji než soustruhy s přídavnými úhlovými hlavami, u kterých toto použití není předem tolik předpokládáno. Nejkratšího jednotkového času ale stále dosahuje soustruh VSC 800LC APC s úsporou necelých 15 minut, což je necelých 22 %. Zbylé těsnější pořadí už zůstává klasicky stejné jako v minulých případech včetně nejlepšího poměru jednotkového času k času dávkovému na stroji HEC 800 X5 MT rovnajícímu se 1,94.

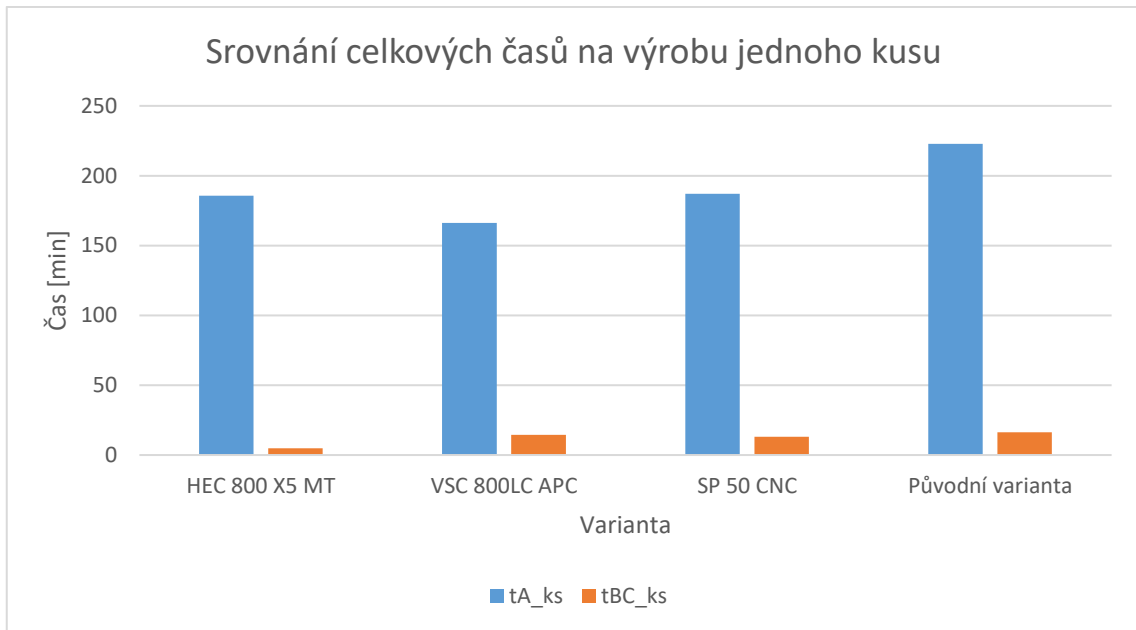
7.4 Srovnání časových studií podle celkových časů

Druhým porovnáním je logicky následující srovnání celkových součtů časů všech operací u jednotlivých variant. Srovnávány budou celkové jednotkové i dávkové časy na výrobu jednoho kusu obrobku. Pro představu bude uvedeno i srovnání časů pro výrobu celé dávky se zobrazením sumy celkových časů. Pro představu je to proto, že časy pro výrobu jedné dávky jsou všechny přenásobeny stejným počtem kusů dané dávky a je mezi nimi tedy stejný poměr bez jakéhokoliv vypovídajícího rozdílu.

Celkové srovnání časů z časových studií na výrobu jednoho kusu zadané součásti uvedenými operacemi je provedeno v tabulce 56 a v grafu na obrázku 23 níže. Srovnání časových studií pro výrobu jedné dávky, která se skládá z 25 kusů zadané součásti je uvedeno v tabulce 57 a grafu na obrázku 24. V tomto grafu jsou časy spojeny do jednoho sloupce včetně uvedení celkového součtu časů. Tento graf tedy vyjadřuje rozdíl v celkových časech nutných pro výrobu celé jedné dávky 25 kusů. Dávkové časy t_{BC} jsou uvedeny už v časových studiích a jsou tedy pouze sečteny. Celkové jednotkové časy pro výrobu jedné dávky jsou získány ze sumy jednotkových časů na výrobu jednoho kusu a znásobeny počtem kusů v dávce.

Tabulka 56: Srovnání celkových časů na výrobu jednoho kusu

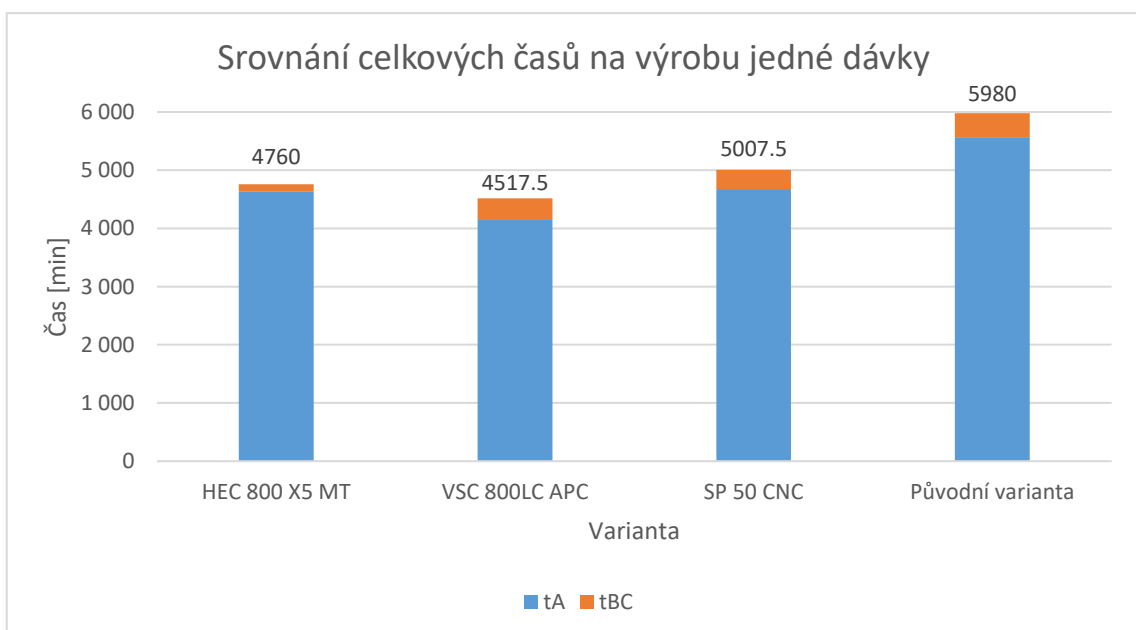
Varianta se strojem	t_{A_ks} [min]	t_{BC_ks} [min]
HEC 800 X5 MT	185,6	4,8
VSC 800LC APC	166,3	14,4
SP 50 CNC	187,1	13,2
Původní varianta	222,8	16,4



Obrázek 23: Graf srovnání celkových časů na výrobu jednoho kusu z časových studií

Tabulka 57: Srovnání celkových časů na výrobu jedné dávky 25 kusů

Varianta se strojem	t _A [min]	t _{BC} [min]	Poměr t _A / t _{BC}
HEC 800 X5 MT	4 640	120	38,7
VSC 800LC APC	4 157,5	360	11,5
SP 50 CNC	4 677,5	330	14,2
Původní varianta	5 570	410	13,6



Obrázek 24: Graf srovnání celkových časů na výrobu jedné dávky 25 kusů z časových studií

Srovnání celkových časů u jednotlivých navržených variant značně kopíruje závěry srovnání časů u jednotlivých operací. U dávkových časů je jasně vidět, že u původní varianty skládající se ze šesti operací je čas logicky nejvyšší, jelikož bude obrobek připravován k výrobě šestkrát, zatímco na druhé straně u stroje HEC 800 X5 MT je zřejmé, že zkrácení výrobního postupu na čtyři operace na stroji s nízkým dávkovým časem přípravy ušetří až 70 % tohoto času. Ovšem pokud má stroj vyšší dávkový čas přípravy jako vertikální soustruh VSC 800LC APC, tak ani zkrácení výrobního postupu nemusí přinést požadovanou časovou úsporu, jelikož tento stroj se 4 operacemi skončil s druhým nejvyšším dávkovým časem. Další faktor, který lze spatřit v dávkových časech je kombinace strojů na výrobu dílu. To je nejvíce zřejmé u stroje SP 50 CNC, kde operace 10 na stroji HEC 1600 zvyšuje dávkový čas o 90 minut, což je více než čtvrtina celkového času přípravy u varianty s tímto strojem.

Ve srovnání jednotkových časů t_A nejsou žádné výrazné odchylky od předchozích zjištění. Nejmenší jednotkový čas obrábění celého kusu je dosažen u stroje VSC 800LC APC, který byl nejrychlejší i ve všech jednotlivých operacích. Při použití této varianty je dosaženo úspory jednotkového času necelých 25 % oproti původní variantě. Následuje velmi těsné pořadí dvojice strojů HEC 800 X5 MT a SP 50 CNC. První je Heckert, který zaujímá pouze o 1,5 minuty rychlejší čas než horizontální soustruh od společnosti CZ.TECH. Tyto malé rozdíly jsou ale viditelné v téměř každé sledované operaci výše, kdy je většinou rychlejší soustruh SP 50 CNC díky lepším vlastnostem pro soustružení, ale u prvních operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1 se vyskytuje časová ztráta kvůli obrábění na dvou strojích. Logicky nejdelší jednotkový čas má současná technologie výroby, která má jednak nejvíce operací, a jednak používá i zastaralé obráběcí stroje a některé neefektivní nástroje.

Poměr jednotkového času k dávkovému času je s velkým odskokem nejlepší u stroje HEC 800 X5 MT a dosahuje 38,7. To je dáno jak faktory zmíněnými v minulých odstavcích, tak i možností automatizace a rychlejší přípravy obrobku vedoucí k rapidnímu snížení dávkového času. Jedná se tedy o stroj, který oproti jiným variantám mnohem více času obrábí, než je v klidu, což je žádoucí. Nejhorší poměr 11,5 je paradoxně u stroje s nejnižším jednotkovým časem VSC 800LC APC, kterému v tomto ohledu škodí dlouhá doba přípravy a stroj tak není plně efektivně využit, jak se zdá a jak by bylo vhodné.

Toto pořadí ale není rozhodující k samotné volbě vhodné varianty, jelikož v něm ještě není zohledněna ekonomická stránka věci. Samotné snížení časů přinese velkou úsporu v nákladech, ale nákup dražších strojů pro výrobu zadaného dílu může u této úspory snížit až znehodnotit její počáteční přínos. V následující kapitole tedy bude

provedeno ekonomické zhodnocení nákladů a investic k finálnímu výběru nejvhodnější a nejúspornější varianty výroby.

8 Technicko-ekonomické zhodnocení

Tato kapitola je zásadní a rozhodující pro výsledek celé práce, jelikož z ní vzejde nejvhodnější z navržených variant pro použití v praxi. Hlavním faktorem pro výběr výsledné varianty bude návratnost investice do pořízení daného strojního vybavení. Ta se předpokládá co nejkratší, jelikož vlivem sloučení technologií na jeden stroj a upnutí, víceosého obrábění a lepších výkonových parametrů došlo u nově navržených variant ke snížení počtu operací a zkrácení časů výroby, čímž by se měly snížit i náklady na výrobu. Tomu nahrává i automatická výměna palet u dvou navržených variant, díky čemuž se snížily časy přípravy práce. Kombinace všech těchto aspektů by měla vést k úspoře oproti současnému stavu výroby. Ten je sice už optimalizovaný a mnohokrát prověřený díky několikaleté výrobě tohoto typu dílce, ovšem současné zastaralé stroje a vyšší počet operací spojený s přepravou a mezioperačním skladováním se těm novým nemohou rovnat.

Část finančních hodnot, které se přímo týkají společnosti Wikov MGI a.s. budou upraveny koeficientem zkreslení K_{zkr} z důvodu veřejného statusu této práce. Společnost si nepřeje zveřejňovat skutečné údaje cen, proto bylo přistoupeno k tomuto kroku, díky kterému bude možné tyto údaje v této práci použít. Koeficient K_{zkr} bude mít ve všech použitých případech stejnou hodnotu, proto bude možné veškerá získaná data vyhodnocovat, a i mezi sebou porovnat bez přepočítávání.

8.1 Výpočet nákladů

Prvním krokem ekonomického hodnocení navržených variant a porovnání se současným stavem je výpočet nákladů na výrobu jednoho kusu v daných operacích a z nich vycházející celkové náklady na jeden kus obrobku. Celkové operační náklady pro výrobu jednoho kusu v jedné operaci se vypočtou následovně:

$$N_{op} = N + N_v + \frac{N_B}{d} + \frac{N_{SZ}}{d} \quad [\text{Kč}] \quad (8.1.1)$$

kde N_{op} jsou operační náklady,

N jsou výrobní náklady v dané operaci,

N_v jsou náklady na vedlejší práci,

N_B jsou dávkové náklady,

N_{sz} jsou náklady na speciální zařízení pro výrobu obrobku,

d je počet vyráběných kusů ve výrobní dávce [28].

Tento vztah je možné pro tuto práci modifikovat. Jelikož při výrobě na daných strojích za daných podmínek ve společnosti nedochází k vedlejší práci pracovníků obsluhujících stroj a veškerá práce nutná k přípravě dílu je zahrnuta v nákladech dávkových už ze stanovení dávkových časů v minulé kapitole, je možné tyto náklady nepočítat zvlášť. Tudíž se budou náklady na vedlejší práci N_v počítat jako nulové.

Druhou položkou, kterou lze z tohoto vztahu vyjmout, jsou náklady na speciální zařízení nezbytné pro výrobu obrobku N_{sz} . Žádné takové speciální zařízení, bez kterého by nebylo možné součást obrobit, totiž potřebné není. Jediné zařízení, které se k výrobě použije, je čelistové sklíčidlo KNCS-NB popsané v kapitole 6.1. To už ale bude součástí stroje při koupi, popřípadě těchto sklíčidel se ve vybavení společnosti nachází více a nebude nutné ho nakupovat přímo pro tuto konkrétní součást. Přídavné úhlové hlavy, které je nutné použít u dvou variant s novými soustruhy, budou taktéž zahrnuty v ceně strojů. Tato nákladová položka je tedy také rovna nule a lze ji ze vztahu vyjmout. Upravený vztah pro výpočet operačních nákladů vycházející ze vztahu 8.1.1 pro použití v této práci je tedy takto:

$$N_{op} = N + \frac{N_B}{d} \text{ [Kč]} \quad (8.1.2)$$

Pro výpočet zbývajících dvou nákladových položek vztahu 8.1.2 je nutné předem definovat některé proměnné těchto výpočtů. První z nich je hodnota odpisu stroje, která bude následně využita ve výpočtu dávkových nákladů a hodinových nákladů na provoz stroje. Odpis stroje se vypočte podle vztahu ve vztahu 8.1.3:

$$O_s = \frac{C_s}{Z_s \cdot CFS_{EFPL} \cdot SM \cdot k_{vs}} \text{ [Kč/hod.]} \quad (8.1.3)$$

kde O_s je odpis stroje,

C_s je cena stroje,

Z_s je životnost stroje,

CFS_{EFPL} je časový fond stroje na směnu,

SM je směnnost,

k_{vs} je koeficient časového využití stroje [28].

Hlavní položkou tohoto výpočtu je zřetelně cena stroje C_s , která díky tomu ovlivňuje veškeré nákladové výpočty. Její hodnota je pro jednotlivé varianty získána z poskytnutých nabídek na zakoupení stroje přímo od jejich výrobců a jsou do ní zahrnuty i veškeré přidané opce. Tato hodnota je ve výpočtech také upravena koeficientem K_{zkr} z důvodu obchodního tajemství. V ceně stroje jsou zároveň i započítány náklady na nástrojové vybavení pro daný stroj. V některých případech je nabízí přímo výrobce přes dodavatele společnosti Seco Tools, v ostatních jsou pak započítány ceny vybraných nástrojů v kapitole 6.2. Ke dvěma vybraným variantám strojů jsou v ceně stroje rovnou započítány přídatné úhlové hlavy nutné k obrobení šikmého otvoru na součásti, což je zmíněno výše.

Životnost strojů Z_s je v práci stanovena jako doba odpisu strojů stejná pro všechny nově vybrané stroje, za kterou by mělo teoreticky dojít k pořízení nových lepších strojů a tyto vyřadit. Skutečná životnost by v praxi byla vyšší, a to do doby produktivního obrábění na daném stroji.

Časový fond stroje CFS_{EFPL} udává počet pracovních hodin daného stroje za rok na jednu směnu. Tato hodnota je také pro všechny stroje stejná, jelikož se předpokládá, že se bude na všech uvažovaných strojích pracovat neustále v době, kdy bude ve společnosti probíhat výroba, proto mezi jednotlivými variantami nemůže být rozdíl. Tato hodnota je ve vztahu 8.1.3 rovnou násobena směnností SM neboli počtem směn, po které se bude na stroji pracovat v jeden pracovní den. Ty budou u všech navržených strojů tři za den v pětidenním provozu.

Koeficient časového využití stroje je definován jako podíl času, kdy se na stroji pracuje v daném počtu směn k celkovému času těchto směn. Stanovuje se z dlouhodobého průměru nebo z předpokladu vytížení stroje. V tabulce 58 níže jsou uvedeny používané hodnoty tohoto koeficientu pro různé druhy výroby. Tato hodnota se může v jednotlivých podnicích a na jednotlivých strojích lišit, v této práci bude ale uvažována hodnota z této tabulky pro obráběcí centra a programově řízené stroje [28].

Tabulka 58: Určení koeficientu časového využití stroje k_{vs} [28]

Druh výroby	Koeficient časového využití stroje k_{vs}
Hromadná a velkosériová	0,8
Programově řízené stroje a obráběcí centra	0,65 až 0,75
Konvenční malosériová výroba	0,5 až 0,65

Druhou položkou důležitou pro výpočet nákladů je hodnota hodinových nákladů na provoz stroje. Tato hodnota je pro každý stroj jiná a je podstatná pro výpočet výrobních nákladů N zadaného dílce na daném stroji jak v jednotlivých operacích, tak v konečné hodnotě. Vztah pro výpočet těchto nákladů je následující:

$$N_{hs} = O_s \cdot k_{us} + C_E \text{ [Kč/hod.]} \quad (8.1.4)$$

kde N_{hs} jsou hodinové náklady na provoz stroje,

k_{us} je koeficient oprav a údržby stroje,

C_E je cena elektrické energie [28].

Výpočet hodinových nákladů na provoz stroje přímo stojí na výpočtu odpisů stroje, který je popsán výše. Přímou tak i závisí na hlavní položce výpočtu odpisů, a to na pořizovací ceně. Tato hodnota je pro jednotlivý obráběcí stroj v tomto vztahu zvýšena koeficientem oprav a údržby stroje. Ten je definován jako podíl součtu ceny a předpokládané částky na opravy a údržbu stroje za dobu jeho životnosti a ceny.

K takto zvýšené hodnotě odpisů je pak nutné připočíst i cenu elektrické energie za hodinu provozu stroje. Tato částka je podle cen za elektrickou energii v dané společnosti v roce 2021 a je ovlivněna příkony jednotlivých strojů. Bude tedy pro každý stroj rozdílná [28].

Po definování těchto specifických hodnot pro každý stroj je možné přímo postoupit k výpočtu výrobních a dávkových nákladů. Výrobní náklady v jedné operaci se vypočtou dle vztahu 8.1.5:

$$N = N_s + N_n + N_{vn} \text{ [Kč]} \quad (8.1.5)$$

kde N_s jsou náklady na strojní práci v operaci,

N_n jsou náklady na nástroje v operaci,

N_{vn} jsou náklady na výměnu nástrojů, výměnu břitových destiček a znovuseřízení nástrojů v operaci [28].

Pro účely této práce je možné daný vztah zjednodušit, jelikož se jedná o vztah, který je primárně sestaven k optimalizaci řezných podmínek, a ne čistě k výpočtu nákladů pro návratnost investic. Jak už bylo řečeno výše, náklady na pořízení nástrojů, upínacího zařízení i přídatných úhlových hlav jsou zahrnuty do cen jednotlivých strojů. Náklady na výměnné břitové destičky a monolitní nástroje, které nejsou zahrnuté v ceně strojů, a také náklady na výměnu, ostření a seřízení nástrojů budou zahrnuty v hodinovém režijním paušálu společných střediskových nákladů HRP_{SP} ve výpočtu nákladů na strojní práci N_s ve vztahu 8.1.7 níže. Jelikož jsou tyto náklady rozdělené do dvou zmíněných položek, pak je tedy v daném případě možné náklady na nástroje v operaci N_n a náklady

na výměnu nástrojů, břitových destiček a seřízení nástrojů v operaci N_{vn} z tohoto vztahu odstranit. To je možné i díky tomu, že účelem práce není optimalizace ani určování rezných podmínek, pro což je daný vztah koncipován, proto je možné toto zobecnění a rozdělení nákladů do jiných hodnot vstupujících do výpočtů. Tím pádem výsledné výrobní náklady pro operaci budou rovné nákladům na strojní práci v operaci a tento zobecněný vztah 8.1.6 bude v této práci dále používán namísto vztahu 8.1.5.

$$N = N_s \text{ [Kč]} \quad (8.1.6)$$

Samotné náklady na strojní práci v operaci N_s se pak vyjádří tímto vztahem:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hs}}{60} \right] \text{ [Kč]} \quad (8.1.7)$$

kde k_C je přírážka směnového času,

M_o je mzda operátora stroje včetně odvodů,

HRP_{SP} je hodinový režijní paušál společných střediskových nákladů [28].

Přírážka směnového času k_C se obvykle volí v rozsahu hodnot 1,11 až 1,15. Mzda operátora stroje M_o je vypočtena z průměrné hodinové sazby dělníků ve společnosti. Ta obsahuje jak průměr hodinové sazby jednotlivých pracovníků, tak i průměr v celém roce, aby se eliminoval rozdíl mezi jednotlivými měsíci, které mají jiný počet pracovních dní. V této části jsou zároveň i započítány odvody na sociální a zdravotní pojištění. Hodinový režijní paušál společných střediskových nákladů HRP_{SP} obsahuje náklady spojené přímo s provozem stroje a jeho pracovním místem a zároveň v sobě obsahuje i náklady na nástroje a výměnné břitové destičky pořízené mimo balíček nástrojového vybavení při samotném nákupu daného stroje, jak už bylo zmíněno výše.

Druhým hlavním členem pro výpočet celkových operačních nákladů jsou náklady dávkové. Jejich výpočet je dán vztahem 8.1.8 níže:

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_s}{60} \right] \text{ [Kč]} \quad (8.1.8)$$

kde M_s je mzda seřizovače stroje včetně odvodů [28].

Mzda seřizovače stroje M_s je v této práci zvolena stejná jako mzda operátora stroje M_o , tudíž je tato hodnota vypočtena z průměrné hodinové sazby dělníků ve společnosti.

V tabulkách níže jsou uvedeny vstupní hodnoty položek pro následné výpočty nákladů v jednotlivých operacích, ze kterých pak vyjdou celkové náklady na výrobu obráběním daného dílu v každé z navržených variant. V tabulce 59 jsou vstupní hodnoty společné pro všechny navržené varianty. V následující podkapitole jsou pak definovány a vypočteny položky, které budou rozdílné pro každou variantu.

Ty hodnoty, které jsou pro společnost Wikov MGI a.s. citlivé k všeobecnému zveřejnění, jsou upraveny koeficientem zkreslení K_{zkr} , aby došlo k jejich změně a znecitlivění. Pro samotné výpočty v práci to nebude mít vliv, jelikož se toto zkreslení dotkne všech výpočtů stejnou měrou a jednotlivé výsledky a rozdíly budou ve stejném poměru.

Tabulka 59: Společné vstupní hodnoty položek pro výpočty nákladů

Položka výpočtu		Hodnota	
Počet vyráběných kusů ve výrobní dávce	d	25	ks
Životnost strojů	Z_s	6	let
Časový fond strojů	CFS_{EFPL}	1 333,3	hod./rok/směnu
Směnnost	SM	3	směn/den
Koeficient časového využití stroje	k_{vs}	0,75	-
Koeficient oprav a údržby stroje	k_{us}	1,3	-
Přirážka směnového času	k_C	1,13	-
Mzda dělníků ve společnosti	M_o / M_s	212	Kč/hod.
Hodinový režijní paušál společných střediskových nákladů	HRP_{SP}	750	Kč/hod.

8.1.1 Odpisy a hodinové náklady na provoz strojů

Jak už bylo zmíněno v minulé části při určování vztahů pro výpočty odpisů strojů a hodinových nákladů na jejich provoz, jsou tyto hodnoty pro dané stroje nutné pro následné vypočtení operačních nákladů. Ve výpočtech této práce jsou to také jediné hodnoty, které se budou v nákladových výpočtech měnit oproti společným výše definovaným položkám, takže jsou pro výpočet přímo klíčové, protože ovlivňují výsledné rozdíly a zhodnocení daných investic.

V následující tabulce níže jsou pak hodnoty cen nově navržených strojů a cen elektrické energie na hodinu provozu strojů, které jsou různé pro jednotlivé varianty. Ty budou základními položkami pro výpočty jednotlivých odpisů a hodinových nákladů. V té samé tabulce jsou i hodnoty hodinových nákladů na provoz strojů a hodnoty odpisů strojů užitých v současné výrobě, které budou potřebné pro následné porovnání úspor v jednotlivých variantách. Tyto hodnoty se pro již používané stroje nepočítají zvlášť, ale jsou už určeny ve společnosti ze současné výroby.

Tabulka 60: Vstupní hodnoty položek pro výpočty nákladů pro navržené stroje

Stroj	Položka výpočtu		Hodnota	
HEC 800 X5 MT	Cena stroje	$C_{S_{HEC X5}}$	30 727 500	Kč
	Cena elektrické energie	$C_{E_{HEC X5}}$	320	Kč/hod.
VSC 800LC APC	Cena stroje	$C_{S_{VSC}}$	14 461 500	Kč
	Cena elektrické energie	$C_{E_{VSC}}$	180	Kč/hod.
SP 50 CNC	Cena stroje	$C_{S_{SP}}$	8 780 500	Kč
	Cena elektrické energie	$C_{E_{SP}}$	250	Kč/hod.
HEC 1600	Hodinové náklady na provoz stroje	$N_{hs_{HEC16}}$	5 095	Kč/hod.
	Odpis stroje	$O_{S_{HEC16}}$	3 650	Kč/hod.
Geminis GHT 6 G2	Hodinové náklady na provoz stroje	$N_{hs_{GHT}}$	2 571	Kč/hod.
	Odpis stroje	$O_{S_{GHT}}$	1 785	Kč/hod.
HEC 800	Hodinové náklady na provoz stroje	$N_{hs_{HEC8}}$	2 457	Kč/hod.
	Odpis stroje	$O_{S_{HEC8}}$	1 643	Kč/hod.

Jelikož jsou již definovány všechny hodnoty potřebné pro následné výpočty, je možné začít s výpočtem odpisů strojů, od kterých se pak odvíjí všechny následující propočty. Výpočet odpisu strojů O_s vychází ze vztahu 8.1.3.

$$O_{S_{HEC X5}} = \frac{C_{S_{HEC X5}}}{Z_s \cdot CFS_{EFPL} \cdot SM \cdot k_{vs}} = \frac{30\,727\,500}{6 \cdot 1\,333,3 \cdot 3 \cdot 0,75} = 1\,707 \text{ Kč/hod.}$$

$$O_{S_{VSC}} = \frac{C_{S_{VSC}}}{Z_s \cdot CFS_{EFPL} \cdot SM \cdot k_{vs}} = \frac{14\,053\,500}{6 \cdot 1\,333,3 \cdot 3 \cdot 0,75} = 803 \text{ Kč/hod.}$$

$$O_{S_{SP}} = \frac{C_{S_{SP}}}{Z_s \cdot CFS_{EFPL} \cdot SM \cdot k_{vs}} = \frac{8\,372\,500}{6 \cdot 1\,333,3 \cdot 3 \cdot 0,75} = 488 \text{ Kč/hod.}$$

Tyto vypočtené hodnoty se v dalším kroku použijí pro výpočet hodinových nákladů na provoz daných strojů N_{hs} . Tento výpočet vychází ze vztahu 8.1.4 definovaného výše včetně jednotlivých jeho položek.

$$N_{hs_{HEC X5}} = O_{S_{HEC X5}} \cdot k_{us} + C_{E_{HEC X5}} = 1\,707 \cdot 1,3 + 320 = 2\,539 \text{ Kč/hod.}$$

$$N_{hs_{VSC}} = O_{S_{VSC}} \cdot k_{us} + C_{E_{VSC}} = 803 \cdot 1,3 + 180 = 1\,224 \text{ Kč/hod.}$$

$$N_{hs_{SP}} = O_{S_{SP}} \cdot k_{us} + C_{E_{SP}} = 478 \cdot 1,3 + 250 = 884 \text{ Kč/hod.}$$

Z vypočtených hodnot odpisů a nákladů na provoz nových strojů v porovnání s těmi v tabulce 59 pro stroje v současné výrobě je jasně patrné, že hodnoty těchto veličin jsou u nových strojů značně nižší než u těch současných. U obráběcích center Heckert 1600 Athletic a 800 Athletic je to dáno vyšší pořizovací cenou v době jejich

nákupu včetně montáže, místa ve výrobní hale a také tím, že jsou primárně určeny pro výrobu složitějších dílů s náročnějším frézováním, což sebou nese vyšší výkony energetické i lidské práce. Zvláště Heckert 1600, který zvládne obrábět skříně o rozměrech až 3,5 metru je jeden z nejdražších a nejrozměrnějších strojů s velkým výkonem ve společnosti. Proto se i částkám, které jsou u stroje HEC 800 Athletic vyrovnává nové centrum HEC 800 X5 MT, které je jeho novější modifikací s karuselovým stolem, a které je také primárně určené pro složitější obrábění a programování.

Značné rozdíly jsou i mezi jednotlivými soustruhy. Horizontální soustruh SP 50 CNC má přibližně dvoutřetinové náklady na hodinu provozu stroje než vertikální soustruh VSC 800LC APC. To je důsledkem jeho velmi nízké pořizovací ceny. Ovšem je to také za cenu jeho nižšího výkonu a tuhosti, kvůli čemuž nezvládne některá výkonnější obrábění. Propastný je pak rozdíl mezi oběma těmito novými soustruhy a současně používaným soustruhem Geminis GHT 6 G2. Tam hodinové náklady na provoz stroje dosahují dvojnásobku nákladů na provoz soustruhu VSC 800LC APC. Práce na tomto soustruhu je tedy velmi drahá a z tohoto důvodu se podnik snaží tento stroj z výroby vyřadit a nahradit ho soustruhem novým. Zvláště velká je snaha o převedení výroby u dílů typu víka převodovek a ozubená kola, mezi která patří zadaná součást této práce. Soustruh GHT 6 G2 je spíše určený pro výrobu hřídelí, čemuž odpovídají i jeho rozměry, výkonové charakteristiky a původní pořizovací cena. I díky tomu je právě výroba na něm o tolik dražší než na výrazně menších a levnějších nově navržených soustruzích.

S těmito hodnotami, které od teď budou společné pro všechny následující výpočty, je možné přistoupit k rozboru nákladů jednotlivých operací na jeden kus obrobku a následně nákladů celkových, ze kterých vyjdou úspory jednotlivých variant. Ty budou díky výsledkům z časových studií i z nyní vypočítaných hodinových hodnot nákladů na provoz strojů jednoznačně v kladných hodnotách, což je cílem této práce i žádoucí pro využití v praxi.

8.1.2 Náklady na výrobu operace Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1

Náklady na výrobu se budou u jednotlivých variant počítat podle vzorců a z hodnot uvedených výše. Časy jednotkové i dávkové budou brány z časových studií kapitoly 7 podle odpovídajících označených operací. Pro tuto operaci jsou časy v tabulce 52. Čas dávkový bude brán t_{BC} pro celou výrobní dávku, jelikož ve výpočtovém vzorci pro výpočet operačních nákladů N_{op} 8.1.2 je dělení dávkových nákladů N_B právě počtem kusů výrobní dávky. Z tohoto důvodu bude dodrženo, že výsledné operační náklady budou vypočteny na jeden kus obrobku.

U některých variant, kde je stanovená operace rozdělena na dva stroje, bude nutné výrobní a dávkové náklady vypočítat zvlášť pro tyto stroje a pak je sečíst, aby vznikla výsledná suma operačních nákladů pro tu danou variantu. To se zrovna v této operaci týká výpočtu nákladů u původní varianty současné výroby. Zde probíhá výroba nejprve na obráběcím centru HEC 1600 a následně na soustruhu Geminis GHT6. Pro operaci 10 na stroji HEC 1600, kde probíhá frézování, vrtání a závitování jsou náklady na výrobu následující:

$$N_{S_{HEC}} = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hs_{HEC1600}}}{60} \right]$$

$$N_{S_{HEC}} = 35 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{5\,095}{60} \right] = 3\,606 \text{ Kč}$$

$$N_{B_{HEC}} = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{HEC1600}}}{60} \right]$$

$$N_{B_{HEC}} = 90 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{3\,650}{60} \right] = 7\,105 \text{ Kč}$$

Obdobně se vypočtou i náklady na výrobu na druhém stroji této operace u původní varianty pro zjištění celkové sumy těchto nákladů dané varianty.

$$N_{S_{GHT}} = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hs_{GHT}}}{60} \right]$$

$$N_{S_{GHT}} = 36,2 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,571}{60} \right] = 2\,207 \text{ Kč}$$

$$N_{B_{GHT}} = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{GHT}}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,785}{60} \right] = 2\,873 \text{ Kč}$$

$$N_{Op} = \sum \left(N_s + \frac{N_B}{d} \right) = N_{S_{HEC}} + N_{S_{GHT}} + \frac{N_{B_{HEC}}}{d} + \frac{N_{B_{GHT}}}{d}$$

$$N_{Op} = 3\,606 + 2\,207 + \frac{7\,105}{25} + \frac{2\,873}{25} = 6\,212 \text{ Kč}$$

Stejný postup bude využit i pro všechny následující nově navržené varianty. U variant s obráběním pouze na jednom stroji bude postup kratší a jednodušší, u variant se dvěma stroji bude stejný jako u výpočtu původní varianty.

U varianty se strojem HEC 800 X5 MT se jedná pouze o jednu operaci s obráběním na jednom stroji, proto se budou výrobní a dávkové náklady počítat vždy v jednom kroku:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{S_{HEC X5}}}}{60} \right]$$

$$N_s = 56,3 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,539}{60} \right] = 3\,402 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{HEC X5}}}{60} \right] = 30 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,707}{60} \right] = 1\,398 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 3\,402 + \frac{1\,398}{25} = 3\,458 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC má stejný postup jako minulá varianta a výpočet tedy probíhá stejně:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{SVSC}}}{60} \right] = 53,2 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,224}{60} \right] = 2\,049 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{SVSC}}{60} \right] = 90 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{803}{60} \right] = 2\,835 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 2\,049 + \frac{2\,835}{25} = 2\,163 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC je rozdělena do dvou operací na dvou strojích stejně jako varianta současné výroby. Z tohoto důvodu se tedy opět dělí i výpočty. Ovšem díky zachování obrábění na stroji HEC 1600, které je i v původní variantě, se nemusí znovu počítat náklady $N_{S_{HEC}}$ a $N_{B_{HEC}}$ této varianty a budou moci být použity již vypočítané. Náklady obrábění na stroji SP 50 CNC jsou pak následující:

$$N_{s_{SP}} = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{S_{SP}}}}{60} \right] = 28,1 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{884}{60} \right] = 923 \text{ Kč}$$

$$N_{B_{SP}} = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{HEC X5}}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{488}{60} \right] = 1\,575 \text{ Kč}$$

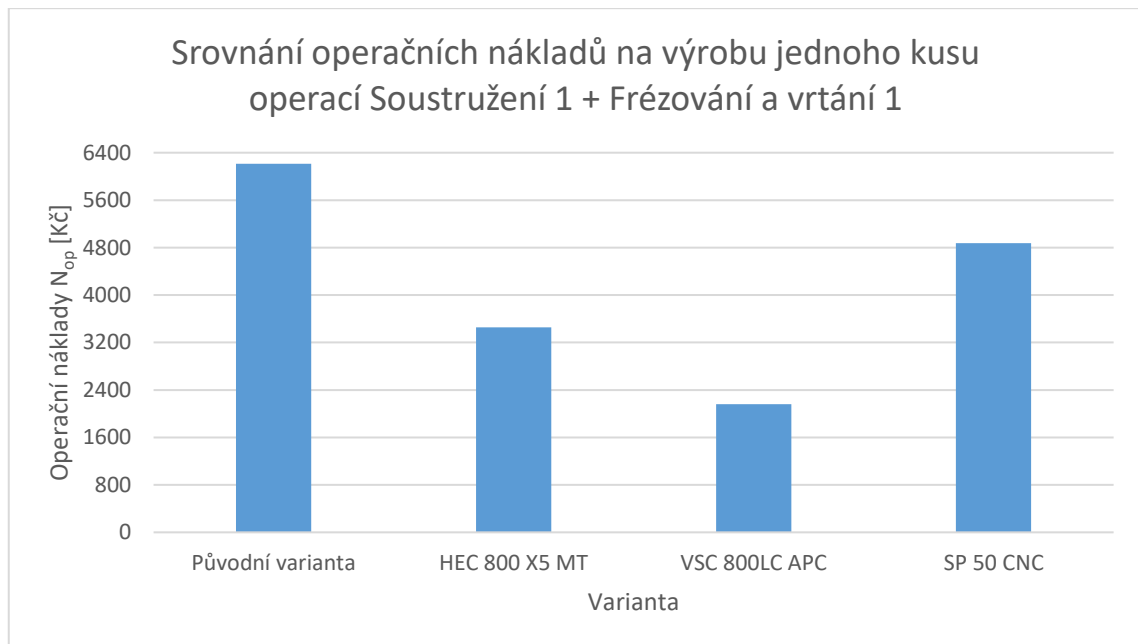
$$N_{op} = \sum \left(N_s + \frac{N_B}{d} \right) = N_{S_{HEC}} + N_{s_{SP}} + \frac{N_{B_{HEC}}}{d} + \frac{N_{B_{SP}}}{d}$$

$$N_{op} = 3\,606 + 923 + \frac{7\,105}{25} + \frac{1\,575}{25} = 4\,876 \text{ Kč}$$

Shrnutí výsledků výpočtů jednotlivých nákladů daných variant v operaci Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1 je uvedeno v následující tabulce 61. Výsledné operační náklady jsou pak znázorněny a srovnány ve sloupcovém grafu na obrázku 25.

Tabulka 61: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 1+ Frézování a vrtání 1

Varianta se strojem	Operace	Stroj	N_s [Kč]	N_B [Kč]	N_{op} [Kč]
Původní varianta	10	HEC 1600	3 606	7 105	6 212
	30	Geminis GHT 6	2 207	2 873	
HEC 800 X5 MT	20	HEC 800 X5 MT	3 402	1 398	3 458
VSC 800LC APC	20	VSC 800LC APC	2 049	2 835	2 163
SP 50 CNC	10	HEC 1600	3 606	7 105	4 876
	30	SP 50 CNC	923	1 575	



Obrázek 25: Graf srovnání operačních nákladů operace soustružení 1 + frézování a vrtání 1

Ze shrnutí výsledků vypočtených nákladů této operace je možné potvrdit závěr ze srovnání časových studií této operace v kapitole 7.3.1, že varianty, kde je obrábění rozděleno na více strojů, jsou nevýhodné a prodlužují jak čas, tak i náklady na výrobu. Vidět je to u obou variant, kde k tomuto dochází, zvláště díky použití obráběcího centra Heckert 1600 Athletic. To zvyšuje výrobní náklady u varianty se strojem SP 50 CNC v operaci 10 téměř na čtyřnásobek oproti samotnému soustruhu v operaci 30. Náklady dávkové má pak oproti ostatním strojům více než dvojnásobné. I proto je jeho vyřazení z výrobního postupu dané součásti velmi žádoucí a výhodné.

Z nově navržených strojů jsou dávkové náklady naopak nejnižší u stroje HEC 800 X5 MT, s menším rozdílem následují náklady stroje SP 50 CNC a nejvyšší jsou pak u stroje VSC 800LC APC. Toto pořadí je primárně dáno podle dávkových časů, kde je jasně vidět, že vertikální soustruh má nejvyšší dávkové náklady a také nejvyšší dávkový čas ze všech těchto tří strojů. Naopak centrum HEC 800 X5 MT má dávkové náklady a dávkový čas nejnižší. U nákladů ale není rozdíl mezi těmito variantami tak velký z důvodu vyšších odpisů obráběcího centra.

Výrobní náklady, které tvoří velkou část celých operačních nákladů, tak udávají jejich výsledné pořadí. Ze samotných strojů má výrobní náklady nejnižší soustruh SP 50 CNC, ovšem z již popsaných důvodů je varianta s tímto strojem nejhorší po současné výrobě. Nejmenší výrobní náklady z variant, a tedy i ty operační, má ta se strojem VSC 800LC APC. Ten díky kombinaci jasně nejkratšího času obrábění v této operaci a příznivé ceny hodinových nákladů na provoz dosahuje téměř třetinových operačních nákladů oproti původní variantě.

8.1.3 Náklady na výrobu operace Soustružení 2

Postup výpočtů bude stejný jako v minulé podkapitole. Opět budou použity časy jednotkové i dávkové z časových studií, tentokrát z tabulky 53, která odpovídá dané operaci. Nadále bude dodrženo, že výsledné operační náklady budou vypočteny na jeden kus obrobku, stejně tak i ve všech příštích operacích.

V této operaci ve všech variantách probíhá obrábění vždy na jednom stroji, proto nebude probíhat dělení výpočtů na dva stroje a pak jejich sčítání. Proto také není nutné ke každé variantě slovní popis a výpočty tedy budou probíhat přímo za sebou.

Výpočty nákladů původní varianty na stroji Geminis GHT 6:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsGHT}}{60} \right] = 27,5 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,571}{60} \right] = 1\,677 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sHEC X5}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,785}{60} \right] = 2\,873 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 1\,677 + \frac{2\,873}{25} = 1\,791 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsHEC X5}}{60} \right]$$

$$N_s = 22,6 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,539}{60} \right] = 1\,366 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sHEC X5}}{60} \right] = 30 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,707}{60} \right] = 1\,398 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 1\,366 + \frac{1\,398}{25} = 1\,422 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsVSC}}{60} \right] = 16,3 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,224}{60} \right] = 628 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sVSC}}{60} \right] = 90 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{803}{60} \right] = 2\,835 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 628 + \frac{2\,835}{25} = 741 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hs_{SP}}}{60} \right] = 20,5 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{884}{60} \right] = 673 \text{ Kč}$$

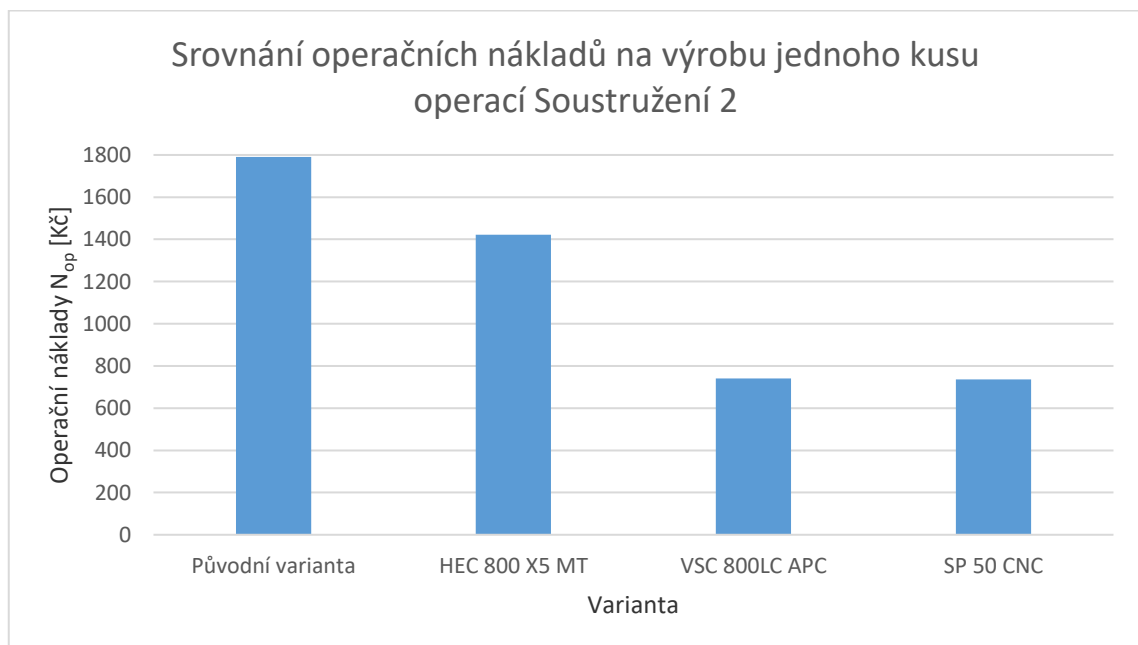
$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{s_{HEC X5}}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{488}{60} \right] = 1\,575 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 673 + \frac{1\,575}{25} = 736 \text{ Kč}$$

Shrnutí výsledků výpočtů jednotlivých nákladů daných variant v operaci Soustružení 2 je uvedeno v následující tabulce 62. Výsledné operační náklady jsou pak znázorněny a srovnány ve sloupcovém grafu na obrázku 26.

Tabulka 62: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 2

Varianta se strojem	Operace	Stroj	N _s [Kč]	N _B [Kč]	N _{op} [Kč]
Původní varianta	40	Geminis GHT 6	1 677	2 873	1 791
HEC 800 X5 MT	30	HEC 800 X5 MT	1 366	1 398	1 422
VSC 800LC APC	30	VSC 800LC APC	628	2 835	741
SP 50 CNC	40	SP 50 CNC	673	1 575	736



Obrázek 26: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 2

U této operace je srovnání nákladů na výrobu přehlednější a jednodušší díky obrábění na jednom stroji, takže není u jednotlivých variant tolik proměnných. Nejnižší dávkové náklady má opět stroj HEC 800 X5 MT díky nejkratšímu dávkovému času. Ten je nejkratší i ve všech dalších operacích, proto je předem jasné, že už to tak bude vždy.

Druhý je soustruh SP 50 CNC, který díky tomu, že v dané operaci už obrábí jako jediný stroj, dosahuje jen o 178,- Kč/ks vyšších dávkových nákladů než první Heckert. Třetí s velkým rozdílem je pak vertikální soustruh VSC 800LC APC kvůli stejnému důvodu jako v minulém případě, u kterého se to díky konstantnímu času dá očekávat i ve všech dalších operacích.

Zato ve výrobních nákladech je tento stroj opět nejlepší a nebyť nákladů dávkových, tak by byl i v celkových operačních, kde je o 5,- Kč za prvním soustruhem SP 50 CNC. Poslední z nových strojů je pak centrum HEC 800 X5 MT, které není primárně určeno k soustružení, díky čemuž má vyšší jednotkový čas i náklady na hodinu provozu stroje, z čehož pramení výsledné vysoké výrobní náklady.

8.1.4 Náklady na výrobu operace Soustružení 3

Postup výpočtů bude vzhledem k charakteru operace naprosto stejný jako v minulé podkapitole včetně toho, že u každé varianty probíhá obrábění na úplně stejném stroji v jedné operaci a výpočty u daných variant nebudou děleny na více kroků. Časy jednotkové i dávkové se opět berou z časových studií, tentokrát z tabulky 54, která odpovídá dané operaci. Vzhledem k výše popsanému tak není ke každé variantě nutný slovní popis. Výpočty tedy budou probíhat přímo za sebou stejně jako tomu bylo v předchozí kapitole 8.1.3.

Výpočty nákladů původní varianty na stroji Geminis GHT 6:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsGHT}}{60} \right] = 55,1 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,571}{60} \right] = 3\,359 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sHEC X5}}{60} \right] = 70 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,785}{60} \right] = 3\,351 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 3\,359 + \frac{3\,351}{25} = 3\,493 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsHEC X5}}{60} \right]$$

$$N_s = 48,4 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,539}{60} \right] = 2\,925 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sHEC X5}}{60} \right] = 30 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,707}{60} \right] = 1\,398 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 2\,925 + \frac{1\,398}{25} = 2\,981 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsvsc}}{60} \right] = 42,6 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,224}{60} \right] = 1\,641 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{svsc}}{60} \right] = 90 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{803}{60} \right] = 2\,835 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 1\,641 + \frac{2\,835}{25} = 1\,754 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hssp}}{60} \right] = 46,2 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{884}{60} \right] = 1\,518 \text{ Kč}$$

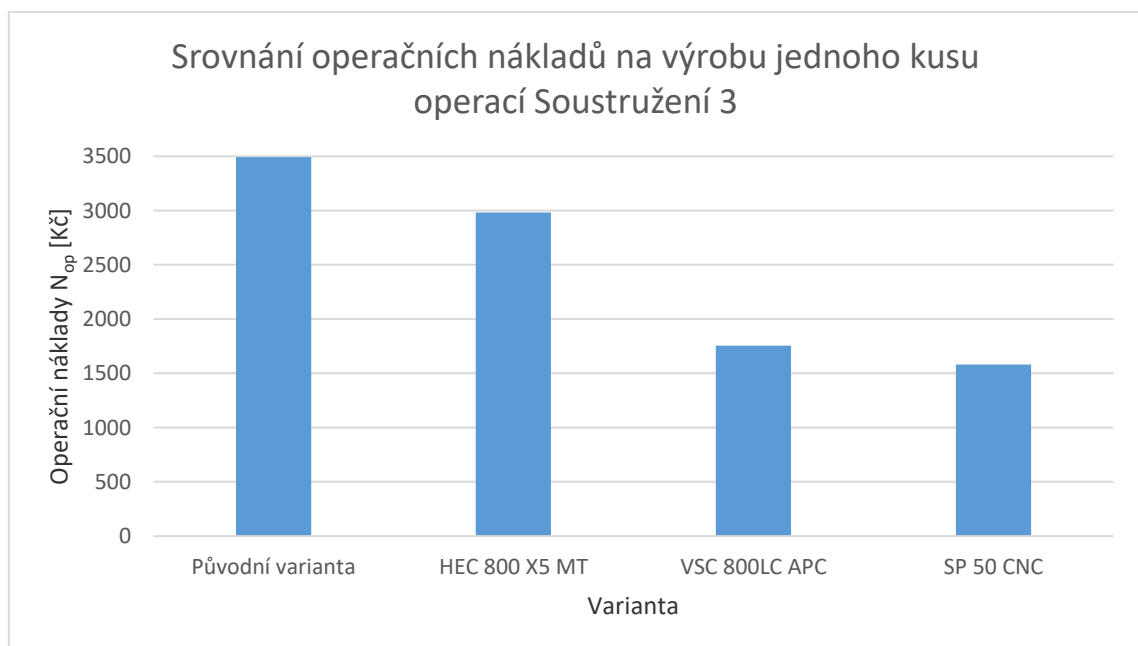
$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{shex5}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{488}{60} \right] = 1\,575 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 1\,518 + \frac{1\,575}{25} = 1\,581 \text{ Kč}$$

Shrnutí výsledků výpočtů jednotlivých nákladů daných variant v operaci Soustružení 3 je uvedeno v následující tabulce 63. Výsledné operační náklady jsou pak znázorněny a srovnány ve sloupcovém grafu na obrázku 27.

Tabulka 63: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 3

Varianta se strojem	Operace	Stroj	N _s [Kč]	N _B [Kč]	N _{op} [Kč]
Původní varianta	160	Geminis GHT 6	3 359	3 351	3 493
HEC 800 X5 MT	150	HEC 800 X5 MT	2 925	1 398	2 981
VSC 800LC APC	150	VSC 800LC APC	1 641	2 835	1 754
SP 50 CNC	160	SP 50 CNC	1 518	1 575	1 581



Obrázek 27: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 3

V této operaci je už z podstaty jejího charakteru velká část výsledků stejná jako u minulé operace Soustružení 2. Dávkové náklady jsou u všech nových strojů beze změny, takže u nich platí závěry z minulé operace. Výrobní náklady jsou sice vyšší, ale k žádným výrazným změnám zde nedochází. První je z hlediska nejnižších nákladů výrobních i operačních stroj SP 50 CNC, který díky nejnižší ceně, z níž se odvíjí odpis stroje a hodinové náklady provozu, měl nejnižší náklady i přes vyšší jednotkový čas, který je o 4 minuty delší než u stroje VS800LC APC. Ten je druhý s rozdílem 173,- Kč na kus. U stroje HEC 800 X5 MT zde opět dochází ke stejnému problému s vyšším časem kvůli soustružení a vysokým nákladům na provoz, takže je až na třetím místě s velkým rozdílem téměř dvojnásobné hodnoty operačních nákladů na kus oproti prvnímu soustruhu. Ovšem i tak dosahuje úspory operačních nákladů přes 500,- Kč na jeden kus oproti současné výrobě.

8.1.5 Náklady na výrobu operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

Postup výpočtů bude stejný jako u první operace Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1 v podkapitole 8.1.2, na který navazují i výpočty v operacích dalších. Časy jednotkové i dávkové jsou opět brány z časových studií, které se pro tuto operaci najdou v tabulce 55. Výsledné operační náklady budou vypočteny na jeden kus obrobku jako v minulých operacích.

V tomto případě opět dochází u jedné varianty k rozdělení operace na dva stroje, takže bude nutné výrobní a dávkové náklady vypočítat zvlášť pro tyto stroje a pak je sečíst ve výpočtu výsledné sumy operačních nákladů dané varianty. V této operaci to je pouze jediný případ, a to opět u původní varianty současné výroby. Zde probíhá výroba nejprve na soustruhu Geminis GHT 6 a následně na obráběcím centru HEC 800. Pro operaci 170 na stroji GHT 6, kde probíhá soustružení, jsou náklady na výrobu následující:

$$N_{SGHT} = t_A \cdot \left[k_c \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsGHT}}{60} \right]$$

$$N_{SGHT} = 57 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,571}{60} \right] = 3\,475 \text{ Kč}$$

$$N_{BGHT} = t_{BC} \cdot \left[k_c \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{SGHT}}{60} \right] = 70 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,785}{60} \right] = 3\,351 \text{ Kč}$$

Stejně tak se vypočtou i náklady na výrobu na druhém stroji této operace HEC 800 u původní varianty pro zjištění těchto nákladů dané varianty k obrobení šikmého otvoru.

$$N_{S_{HEC}} = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{S_{HEC}800}}}{60} \right]$$

$$N_{S_{HEC}} = 12 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,457}{60} \right] = 709 \text{ Kč}$$

$$N_{B_{HEC}} = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{HEC}800}}{60} \right]$$

$$N_{B_{HEC}} = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,644}{60} \right] = 2\,730 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = \sum \left(N_s + \frac{N_B}{d} \right) = N_{s_{GHT}} + N_{S_{HEC}} + \frac{N_{B_{GHT}}}{d} + \frac{N_{B_{HEC}}}{d}$$

$$N_{op} = 3\,475 + 709 + \frac{3\,351}{25} + \frac{2\,730}{25} = 4\,427 \text{ Kč}$$

U všech následujících variant, které obsahují už pouze nově navržené stroje, bude probíhat soustružení i obrábění v oblasti šikmého otvoru pouze na jednom stroji. Díky tomu budou výpočty kratší a jednodušší, jako tomu bylo v minulých případech v podkapitolách výše. Proto tedy nebude nutné u každé varianty popisovat stejný postup dokola a výpočty budou řazeny přímo za sebou.

Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{S_{HEC}X5}}}{60} \right]$$

$$N_s = 58,3 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{2\,539}{60} \right] = 3\,523 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{HEC}X5}}{60} \right] = 30 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,707}{60} \right] = 1\,398 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 3\,523 + \frac{1\,398}{25} = 3\,579 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{h_{S_{VSC}}}}{60} \right] = 54,2 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{1\,224}{60} \right] = 2\,088 \text{ Kč}$$

$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{S_{VSC}}}{60} \right] = 90 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{803}{60} \right] = 2\,835 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 2\,088 + \frac{2\,835}{25} = 2\,201 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$N_s = t_A \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_o}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{N_{hsSP}}{60} \right] = 57,3 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{884}{60} \right] = 1\,882 \text{ Kč}$$

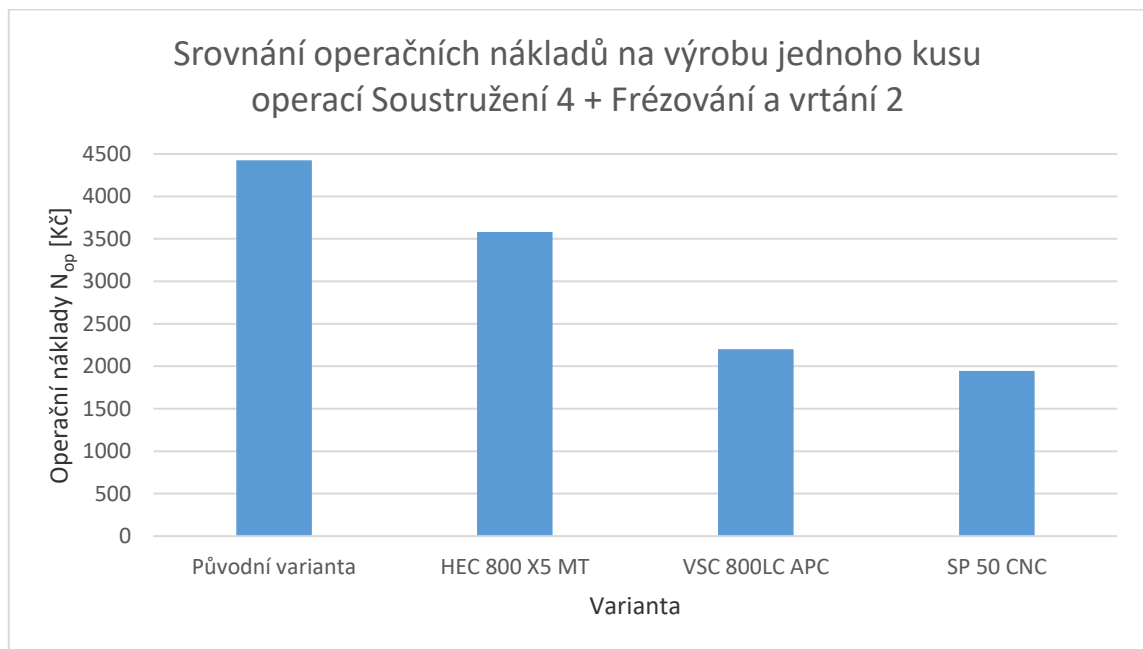
$$N_B = t_{BC} \cdot \left[k_C \cdot \left(\frac{M_s}{60} + \frac{HRP_{SP}}{60} \right) + \frac{O_{sHEC X5}}{60} \right] = 60 \cdot \left[1,13 \cdot \left(\frac{212}{60} + \frac{750}{60} \right) + \frac{488}{60} \right] = 1\,575 \text{ Kč}$$

$$N_{op} = N_s + \frac{N_B}{d} = 1\,882 + \frac{1\,575}{25} = 1\,945 \text{ Kč}$$

Shrnutí výsledků výpočtů jednotlivých nákladů daných variant v operaci Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2 je uvedeno v následující tabulce 64. Výsledné operační náklady jsou pak znázorněny a srovnány ve sloupcovém grafu na obrázku 28.

Tabulka 64: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

Varianta se strojem	Operace	Stroj	N _s [Kč]	N _B [Kč]	N _{op} [Kč]
Původní varianta	170	Geminis GHT 6	3 475	3 351	4 427
	180	HEC 800	709	2 730	
HEC 800 X5 MT	160	HEC 800 X5 MT	3 523	1 398	3 579
VSC 800LC APC	160	VSC 800LC APC	2 088	2 835	2 201
SP 50 CNC	170	SP 50 CNC	1 882	1 575	1 945



Obrázek 28: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2

Zde opět dochází u původní varianty současné výroby k rozdělení obrábění na dva stroje, což s sebou nese zvýšení dávkových nákladů kvůli dvojnásobné přípravě obrobku k obrábění. Obráběcí centrum HEC 800 má sice výrazně nižší odpis i hodinové náklady na provoz stroje, i tak ale zvyšuje operační náklady o 818,- Kč na kus. Díky lepším vlastnostem pro frézování a vrtání, než mají nově navržené soustruhy, zde dochází k menší úspoře oproti těmto variantám. Ovšem jak HEC 800, tak i Geminis

GHT 6 mají vstupní hodnoty nákladů vysoké a nemohou se tak novým strojům finančně rovnat. Nejnižší výrobní i operační náklady z nových variant tak má opět soustruh SP 50 CNC i s použitím úhlových hlav. Stejně pořadí si ze stejných důvodů drží i zbylé dva nové stroje, kdy VSC 800LC APC je těsně druhý a HEC 800 X5 MT s velkým rozdílem třetí. Rozdíl oproti původní variantě je ale tentokrát větší díky obrábění na jedno upnutí na jednom stroji, což opět potvrzuje výhodu tohoto řešení.

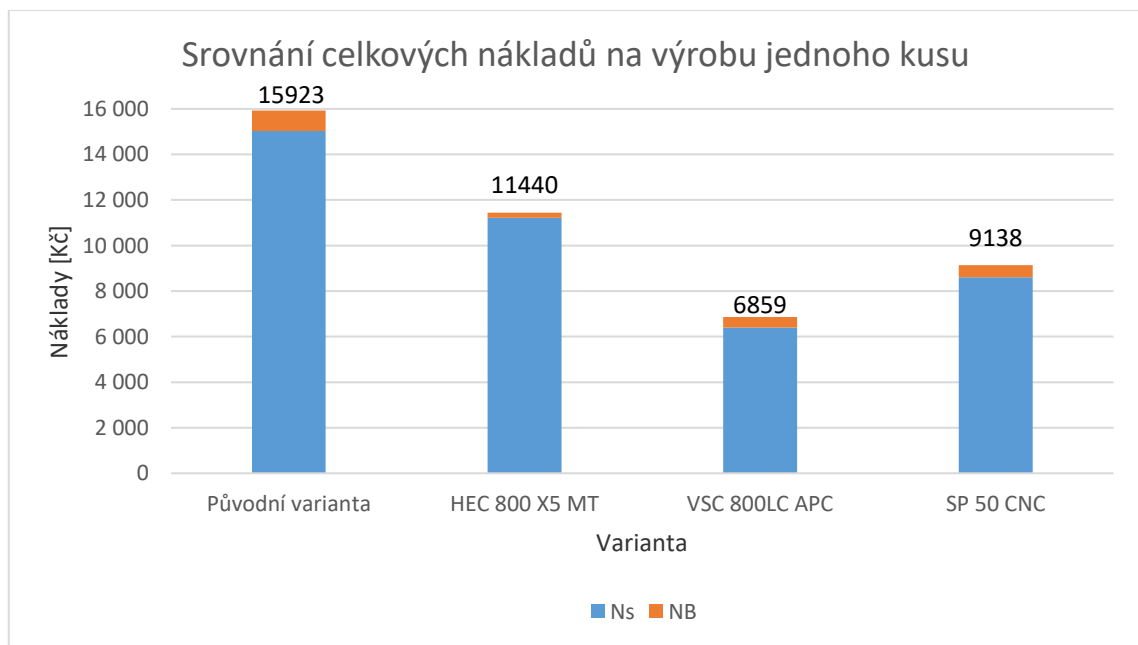
8.1.6 Shrnutí vypočtených nákladů

Celkové shrnutí vypočtených nákladů na výrobu zadané součásti z časů získaných z časových studií ze všech uvedených operací výše je uvedeno v tabulce 65. Všechny zde uvedené náklady se vztahují na výrobu jednoho kusu obrobku. Pro výpočet nákladů na výrobu celé dávky 25 kusů pak stačí uvedené náklady vynásobit tímto počtem kusů.

Srovnání výsledných nákladů je pak znázorněno ve sloupcovém grafu na obrázku 29. Zde jsou pro porovnání zobrazeny v jednom sloupci vždy nejdříve náklady výrobní, nad nimi náklady dávkové na jeden kus a nad sloupcem uvedena celková hodnota nákladů operačních, která se rovná právě součtu hodnot obou částí sloupce.

Tabulka 65: Celkové náklady na výrobu jednoho kusu obrobku

Varianta se strojem	N_s [Kč]	N_B [Kč]	N_{op} [Kč]
Původní varianta	15 033	890	15 923
HEC 800 X5 MT	11 216	224	11 440
VSC 800LC APC	6 405	454	6 859
SP 50 CNC	8 602	536	9 138



Obrázek 29: Graf srovnání celkových nákladů na výrobu jednoho kusu

Ve srovnání celkových vypočtených nákladů na výrobu jednoho kusu obrobku je možné vidět téměř všechny závěry ze srovnání nákladů v jednotlivých operacích a stejně tak i závěry z časových studií. Původní varianta je díky nejvyššímu počtu operací, nejdelším časům ve všech operacích a nejdražšímu provozu zastaralých strojů jednoznačně nákladově nejhorší z porovnávaných variant. Z toho plyne vhodnost řešení ve snížení počtu operací a použití strojů schopných kombinovat technologie obrábění na jedno upnutí. Zvláště vyřazení horizontálních obráběcích center Heckert 1600 a 800 z výrobního postupu přineslo významnou nákladovou úsporu. To lze porovnat na příkladu varianty se strojem SP 50 CNC, kdy ponechání jedné operace na jednom z těchto center znamenalo 42,5 procenta celého součtu operačních nákladů této varianty. Díky tomu je také tato varianta ve srovnání výsledných operačních nákladů až druhá a nabrala značný odstup od výsledné první varianty se strojem VSC 800LC APC, která byla ve všech ostatních operacích vždy až druhá.

Ve srovnání dávkových nákladů se promítají hlavně rozdíly v časech dávkových v kombinaci s cenou odpisu strojů. Nejvyšší dávkové náklady ze současných variant má právě varianta se strojem SP 50 CNC kvůli zapojení obráběcího centra HEC 1600, jak už bylo zmíněno, a to dokonce přes to, že má střední hodnotu dávkových časů a nejnižší hodnotu odpisů z nových strojů. Druhé nejvyšší náklady má pak vertikální soustruh VSC 800LC APC, který má sice v každé variantě nejdelší samostatný dávkový čas a má až druhou nejnižší hodnotu odpisů stroje, ale veškeré obrábění zvládá sám. Nejlepší je pak v tomto ohledu Heckert 800 X5 MT, který díky automatickému paletovému systému dosahuje nejnižších hodnot dávkových časů i nákladů, a to i přes nejvyšší hodnotu odpisů. Dosahuje tak úspory až tři čtvrtiny oproti současnému stavu.

Výrobní náklady nových variant strojů mají ale úplně jiné pořadí, což má pak díky jejich váze ve výpočtu i přímý vliv na pořadí podle nákladů operačních. Díky jednoznačně nejkratším jednotkovým časům a příznivé ceně hodinových nákladů na provoz stroje má nejnižší výrobní náklady na výrobu jednoho kusu součásti varianta se strojem VSC 800LC APC. Její náklady jsou přibližně 43 % současné technologie. Druhé nejnižší náklady má varianta se strojem SP 50 CNC i s obráběním jedné operace na jiném stroji. To je způsobeno hlavně nízkou pořizovací cenou promítající se do hodinových nákladů na provoz stroje, což kompenzuje i nejvyšší celkové jednotkové časy výroby ze všech nových variant. Právě kvůli vysoké ceně pětiosého obráběcího centra HEC 800 X5 MT s možností soustružit má nejvyšší výrobní náklady varianta s tímto strojem.

U všech nově navržených variant dochází k nákladové úspoře, což je hlavní podstatou této práce. To je však jeden z více aspektů, které rozhodují o výběru nejvhodnější varianty. K tomu dojde až po vypočtení přesných časových a nákladových

úspor vycházejících z časových studií a výsledků výpočtů v této kapitole. Z nich nakonec vzejde finální výpočet návratnosti investice do každého stroje a jeho vybavení, což bude předmětem následujícího postupu.

8.2 Výpočet úspor

Úspory dosažené racionalizací a inovacemi výroby zadané součásti oproti současné výrobě učiněné v minulých krocích jsou hlavním cílem celé práce. Úspory lze vyjádřit tři – časovou, operačních nákladů a hodinovou operačních nákladů při obrábění zadané součásti. Všechny tyto úspory jsou vzájemně propojené a každá z nich je pro podnik výhodná. Úspora času mezi jednotlivými variantami sebou nese uvolnění kapacit strojů pro možné obrábění jiných součástí a také úsporu operačních nákladů. Ta je definována jako rozdíl nákladů na zhotovení jednoho kusu obrobku současnou výrobou a nákladů po inovaci výroby. Tato úspora díky rychlejším časům výroby znamená ušetření nákladů na výrobu součásti, což je přímý zisk pro danou společnost. Kromě zkrácení časů výroby je této úspory možné dosáhnout snížením vstupních položek do nákladových výpočtů. Hodinová úspora operačních nákladů znamená vztažení nákladové úspory na hodinu jednotkového času výroby na daném stroji. Všechny tyto hodnoty jsou důležité jak pro vzájemné porovnání a vyhodnocení nejúspornější varianty, tak i pro následný výpočet návratnosti jednotlivých investic pro výrobu určené součásti.

Časové úspory U_{tA} a U_{tBC} budou počítány z celkových jednotkových i dávkových časů na jeden kus obrobku z tabulky 56 dle následujících vzorců 8.2.1 a 8.2.2:

$$U_{tA} = t_{A_{ks}}^{\text{původní}} - t_{A_{ks}}^{\text{inovovaná}} \quad [\text{min}] \quad (8.2.1)$$

$$U_{tBC} = t_{BC_{ks}}^{\text{původní}} - t_{BC_{ks}}^{\text{inovovaná}} \quad [\text{min}] \quad (8.2.2)$$

kde U_{tA} je časová úspora jednotkového času,

U_{tBC} je časová úspora dávkového času [29].

Výsledná časová úspora U_t je pak součtem těchto dvou časů:

$$U_t = U_{tA} + U_{tBC} \quad [\text{min}] \quad (8.2.3)$$

Pro jednotlivé navržené varianty jsou pak tyto vzorce i uvedenými hodnotami použity v následujícím postupu. Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$U_{tA} = t_{A_{ks}}^{\text{původní}} - t_{A_{ks}}^{\text{HEC}} = 222,8 - 185,6 = 37,2 \text{ min}$$

$$U_{tBC} = t_{BC_{ks}}^{\text{původní}} - t_{BC_{ks}}^{\text{HEC}} = 16,4 - 4,8 = 11,6 \text{ min}$$

$$U_t = U_{tA} + U_{tBC} = 37,2 + 11,6 = 48,8 \text{ min}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$U_{tA} = t_{A_{ks}}^{původní} - t_{A_{ksVSC}} = 222,8 - 166,3 = 56,5 \text{ min}$$

$$U_{tBC} = t_{BC_{ks}}^{původní} - t_{BC_{ksVSC}} = 16,4 - 14,4 = 2 \text{ min}$$

$$U_t = U_{tA} + U_{tBC} = 56,5 + 2 = 58,7 \text{ min}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$U_{tA} = t_{A_{ks}}^{původní} - t_{A_{ksSP}} = 222,8 - 187,1 = 35,7 \text{ min}$$

$$U_{tBC} = t_{BC_{ks}}^{původní} - t_{BC_{ksSP}} = 16,4 - 13,2 = 3,2 \text{ min}$$

$$U_t = U_{tA} + U_{tBC} = 35,7 + 3,2 = 38,9 \text{ min}$$

Úspora operačních nákladů U_N oproti původní technologii výroby se vypočte obdobně, pouze budou místo časů na kus počítány operační náklady na výrobu jednoho kusu viz výpočetní vztah níže [29].

$$U_N = N_{op}^{původní} - N_{op}^{inovovaná} \text{ [Kč]} \quad (8.2.4)$$

Pro jednotlivé navržené varianty budou vstupní hodnoty pro výpočty nákladových úspor vycházet z tabulky 65, kde jsou vyjádřeny celkové operační náklady na výrobu jednoho kusu danými variantami. Pro jednotlivé varianty jsou výpočty následující. Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$U_N = N_{op}^{původní} - N_{opHEC} = 15\,923 - 11\,440 = 4\,483 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$U_N = N_{op}^{původní} - N_{opVSC} = 15\,923 - 6\,859 = 9\,064 \text{ Kč}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$U_N = N_{op}^{původní} - N_{opSP} = 15\,923 - 9\,138 = 6\,785 \text{ Kč}$$

Poslední úsporou je hodinová úspora operačních nákladů nových variant U_H , která přímo i nepřímo vychází z obou minulých úspor každé varianty. V jejím výpočtu figurují úspory operačních nákladů U_N z minulého kroku a celkové jednotkové časy na výrobu jednoho kusu v dané variantě $t_{A_{ks}}$ z tabulky 56. Tyto hodnoty jsou ale vyděleny 60 minutami, aby byla výsledná hodnota v hodinách. Výpočet této úspory bude probíhat podle vztahu 8.2.5, který je uvedený zde [29]:

$$U_H = \frac{U_N}{t_{A_{ks}}} \text{ [Kč/hod.]} \quad (8.2.5)$$

Odvozené výpočty pro navržené varianty jsou postupně uvedeny níže. První je opět varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$U_H = \frac{U_{N_{HEC}}}{t_{A,ks_{HEC}}} = \frac{4\,483}{3,09} = 1\,449 \text{ Kč/hod.}$$

Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$U_H = \frac{U_{N_{VSC}}}{t_{A,ks_{VSC}}} = \frac{9\,064}{2,77} = 3\,270 \text{ Kč/hod.}$$

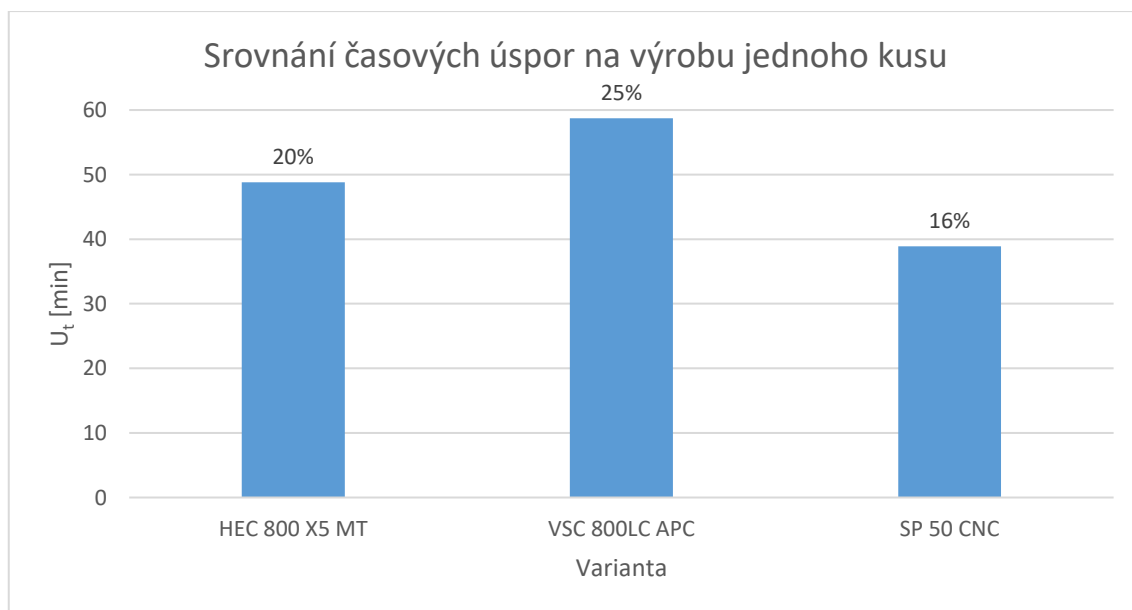
Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$U_H = \frac{U_{N_{SP}}}{t_{A,ks_{SP}}} = \frac{6\,785}{3,12} = 2\,176 \text{ Kč/hod.}$$

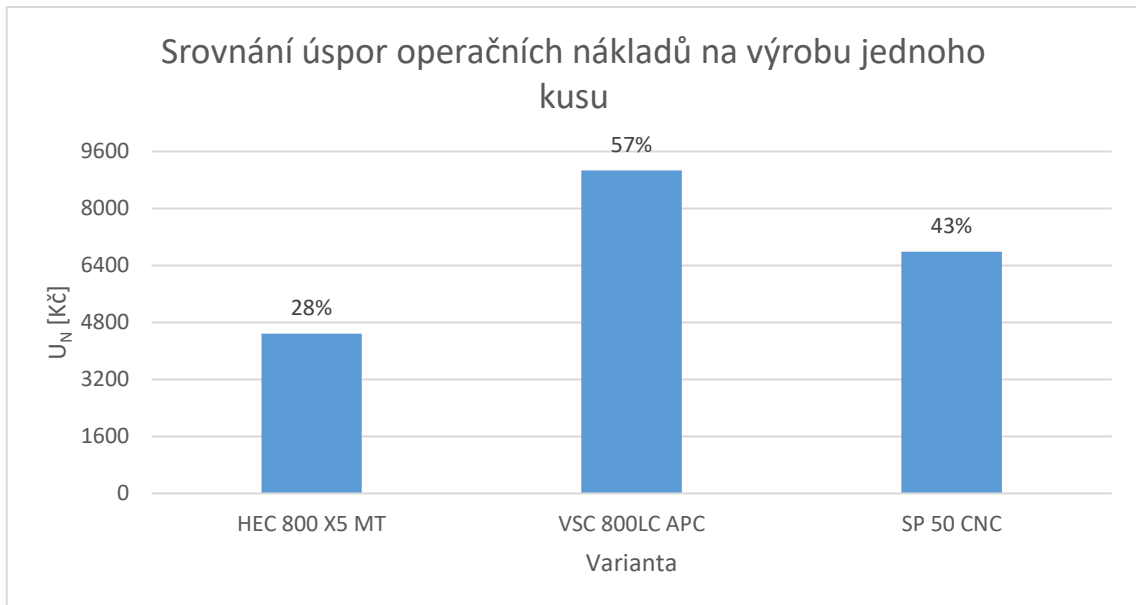
Výsledný souhrn všech vypočtených úspor je v tabulce 66 níže. Pro porovnání jsou tam uvedeny i procentuální úspory v časech a operačních nákladech. Ty slouží i k znázornění toho, jak se změní časové úspory díky ostatním vstupním položkám ve výpočtech nákladů výroby. K názornějšímu porovnání úspor jednotlivých variant jsou pod tabulkou ke každé z vypočítaných úspor vytvořeny grafy z těchto hodnot, ve kterých jsou uvedeny i procentuální dosažené úspory.

Tabulka 66: Výsledné vypočtené úspory nově navržených variant

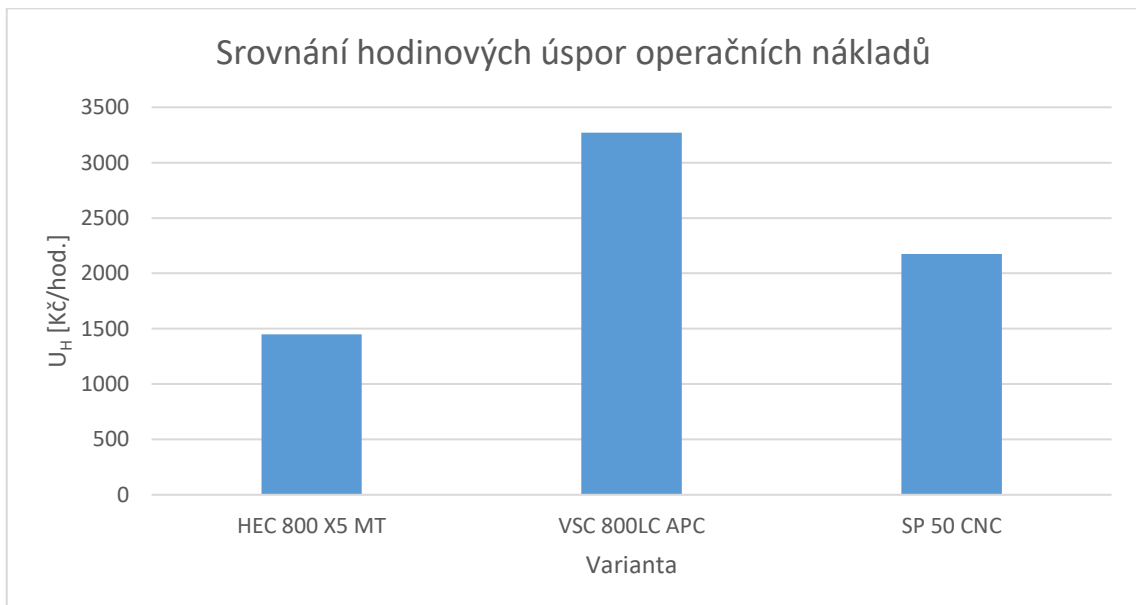
Varianta se strojem	U_t		U_N		U_H
HEC 800 X5 MT	48,8 min	20 %	4 483 Kč	28 %	1 449 Kč/hod.
VSC 800LC APC	58,7 min	25 %	9 064 Kč	57 %	3 270 Kč/hod.
SP 50 CNC	38,9 min	16 %	6 785 Kč	43 %	2 176 Kč/hod.



Obrázek 30: Graf srovnání vypočtených časových úspor na výrobu jednoho kusu



Obrázek 31: Graf srovnání vypočtených úspor operačních nákladů na výrobu jednoho kusu



Obrázek 32: Graf srovnání vypočtených hodinových úspor operačních nákladů

Výsledné časové úspory vycházejí už z kapitoly 7, kde se promítají veškeré tam jmenované závěry. Největší časovou úsporu má použití varianty se strojem VSC 800LC APC, které je z nově vybraných strojů i nejrychlejší v dané výrobě. Za ním je obráběcí centrum HEC 800 X5 MT a nejmenší úsporu má soustruh SP 50 CNC. U všech těchto strojů ale dochází k velmi významné časové úspoře. Úspora 38 až 58 minut neboli 16 až 25 % původních časů výroby přináší velké zrychlení ve výrobě a nese s sebou i zrychlení výroby jiných součástí díky uvolněné kapacitě na strojích. Tyto hodnoty jsou proto velkým úspěchem.

Když se ale k těmto úsporám přidají ekonomické aspekty, tak se pořadí, hodnoty úspor i jejich poměr rapidně změní. Největší dosažené úspory v operačních nákladech

na kus stále dosahuje vertikální soustruh VSC 800LC APC s částkou 9 064,- Kč, což znamená úsporu 57 % oproti původní variantě. To znamená snížení nákladů na méně jak polovinu, což je velmi významná úspora nesoucí velký zisk z dané součásti. Díky nízkým nákladům na provoz má tentokrát druhou nejnižší úsporu stroj SP 50 CNC. Ta činí 43 %, což je stále významné ušetření na nákladech výroby jednoho kusu. Nejnižší úsporu na operační náklady na kus má stroj HEC 800 X5 MT, který má vysoké výrobní náklady, ale stále se s úsporou 4 483,- Kč/ks drží nad čtvrtinou ušetřených nákladů.

U poslední uvedené hodinové úspory operačních nákladů na hodinu výroby zůstává pořadí stejné jako u úspory nákladové. Je to z toho důvodu, že veškeré úspory operačních nákladů byly děleny časy 2,77 až 3,12 hodiny, což není v těchto hodnotách úspor velký rozdíl a zanechává tak téměř stejný poměr mezi jednotlivými hodinovými úsporami.

8.3 Výpočet návratnosti

Poslední počítanou položkou do výsledného srovnání navržených variant je návratnost investice do strojů v těchto variantách. Je to základní aspekt toho, jestli se pro získané úspory vyplatí do těchto variant investovat dané náklady pro výrobu zadané součásti a jiných typově a konstrukčně odpovídajících dílů. Tato hodnota udává za kolik let se výrobou těchto dílů daná investice vrátí z vypočítaných hodinových úspor operačních nákladů výroby. Hodnotou investice je myšlena cena stroje včetně nástrojového vybavení, speciálních přidaných komponent a opcí, jak bylo definováno v kapitole 8.1 pro jednotlivé stroje. Ve výpočtu figuruje i časový fond stroje, který udává počet odpracovaných hodin na stroji za rok ve směně, aby bylo možné úsporu vztáhnout na všechny tyto provozní hodiny. Výsledný vztah pro výpočet návratnosti nákladů investice se tedy určí podle vztahu 8.3.1.

$$Z_N = \frac{C_s}{U_H \cdot CFS_{EFPL}} \text{ [let]} \quad (8.3.1)$$

kde Z_N je návratnost nákladů investice do stroje a příslušenství [29].

Z tohoto vzorce vycházející výpočty pro jednotlivé varianty jsou postupně provedeny níže. Varianta se strojem HEC 800 X5 MT:

$$Z_N = \frac{C_{S_{HEC X5}}}{U_{H_{HEC}} \cdot CFS_{EFPL}} = \frac{30\,727\,500}{1\,449 \cdot 1\,333,3} = 15,9 \text{ let}$$

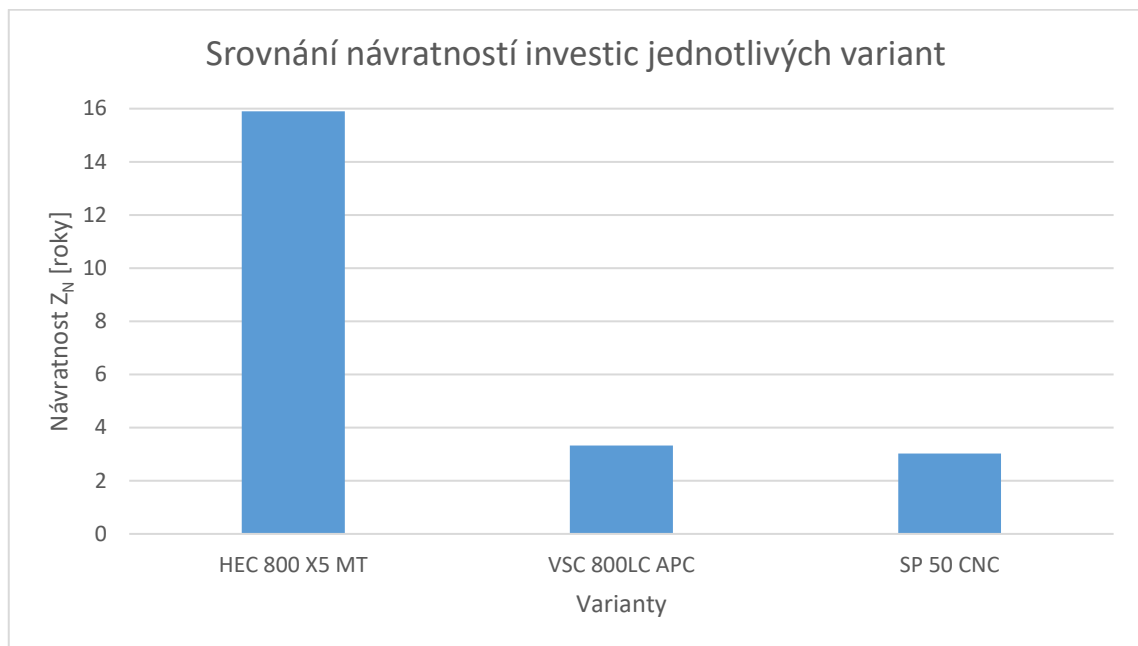
Varianta se strojem VSC 800LC APC:

$$Z_N = \frac{C_{SVSC}}{U_{HVSC} \cdot CFS_{EFPL}} = \frac{14\,461\,500}{3\,270 \cdot 1\,333,3} = 3,32 \text{ let}$$

Varianta se strojem SP 50 CNC:

$$Z_N = \frac{C_{SP}}{U_{HSP} \cdot CFS_{EFPL}} = \frac{8\,780\,500}{2\,176 \cdot 1\,333,3} = 3,03 \text{ let}$$

Jelikož jsou výsledné hodnoty uvedeny přímo pod sebou, není nutné vytvářet speciální srovnávací tabulku. Grafické srovnání návratností jednotlivých variant je provedeno v grafu na obrázku 33 níže.



Obrázek 33: Graf srovnání návratností nákladů investic do jednotlivých variant

Jak se dalo předpokládat, tak stroj HEC 800 X5 MT díky své ceně dopadl nejhůř. Ovšem díky tomu, že se do návratnosti jeho vysoká cena promítá dvakrát, kdy je tam nejdříve samotná a poté i v nižších hodnotách úspor, tak je tato doba mnohonásobně vyšší než u ostatních levnějších variant. Je to způsobené i tím, že to není stroj určený primárně k soustružení, které zabírá většinu času a nákladů celé výroby.

Zbylé dvě varianty mají téměř totožné hodnoty návratností investic. Rozdíl mezi nejnižší hodnotou u stroje SP 50 CNC a VSC 800LC APC je 0,29 roku, což vychází na necelých 106 dní. Vzhledem k předpokládané době odpisů strojů a jejich případnému následnému fungování ve společnosti je tento rozdíl minimální. Tyto dva stroje budou tedy z hlediska návratností při obrábění zadané součástí a jí podobných výdělečné mezi uplynutím doby Z_N a vyřazením stroje. Obráběcí centrum HEC 800 X5 MT z tohoto pohledu nebude ani přes dosažené úspory při obrábění těchto součástí výdělečné, protože dříve, než dosáhne doby Z_N , bude vyřazeno a nahrazeno jiným strojem.

8.4 Zhodnocení navržených variant

Navržené varianty lze hodnotit podle mnoha kritérií. Těmi hlavními, podle kterých se nakonec bude učiněno rozhodnutí, budou úspory, návratnost investice a přínos pro celkovou výrobu ve společnosti. Vypočtené hodnoty jednotlivých úspor a návratností byly dopodrobna rozebrány v závěru jednotlivých kapitol, které se jich přímo týkaly.

Z výsledků všech tří zmíněných dosažených úspor vyšel nejlépe vertikální soustruh VSC 800LC APC. Ten díky nejkratšímu celkovému jednotkovému času na výrobu jednoho kusu součásti 2,77 hodiny a nepříliš vysokým nákladům na výrobu dosáhl úspory operačních nákladů 9 064,- Kč na kus. Toho dosáhl i díky tomu, že zvládal veškeré určené obrábění provést sám bez nutnosti použití dalších strojů, což byl i jeden z předem požadovaných výsledků. Výsledná návratnost tohoto stroje vyšla 3,32 let, což při době odpisu tohoto stroje 6 let znamená, že se investice do něj vrátí za více než polovinu této doby. Jedinou nevýhodou tohoto stroje je dávkový čas přípravy, který byl i přes použití výměnného paletového systému nejvyšší z navrhovaných variant. Druhou nevýhodou je pak nutnost zakoupení přídatných úhlových hlav pro obrobení šikmého otvoru, které celou investici prodraží, a i o něco prodlouží čas výroby v této části obrábění.

Co se týče návratnosti investice, nejlépe v tomto pořadí vyšel horizontální soustruh SP 50 CNC s dobou 3,03 let. Kdyby byl tento soustruh výkonnější a zvládl první operaci frézování a vrtání 1, tak by byl ve všech ohledech nejlepší on, jelikož ve zbylých operacích dosahovalo obrábění na něm minimálních nákladů. Kvůli nízkému výkonu nástrojového vřetena však musela být operace zachována na jednom z nejdražších strojů společnosti, obráběcím centru Heckert 1600, který celou tuto variantu prodražil. Ovšem díky velmi nízké ceně soustruhu a z ní vycházejících nákladů na výrobu stejně dosáhla nejlepší návratnosti. Také použití obráběcího centra, na kterém se díky tomu neuvolní požadovaná kapacita, jí značně znevýhodňuje, stejně jako absence výměnného systému, která prodlužuje časy přípravy a také nutnost pořízení přídatné úhlové hlavy jako u stroje minulého.

Varianta s obráběcím centrem HEC 800 X5 MT je varianta s jednoznačně nejhorší návratností, která dosahuje více než pětinásobku nejnižší návratnosti varianty minulé. Má ale v tomto srovnání zvláštní postavení. Jedná se totiž o stroj, který jako jediný není konstruován primárně pro soustružení s přídatnými funkcemi frézování a vrtání, jako tomu bylo u minulých variant. Ovšem i tak dosáhla tato varianta vyšší časové úspory než varianta s největší návratností. Vysoké částky za provoz stroje citelně zvyšují náklady a sráží návratnost, jeho nespornými výhodami však je, že zvládne obrobít celou

součást a má automatický výměnný paletový systém, díky kterému je výrazně snížen dávkový čas přípravy.

K samotnému vyhodnocení je však třeba připojit i několik poznámek ohledně praktických aspektů. Při výpočtech v této práci není počítáno s faktory trhu, tudíž i navzdory úspoře při výrobě zadané součásti zůstane její cena pro zákazníka zachována a nebude mu nabízena lepší kvůli vlivu konkurence, takže přináší žádaný zisk společnosti. Dalším podstatným aspektem je, že v této práci je uvažováno o použití jednotlivých navržených strojů pouze na obrábění této součásti po celý rok, což při určené dávce 25 kusů jednoznačně nenaplní roční časový fond těchto strojů. Portfolio společnosti je velmi různorodé a obsahuje většinu vyráběných převodovek v počtu spíše kusovém než sériovém. Ovšem pokud je tato součást určena jako představitel skupiny výrobků ozubených kol, která obsahuje každý výrobek společnosti, tak i vzhledem k opakování některých položek lze uvažovat předpoklad o pořízení uvedených strojů pouze na výrobu těchto výrobků jako správný. I přes konstrukční rozdíly pak lze počítat s určitou odchylkou i se stejnými úsporami a návratnostmi.

U stroje HEC 800 X5 MT je však nutno poukázat na jednu podstatnou věc. V této práci je uvažováno, že by byl tento stroj pořízen na výrobu ozubených kol. Ovšem tento stroj byl už do firmy koupen a je primárně využíván na pětiosé frézování a vrtání, kdy je soustružení využíváno jako doplňková funkce pouze v menším počtu případů. Při tomto použití na složitějších dílech dosahuje mnohonásobně větší úspory než na poměrně jednoduchých součástech, pro které je pak výroba ně něm drahá. Pro firmu však bylo žádoucí zjistit, jak by byl perspektivní i pro použití na výrobu takto rozměrných ozubených kol, jakým je zadaná součást.

Při zohlednění všech faktorů popsanych jak v tomto zhodnocení, tak ve všech částech a závěrech jednotlivých kapitol, se nabízí pro společnost dvě varianty. První, vycházející z teoretické roviny této práce, je zakoupit stroj VSC 800LC APC, kam by se výroba těchto součástí převedla. Ukazují na to již zmíněné úspory, sjednocení operací a použití jednoho stroje, čímž se uvolní kapacity na jiných a odpadnou náklady a časy kvůli převozu a meziskladování. Navíc je tento stroj možné využít i na jiné součásti, u kterých by se dosáhlo úspory jako jsou například víka převodovek. Tato varianta sice nemá nejkratší návratnost, ale vychází zde lépe úspory v dlouhodobějším měřítku a většina technických faktorů hraje pro tento stroj.

Druhá výsledná varianta je možná pouze v praktické rovině vzhledem k zakoupení obráběcího centra HEC 800 X5 MT do společnosti. Díky velké časové úspoře varianty s tímto strojem je možné obrábění typově stejných dílů, jako je zadaná součást, převést na něj, pokud zrovna nebude kapacitně vytížen, popřípadě jimi prokládat

složitější díly zde obráběné. Při tom ale využít toho, že návratnost obráběcího centra je hlavně právě na složitějších dílech, a přes to se i u součástí ozubených kol dosáhne určité úspory, která návratnost bude navyšovat. Úspora bude jak nákladová čítající 4 483,- Kč na kus, tak i díky sjednocení operací a použití jednoho stroje, s čímž souvisí uvolnění kapacit jiných strojů a odpadnutí převozu a meziskladování. Další nespornou výhodou pak je, že nebude zapotřebí další zvláštní investice do koupě nového stroje výhradně na ozubená kola. Je však nutné určit, pro které položky ze skupiny ozubených kol by to bylo vhodné, aby se tento krok vyplatil. Jednalo by se tedy o položky nutné k víceosému obrábění jako je zadaná součást.

Výsledné rozhodnutí o využití jedné z těchto variant však závisí na vedoucích pracovnících společnosti Wikov MGI a.s. To může ovlivnit mnoho faktorů včetně přidání dalších variant do výběru. Také je možné, že se může při vyjednávání s dodavatelem strojů změnit jejich výsledná pořizovací cena, což by mělo ve výsledku přímý vliv na všechny vypočtené ekonomické parametry. Všechny v této práci navržené varianty jsou vhodné k použití a dosahuje se u každé z nich úspor, které v celkových nákladech hrají podstatnou roli. Tím pádem všechny varianty plní účel této práce, proto bylo splněno její zadání a cíle.

9 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout inovaci současného postupu výroby součásti ozubeného kola převodovky ve společnosti Wikov MGI a.s. Hlavním úkolem byl výběr nových strojů pro obráběcí operace z výrobního postupu tohoto kola, kterými má být dosaženo rychlejší a úspornější výroby. Na začátku práce byla rozebrána samotná součást a její dosavadní výrobní postup se zaměřením na současné výrobní stroje a rezervy, kde by se dalo dosáhnout úspor při výrobě a jak je odstranit. Díky těmto poznatkům byly navrženy tři nové stroje schopné zadanou součást obrobít s předpokladem snížení počtu operací a dosažení žádaných úspor. Jednalo se o stroje Heckert 800 X5 MT, VSC 800LC APC a SP 50 CNC. Pro tyto inovované varianty byly následně upraveny výrobní postupy a k nim vytvořeny časové studie výroby. Pro tyto časy byly nakonec v technicko-ekonomickém zhodnocení vypočteny náklady na výrobu, z nich vycházející úspory a návratnosti jednotlivých investic pro výrobu typově a konstrukčně stejných dílů, jakou je zadaná součást.

Inovace v podobě nových strojů přinesla snížení počtu operací na nových strojích ze šesti na čtyři až pět. Kromě jednoho případu to navíc znamenalo převedení výroby ze zastaralých strojů s vysokými náklady výroby na tyto nové levnější, čímž se také snížili mezioperační časy a úkony. Časových úspor bylo dosaženo v jednotlivých variantách ve výši 35 až 56 minut. Nákladových poté v částkách 4 483 až 9 064,- Kč na jeden kus, což při současných nákladech výroby 15 923,- Kč na kus znamená úsporu až 57 %. Jedná se tedy o významné snížení nákladů výroby a zvýšení produktivity těchto dílců v dané společnosti. Další úspor by bylo možné dosáhnout optimalizací řezných podmínek na jednotlivých strojích, jejichž vztahy byly použity a zjednodušeny pro ekonomické výpočty, ovšem toto nebylo součástí zadání práce a bylo by to vhodné řešit v dalším navazujícím kroku po výběru optimálních variant.

Návrhy výsledné optimální varianty jsou dva. První je využít poznatků práce a pořídit nový soustruh VSC 800LC APC, který dosahuje jednoznačně nejvyšších úspor a v technickém hodnocení vyšel pro obrábění této součásti nejlépe. Druhou možností je využít toho, že obráběcí centrum HEC 800 X5 MT již bylo do společnosti zakoupeno, a převést na něj výrobu složitějších ozubených kol, která by doplňovala víceosé obrábění jiných součástí. Výsledné nákladové úspory by pak sice byly přibližně o 30 % nižší, ale nebylo by zapotřebí žádných dalších investic pro výrobu tohoto typu kol.

Všechny vytyčené cíle na začátku práce jsem tedy splnil, výsledné rozhodnutí o finální variantě je ale na vedoucích pracovnících společnosti a výsledky práce slouží pouze ke srovnání jednotlivých faktorů daných variant a návrhu vhodných řešení.

Seznam použité literatury

[1] Profil společnosti. In: *Wikov.com* [online]. Praha: Wikov Industry, 2018 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.wikov.com/cs/ke-stazeni>

[2] Výrobní možnosti a strojní vybavení Wikov MGI. In: *Wikov.com* [online]. Hronov: Wikov Industry, 2016 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.wikov.com/cs/ke-stazeni>

[3] PŘIBYL, Erich. *Technická příručka* [online]. Kladno: Bohdal Bolzano [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka>

[4] Heckert Large Athletic series. In: *Starrag.com* [online]. Chemnitz: Starrag GmbH, 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.starrag.com/en-us/machine/heckert-large-athletic-series/49>

[5] BENEŠOVÁ, Dana. Preciznost gigantů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 9. 6. 2011, 2011(6) [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/preciznost-gigantu>

[6] Numerical control lathe Geminis GHT-6 Datasheet. In: *Pesch-machines.com* [online]. Eupen: Pesch Machines S.A. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.pesch-machines.com/wp/wp-content/uploads/2017/12/GEMINIS-DB-EN.pdf>

[7] Géminis Serie GHT 6 G2-G4. In: *Interempresas.net* [online]. Elgoibar: Goratu Máquinas-Herramienta S.A. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.interempresas.net/FotosArtProductos/P81506.jpg>

[8] Heckert Athletic series. In: *Starrag.com* [online]. Chemnitz: Starrag GmbH, 2015 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.starrag.com/en-us/machine/heckert-athletic-series/63>

[9] HEC 800 Athletic. In: *CeeIndustrial.com* [online]. Jelenia Gora: CeeIndustrial.com, 2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.ceeindustrial.com/public/data/companyProduct1198825816.jpg>

[10] HEC 800 X5 MT. Chemnitz: Starrag GmbH, 2020.

- [11] HEC 800 X5 MT. In: *Facebook.com* [online]. Hronov: Wikov MGI a.s., 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/WikovHronov/photos/a.379417942231519/1689059771267323/>
- [12] Katalog vertikálních soustruhů VSC série. In: *TDZ-Turn.com* [online]. Brno: TDZ Turn s.r.o. [cit. 2021-04-13] Dostupné z: <https://tdz-turn.com/cs/produkty/vertikalni-soustruhy-vsc>
- [13] TDZ Turn VSC 800LC. In: *Facebook.com* [online]. Osek nad Bečvou: Zapro profi s.r.o., 2020 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/Zaproprofi/photos/a.1342056735809425/3318112124870533/>
- [14] Nabídkový list na vertikální soustruh VSC 800LC APC. Brno: TDZ Turn s.r.o., 2021.
- [15] Angle Head Universal. In: *Toolholdershop.com* [online]. Richmond Hill: Tool Holder Shop Inc. [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: https://www.toolholdershop.com/angular_head_for_cnc_machining_centers/angle_head_universal
- [16] Nabídkový list na horizontální soustruh SP 50 CNC. Čelákovice: CZ.TECH Čelákovice a.s., 2021
- [17] Aktuální nabídka společnosti CZ.TECH. In: *Cztech.cz* [online]. Čelákovice: CZ.TECH Čelákovice a.s., 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.cztech.cz/index.php/cs/ke-stazeni>
- [18] VDI Universal Head. In: *Toolholdershop.com* [online]. Richmond Hill: Tool Holder Shop Inc. [cit. 2021-06-02]. Dostupné z: https://www.toolholdershop.com/tool_holder_driven_live_tooling/vdi_universal_head

- [19] The original quick jaw change power chuck KNCS-NB. In: *SMW-Autoblok.de* [online]. Meckenbeuren: SMW-Autoblok Spannsysteme GmbH, 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://smw-autoblok.de/index.php?option=com_docman&view=document&alias=891-03-kncs-nb&category_slug=catalog-16e&Itemid=410&lang=en
- [20] Coromant Capto. In: *Sandvik.Coromant.com* [online]. Praha: Sandvik CZ s.r.o. [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto/pages/default.aspx
- [21] Katalog nástrojový systém. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [22] Katalog soustružení. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [23] Katalog frézování. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [24] Katalog monolitní karbidové frézy. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [25] Katalog obrábění otvorů. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [26] Katalog závitování. In: *Secotools.com* [online]. Brno: Seco Tools CZ s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/84565>
- [27] JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4370-9.
- [28] MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01864-6.
- [29] BAUER, Miroslav. *Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 978-80-265-0029-2.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Tabulka 67: Seznam použitých zkratk

Zkratka	Vysvětlení
Al	Hliník
CNC	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
Cr	Chrom
ČSN	Česká státní norma
DIN	Německá národní norma
EN	Evropská norma
HEC	Heckert
hod.	Hodina
HRC	Tvrдость podle Rockwella metodou C
Kč	Korun českých
kW	Kilowatt
min	Minuta
mm	Milimetr
Mo	Molybden
N	Dusík
NC	Numeric Control – číslicové řízení
Ni	Nikl
Nm	Newton metr
ot.	Otáčky
s	Sekunda
Ti	Titan

Tabulka 68: Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Název
C_E	Kč/hod.	Cena elektrické energie
C_s	Kč	Cena stroje
CFS_{EFPL}	hod./rok/směnu	Časový fond stroje
d	ks	Počet kusů v dávce
f_{ot}	mm/ot.	Posuv na otáčku
f_z	mm/zub	Posuv na zub
HRP_{SP}	Kč/hod.	Hodinový režijní paušál společných střediskových nákladů
k_C	-	Přirážka směnového času
k_{US}	-	Koeficient oprav a údržby stroje
k_{VS}	-	Koeficient časového využití stroje
K_{ZKR}	-	Koeficient zkreslení
M_o	Kč/hod.	Mzda operátora včetně odvodů
M_s	Kč/hod.	Mzda seřizovače včetně odvodů
n	ot./min	Otáčky
N	Kč	Výrobní náklady

Symbol	Jednotka	Název
N_B	Kč	Dávkové náklady
N_{hs}	Kč/hod.	Hodinové náklady na provoz stroje
N_n	Kč	Náklady na nástroje
N_{op}	Kč	Operační náklady
N_s	Kč	Náklady na strojní práci
N_{vn}	Kč	Náklady na výměnu nástroje
N_{SZ}	Kč	Náklady na speciální zařízení
N_v	Kč	Náklady na vedlejší práci
O_s	Kč/hod.	Odpis stroje
SM	-	Směnnost
t_A	min	Jednotkový čas
t_{BC}	min	Dávkový čas
U_H	Kč/hod.	Hodinová úspora investice
U_N	Kč	Úspora operačních nákladů
U_t	min	Časová úspora
Z_N	roky	Návratnost investice
Z_s	roky	Životnost stroje

Seznam obrázků

Obrázek 1: Logo firmy Wikov Industry a.s. [1]	10
Obrázek 2: Model zadané součásti	11
Obrázek 3: Obráběcí centrum HEC 1600 [5]	16
Obrázek 4: Soustruh Geminis GHT 6 [7]	16
Obrázek 5: Obráběcí centrum HEC 800 [9]	17
Obrázek 6: Obráběcí centrum HEC 800 X5 [8]	18
Obrázek 7: Pohyby os v centru HEC 800 X5 [8]	19
Obrázek 8: Obráběcí centrum HEC 800 X5 ve společnosti Wikov MGI a.s. [11]	20
Obrázek 9: Vertikální soustruh TDZ Turn VSC 800LC ve společnosti Zapro profi s.r.o. [13]	21
Obrázek 10: Schéma stroje TDZ Turn VSC 800LC APC [14]	22
Obrázek 11: Úhlová nástrojová hlava pro stroj VSC 800LC APC k možnosti šikmého obrábění [15]	23
Obrázek 12: Horizontální soustruh CZ.TECH SP 50 CNC [16]	24
Obrázek 13: Revolverová nástrojová hlava TBMA 250 [16]	25
Obrázek 14: Úhlová nástrojová hlava pro stroj SP 50 CNC k možnosti šikmého obrábění [18]	25
Obrázek 15: Sklíčidlo KNCS-NB [19]	26

Obrázek 16: Modulární upínací systém Capto pro použití v revolverové hlavě [21]	28
Obrázek 17: Systém Capto s rozhraním SK50 na stroji společnosti TDZ Turn [12]	29
Obrázek 18: Redukce C8-391.02-63055A pro držáky Capto C6 vnitřních nožů [21]	31
Obrázek 19: Graf srovnání časů výroby operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1	54
Obrázek 20: Graf srovnání časů výroby operace Soustružení 2	56
Obrázek 21: Graf srovnání časů výroby operace Soustružení 3	57
Obrázek 22: Graf srovnání časů výroby operací Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2	58
Obrázek 23: Graf srovnání celkových časů na výrobu jednoho kusu z časových studí	60
Obrázek 24: Graf srovnání celkových časů na výrobu jedné dávky 25 kusů z časových studí.....	60
Obrázek 25: Graf srovnání operačních nákladů operace soustružení 1 + frézování a vrtání 1	72
Obrázek 26: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 2	74
Obrázek 27: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 3	76
Obrázek 28: Graf srovnání operačních nákladů operace Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2	79
Obrázek 29: Graf srovnání celkových nákladů na výrobu jednoho kusu	80
Obrázek 30: Graf srovnání vypočtených časových úspor na výrobu jednoho kusu.....	84
Obrázek 31: Graf srovnání vypočtených úspor operačních nákladů na výrobu jednoho kusu	85
Obrázek 32: Graf srovnání vypočtených hodinových úspor operačních nákladů	85
Obrázek 33: Graf srovnání návratností nákladů investic do jednotlivých variant.....	87

Seznam tabulek

Tabulka 1: Sled operací současné výroby	13
Tabulka 2: Parametry destičky vnějšího hrubovacího nože [22]	29
Tabulka 3: Parametry držáku Capto C6 vnějšího hrubovacího nože [22].....	29
Tabulka 4: Parametry držáku Capto C8 vnějšího hrubovacího nože [22].....	30
Tabulka 5: Parametry destičky vnějšího dokončovacího nože [22]	30
Tabulka 6: Parametry držáku Capto C6 vnějšího dokončovacího nože [22]	30

Tabulka 7: Parametry držáku Capto C8 vnějšího dokončovacího nože [22]	30
Tabulka 8: Parametry držáku Capto C6 vnitřního hrubovacího nože [22]	31
Tabulka 9: Parametry držáku Capto C6 vnitřního dokončovacího nože [22].....	32
Tabulka 10: Parametry hlavičky Minimaster MM16 [23].....	32
Tabulka 11: Parametry stopky Minimaster MM16 [23]	32
Tabulka 12: Upínací systém Weldon pro upnutí frézy MM16 [21]	33
Tabulka 13: Parametry monolitní frézy D20 [24].....	33
Tabulka 14: Upínací systém Weldon pro upnutí frézy D20 [21]	34
Tabulka 15: Parametry tělesa vrtáku D70 [25].....	35
Tabulka 16: Parametry obvodové destičky vrtáku D70 [25]	35
Tabulka 17: Parametry středové destičky vrtáku D70 [25].....	35
Tabulka 18: Upínací systémy Weldon pro upnutí vrtáku D70 [21].....	35
Tabulka 19: Parametry vyvrtávací hlavy [25]	36
Tabulka 20: Parametry kazety obráběcí hlavy [25]	36
Tabulka 21: Parametry destičky vyvrtávací tyče [25]	36
Tabulka 22: Upínací systémy Graflex pro upnutí vyvrtávací tyče D90 [21]	37
Tabulka 23: Parametry vrtáku D14 [25]	37
Tabulka 24: Parametry srážecího modulu vrtáku D14 [25]	38
Tabulka 25: Kleštinová sklíčidla pro upnutí vrtáku D14 [21].....	38
Tabulka 26: Parametry vrtáku D14,5 [25]	38
Tabulka 27: Kleštinová sklíčidla pro upnutí vrtáku D14,5 [21].....	39
Tabulka 28: Parametry vrtáku D5 [25]	39
Tabulka 29: Parametry závitníku M16 [26]	40
Tabulka 30: Kleštinová sklíčidla TCER pro upnutí závitníků [21]	40
Tabulka 31: Parametry závitníku M16x1,5 [26].....	41
Tabulka 32: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem HEC 800 X5 MT	41
Tabulka 33: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem HEC 800 X5 MT.....	42
Tabulka 34: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem VSC 800LC APC	42
Tabulka 35: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem VSC 800LC APC	43
Tabulka 36: Sled operací výrobního postupu varianty se strojem SP 50 CNC.....	43
Tabulka 37: Redukce počtu pracovišť obrábění u varianty se strojem SP 50 CNC.....	44
Tabulka 38: Sled operací výrobního postupu současné výroby s označením změn nových variant.....	45

Tabulka 39: Výrobní postup operace 20 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC	46
Tabulka 40: Výrobní postup operace 30 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC	46
Tabulka 41: Výrobní postup operace 150 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC	47
Tabulka 42: Výrobní postup operace 160 pro stroje HEC 800 X5 MT a VSC 800 LC APC	47
Tabulka 43: Výrobní postup operace 10 pro stroj HEC 1600	48
Tabulka 44: Výrobní postup operace 30 pro stroj SP 50 CNC	48
Tabulka 45: Výrobní postup operace 40 pro stroj SP 50 CNC	49
Tabulka 46: Výrobní postup operace 160 pro stroj SP 50 CNC	49
Tabulka 47: Výrobní postup operace 170 pro stroj SP 50 CNC	50
Tabulka 48: Výrobní časy současné výroby	52
Tabulka 49: Časová studie varianty se strojem HEC 800 X5 MT	53
Tabulka 50: Časová studie varianty se strojem VSC 800LC APC.....	53
Tabulka 51: Časová studie varianty se strojem SP 50 CNC	53
Tabulka 52: Srovnání časových studií operací Soustružení 1 + Frézování a vrtání 1	54
Tabulka 53: Srovnání časových studií operace Soustružení 2.....	55
Tabulka 54: Srovnání časových studií operace Soustružení 3.....	57
Tabulka 55: Srovnání časových studií operací Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2.....	58
Tabulka 56: Srovnání celkových časů na výrobu jednoho kusu.....	59
Tabulka 57: Srovnání celkových časů na výrobu jedné dávky 25 kusů.....	60
Tabulka 58: Určení koeficientu časového využití stroje k_{vs} [28].....	64
Tabulka 59: Společné vstupní hodnoty položek pro výpočty nákladů	67
Tabulka 60: Vstupní hodnoty položek pro výpočty nákladů pro navržené stroje	68
Tabulka 61: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 1+ Frézování a vrtání 1	72
Tabulka 62: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 2	74
Tabulka 63: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 3	76
Tabulka 64: Vypočtené náklady na výrobu v operaci Soustružení 4 + Frézování a vrtání 2	79
Tabulka 65: Celkové náklady na výrobu jednoho kusu obrobku	80
Tabulka 66: Výsledné vypočtené úspory nově navržených variant.....	84

Tabulka 67: Seznam použitých zkratk	95
Tabulka 68: Seznam použitých symbolů	95

Seznam příloh

Příloha 1: Výkres řešené součásti

Příloha 2: Materiálový list oceli 18CrNiMo7-6 [3]

Příloha 3: Výkres polotovaru součásti

Příloha 4: Specifikace stroje HEC 800 X5 MT z kupní smlouvy společnosti Wikov MGI a.s. [10]

Příloha 5: Nabídka na vertikální soustruh VSC 800LC APC včetně specifikace [14]

Příloha 6: Nabídka na horizontální soustruh SP 50 CNC včetně specifikace [16]