



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU OBRÁBĚNÍ  
VNITŘNÍHO OZUBENÍ**

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF MACHINING PROCESS OF INNER GEARING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Jiří Hoffmann

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Jiří Hoffmann</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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

## Návrh na zefektivnění procesu obrábění vnitřního ozubení

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce bude návrh na zefektivnění procesu obrábění korunového kola s vnitřním ozubením. Součástí bude analýza stávajících technologií výroby této součásti a návrh řešení vedoucí k zefektivnění výrobního procesu. Práce bude obsahovat také popis a rozbor jednotlivých pracovišť potřebných pro výrobu daného ozubení. V závěru práce bude provedeno technicko–ekonomické zhodnocení včetně porovnání a rozboru stávajícího a nově navrženého řešení.

### Cíle diplomové práce:

1. Rozbor a charakteristika technologií pro výrobu ozubení.
2. Analýza současného stavu technologie výroby.
3. Návrh inovace výrobního procesu.
4. Technicko–ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

CHANG, T., R. WYSK a H. WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 684 pp. ISBN 0-13-142919-1.

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

KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

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

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Předmětem této studie je návrh na zefektivnění procesu výroby unašeče s vnitřním ozubením. V úvodu práce jsou popsány některé druhy ozubení. Druhá kapitola je zaměřena na rozbor vyráběného dílu a pracovišť pro výrobu. Třetí kapitola obsahuje popis technologických metod výroby ozubení konvenčními a nekonvenčními metodami. Praktická část práce obsahuje návrh inovace výrobního procesu výroby ozubení. V závěru je provedeno technicko–ekonomické zhodnocení včetně porovnání stávajícího a nově navržených řešení.

### Klíčová slova

ozubené kolo, vnitřní ozubení, výroba ozubení, obrázení, Power Skiving

## ABSTRACT

The subject of this study is a proposal to streamline the production process of gear with internal gear. At the beginning of the thesis are described some types of gearing. The second chapter is focused on the analysis of manufactured part and workplaces for production. The third chapter contains description of technological methods of gearing production by conventional and unconventional methods. The main point of this work is a proposal of innovation of the production process of gearing production. In conclusion, technical-economic evaluation including a comparison of existing and newly designed solutions.

### Key words

gear, internal gear, gear manufacturing, shaping, Power Skiving

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOFFMANN, Jiří. *Návrh na zefektivnění procesu obrábění vnitřního ozubení*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113019>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh na zefektivnění procesu obrábění vnitřního ozubení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Jiří Hoffmann

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. a panu Ing. Petru Růžičkovi a ostatním zaměstnancům firmy Wikov MGI a.s. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. V neposlední řadě děkuji celé rodině za podporu po dobu mého studia.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ .....	4
PODĚKOVÁNÍ .....	5
OBSAH .....	6
ÚVOD.....	8
1 ZUBENÁ KOLA, SOUKOLÍ A ZÁKLADNÍ POJMY .....	9
1.1 Druhy ozubení.....	10
1.1.1 Evolventní ozubení.....	10
1.1.2 Cykloidní ozubení.....	11
1.1.3 Wildhaber – Novikovo ozubení.....	12
1.2 Ozubené soukolí s rovnoběžnými osami.....	13
1.3 Ozubená kola s různoběžnými a mimoběžnými osami .....	14
1.4 Základní pojmy.....	14
2 ROZBOR SOUČÁSTI .....	17
2.1 Zařazení do montážního celku .....	17
2.2 Popis součásti.....	17
2.3 Rozbor ozubení.....	17
2.4 Materiál a jeho další zpracování .....	18
2.5 Rozbor technologického postupu součásti.....	19
3 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÍ .....	23
3.1 Odvalovací obrázení .....	23
3.1.1 Princip technologie .....	23
3.1.2 Nástroje pro metodu obrázení Fellows .....	24
3.2 Technologie protahování.....	25
3.2.1 Princip technologie .....	25
3.2.2 Řezný nástroj, obráběcí stroj.....	26
3.2.3 Nevýhody technologie protahování .....	27
3.3 Elektroerozivní obrábění drátovou elektrodou.....	27
3.3.1 Princip technologie .....	27
3.3.2 Řezný nástroj, obráběcí stroj.....	28
3.3.3 Výhody elektrojiskrového obrábění.....	29
3.4 Technologie frézování ozubení – Power Skiving .....	30
3.4.1 Princip technologie Power Skiving.....	30
3.4.2 Nástroje – rozbor geometrie .....	32

3.4.3	Strojní zařízení .....	33
3.4.4	Metody řízení, programování.....	34
3.5	Kontrola ozubených kol.....	35
4	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY .....	37
4.1	Popis výrobního stroje.....	37
4.2	Upínací přípravek.....	37
4.3	Rozbor obrážecího nástroje .....	37
4.4	Určení řezných parametrů a výpočet strojního času .....	38
4.4.1	Výpočet parametrů pro obrážení ozubení .....	38
4.4.2	Výpočet strojního času .....	40
4.5	Výpočet nákladů na jeden obrobený kus .....	41
5	INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU.....	44
5.1	Výpočet nákladů na hodinu provozu obrážecího stroje OHA 50 CNC 5 ..	44
5.2	Náklady na jeden obrobený kus při výrobě na stroji OHA 50 CNC 5 .....	46
5.3	Výpočet nákladů na hodinu provozu stroje Gleason 600PS .....	47
5.4	Náklady na jeden obrobený kus při výrobě na stroji Gleason 600PS.....	49
6	TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	51
6.1	Porovnání stávajícího a nově navržených technologií .....	51
6.2	Zhodnocení návratnosti investice.....	53
6.3	Technicko–ekonomické zhodnocení dílčích variant .....	55
	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	61
	SEZNAM PŘÍLOH.....	64

## ÚVOD

Ozubená kola jsou ve strojních konstrukcích jednou ze základních součástí. Přitom jsou to součásti poměrně náročné, nejen z hlediska teoretického, konstrukčního, ale také výrobního a ekonomického. Ozubená soukolí jsou nejčastěji používané převody pro přenos mechanické energie a pohybu mezi hnací a hnanou částí stroje. Umožňují změnu vstupních a výstupních otáček, změnu kroutícího momentu, možnost výsledného směru otáček nebo převodu pohybu rotačního na pohyb přímočarý a opačně [1].

V současné době se lze setkat s ozubenými převody téměř ve všech výrobních odvětvích. Různé ozubené mechanismy se nalézají v největší míře v automobilovém, leteckém, energetickém průmyslu či v přesných měřicích přístrojích, jelikož u těchto mechanismů nedochází k prokluzu. Vzhledem k širokému využití ozubených kol jsou na ně kladeny vysoké nároky. Např. z hlediska hmotnosti, požadavků na přenášený výkon, hlučnosti soukolí a v neposlední řadě životnosti. Tyto neustále rostoucí požadavky na zvyšování únosnosti a na snižování hlučnosti ozubení vedou k přijetí řady opatření při konstrukci a vlastní výrobě, kterou může ovlivnit mnoho faktorů. Je nutné dbát na zvolení nejvýhodnější technologie výroby v závislosti na vhodné volbě strojů, nástrojů a kvalifikaci obsluhy [1, 2].

Ozubená kola určitým způsobem symbolizují strojírenství, svědčí o tom loga mnoha institucí a firem. Jednou z nich je i firma Wikov MGI a.s., se kterou ve spolupráci vznikla tato diplomová práce [1].

## 1 ZUBENÁ KOLA, SOUKOLÍ A ZÁKLADNÍ POJMY

Ozubená kola jsou jedním z nejdůležitějších částí strojů. Bez těchto součástí by nebylo mnohdy možné přenášet krouticí momenty, měnit otáčky a vůbec dobře sloužit k požadovanému účelu [3].

Převod ozubenými koly je možné rozdělit na převod jednoduchý a na převod složený. Jednoduchý převod je tvořen jedním párem ozubených kol, který se skládá z kol, ve většině případů, rozdílného průměru. Menší kolo se nazývá pastorkem a větší kolem. Pokud spolu zabírají dvě ozubená kola, lze převod také nazvat jednoduchým soukolím. Jestliže je v záběru více párů kol, jedná se o soukolí složené [3, 4].

Ozubeným soukolím je myšlen tří členný mechanismus, který se skládá z páru spolu zabírajících kol a pevně ukotveným rámem, kterým prochází osy obou kol. Rám spolu s ozubenými koly vytváří obecnou kinematickou dvojici. U ozubených kol na rozdíl od dalších druhů převodů nenastává prokluz. Aby převody ozubenými koly splňovaly správně svou funkci, musí být během jedné otáčky konstantní převodový poměr. Hnací a hnané kolo se otáčí rovnoměrně. Při výrobě se dbá na to, aby byla ozubená kola co nejlevnější, ale zároveň přesná a jejich kontrola co nejjednodušší. Ozubené soukolí má vysokou únosnost a musí splňovat požadavky na plynulý a tichý chod [3, 4].

Díky využívání v mnoha různých aplikacích se vyvíjel i samotný tvar zubu. První ozubená kola používala na obvodu např. dřevěné válcové kolíky (obr. 1.1). V současné době se používají různé druhy ozubení, které se liší tvarem boku zubů. Mezi nejpoužívanější patří ozubení evolventní, dále cykloidní, Wildhaber-Novikovo. Dále můžeme narazit na další druhy ozubení, především u kuželových kol. Např. Gleason, Klingelberg či Orelikon [3].



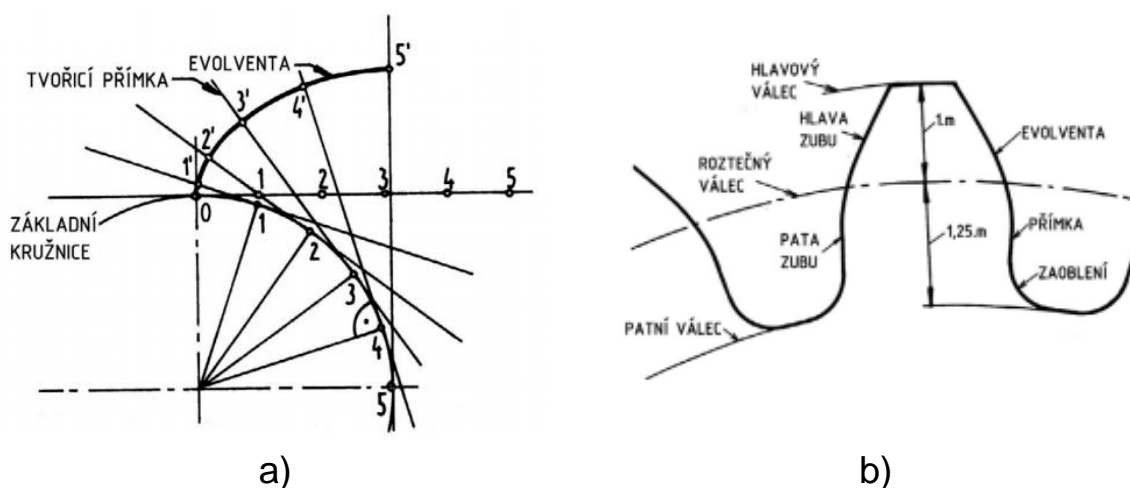
Obr. 1.1 Dřevěné ozubené soukolí [5].

## 1.1 Druhy ozubení

V této části jsou blíže popsány některé druhy ozubení dle jeho čelní profilové křivky.

### 1.1.1 Evolventní ozubení

Evolventní ozubení je v současné době nejrozšířenějším typem používaným prakticky ve všech odvětvích průmyslu. Jak již napovídá název tvar boku zubu je odvozen od evolventy, což je křivka, která vzniká odvalováním přímky po kružnici viz obr. 1.2 [3].



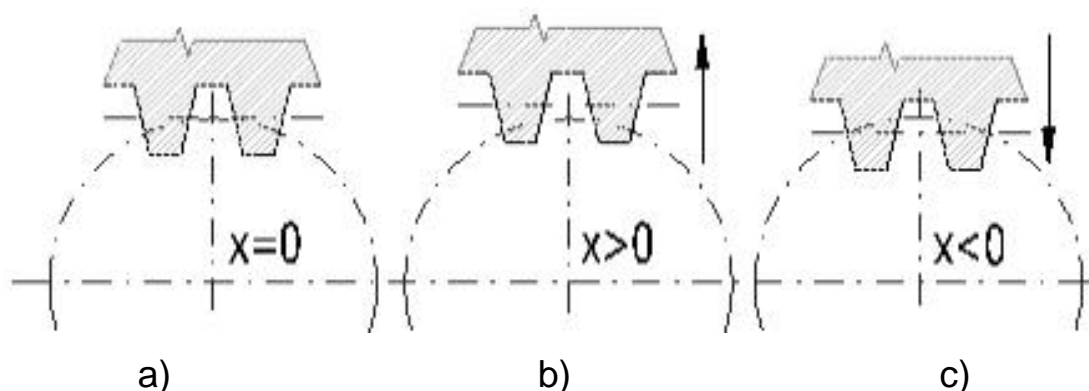
Obr. 1.2 Evolventní ozubení [6]: a) konstrukce evolventy b) profil zubu čelního kola.

Mezi výhody evolventního ozubení patří necitlivost k úchytkám od teoretické vzdálenosti os a nízké ztráty třením. Jednoduchá výroba a dobrá normalizace obráběcích nástrojů pro výrobu ozubení [7].

U Evolventního ozubení je možné dělat korekční úpravy. Jedná se o změnu tvaru zubů. Ty slouží např., když je zapotřebí přesné osové vzdálenosti. Dále se používá proti zabránění podřezání paty zubů u ozubeného kola s malým počtem zubů, nebo zesílení zubů u kořene. Korekce zubů má také vliv na vyrovnání, popřípadě zmenšení měrných skluzů či snížení měrných tlaků. Korigovat lze několika způsoby [3, 7]:

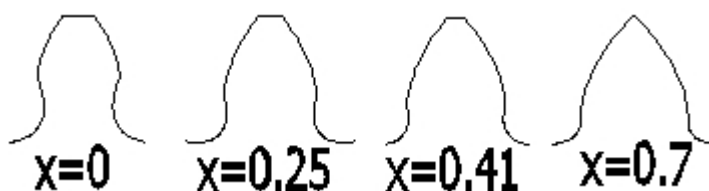
- posunutím profilu, resp. nástroje,
- zvětšením úhlu záběru nástroje,
- snížením výšky zubu.

Nejčastější je korekce pomocí posunutí profilu, jelikož při výrobě odvalovací metodou není třeba zvláštních nástrojů. Korekce je kladná, pokud je nástroj vysunut ze záběru, tj. dále od středu kola, oproti běžnému ozubení u kol s vnějším ozubením, a naopak u vnitřního ozubení je-li nástroj blíže ke středu kola. Naopak záporná korekce znamená, pokud je nástroj více zasunutý do záběru. Tato metoda je znázorněna na obr. 1.3 [3, 8].



Obr. 1.3 Princip výroby korigovaného kola [8]: a) nekorigované kolo, b) kladná korekce, c) záporná korekce.

Volbou korekčního součinitele je možné dosáhnout požadovaného tvaru zubu. Jeho vliv je znázorněn na obr. 1.4. Jedná se o příklad, kdy při nulové korekci  $x = 0$  dochází k podřezání paty zubu. To může být způsobeno, jak již bylo zmíněno výše u kola s malým počtem zubů, většinou u kol které mají méně než 17 zubů. Jedná se o nežádoucí jev, jelikož je tímto zub oslaben v místě největšího ohybového zatížení. Naopak při zvolení korekčního součinitele  $x = 0,7$  dochází ke špičatění zubu. Špičatost je nebezpečná, protože působící síla může způsobit lom zubu v horní části. V praxi se vyžaduje ploška, alespoň malé šířky na hlavách zubů [3, 7].

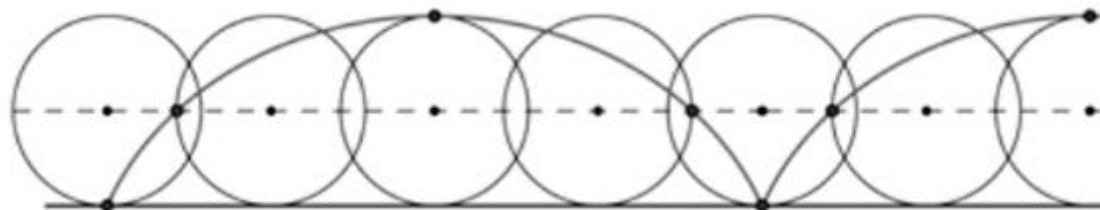


Obr. 1.4 Vliv korekčního součinitele na tvar zubu [8].

Při stanovení těchto hodnot je zapotřebí nejprve splnit funkční požadavky. Mezi nejdůležitější patří: požadovaná osová vzdálenost (daný součet obou korekcí), vyloučení podřezání a špičatění zubů. Po zajištění funkčních požadavků je možné dále korekce optimalizovat ke zlepšení jednoho či více důležitých parametrů [3, 8].

### 1.1.2 Cykloidní ozubení

Cykloidní ozubení bylo předchůdcem evolventního ozubení, které bylo široce využíváno v hodinových mechanismech. Právě evolventní ozubení nahradilo cykloidní tvar zubu v mnoha oblastech. Přesto existuje několik příkladů aplikace cykloidního ozubení nejen v nástrojích, ale i v zařízeních, kde mají stále svoje výhody. Využívá se např. v hodinových mechanismech, přesné mechanice, tak i jako rotory šroubových kompresorů a pump. Tvar boku zubu je tvořen cykloidou, která vzniká pomocí pevného bodu na kružnici, která se odvaluje po rovinné ploše tzn. přímce viz obr. 1.5 [3, 9].

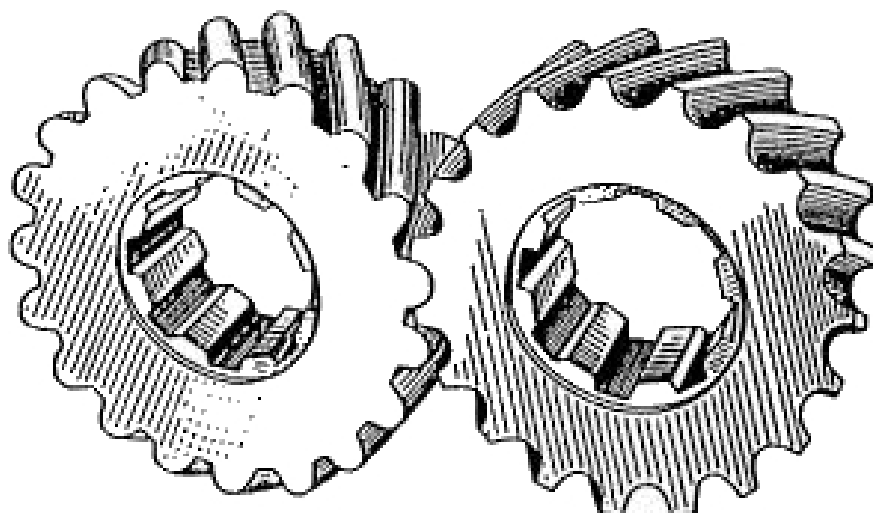


Obr. 1.5 Konstrukce cykloidy [10].

U cykloidního tvaru zubu dochází oproti evolventnímu k menšímu tření, čímž je zajištěn rovnoměrný chod a menší opotřebení. S tím také souvisí i delší životnost. Základními nevýhodami je nutnost dodržení přesné osové vzdálenosti spolu zabírajících kol pro konstantní převodový poměr, nákladnější a technicky náročnější výroba vzhledem ke složitému tvaru zubu [3, 9].

### 1.1.3 Wildhaber – Novikovo ozubení

Novikovo ozubení lze charakterizovat jako bodové ozubení se šroubovými zuby o kruhovém profilu v čelní (normálové) rovině, přičemž zakřivení boku zubu nemá stejný poloměr. Hlavní výhodou tohoto ozubení je schopnost přenosu velkých výkonů, krouticích momentů při relativně malých rozměrech převodu, za poměrně vysoké životnosti a vysoké mechanické účinnosti. Další výhodou je možnost použití malého počtu zubů bez nebezpečí podřezání, jako je tomu u evolventního ozubení (viz kap. 1.1.1), např.  $z = 5$ . Příčina spočívá v kontaktu mezi zakřivenými plochami zubů, které se díky svému tvaru v jednom bodě teoreticky dotýkají. Spolu zabírající kola mají totiž rozdílný profil zubu. Jedno kolo má vypouklý (konkávni) a druhé vydutý (konvexní) tvar boku zubu. Při zatížení je pak kontakt mezi zuby výrazně větší nežli u evolventního ozubení, díky čemuž lze použít 2–3× větší zatížení, přičemž účinnost je 99,5 %. Mezi nevýhody patří citlivost na nastavení osové vzdálenosti, přesnost výroby, náročnost na tuhost uložení a hlučnost při vyšších otáčkách. Wildhaber – Novikovo ozubení je zobrazeno na obr. 1.6 [3, 11].

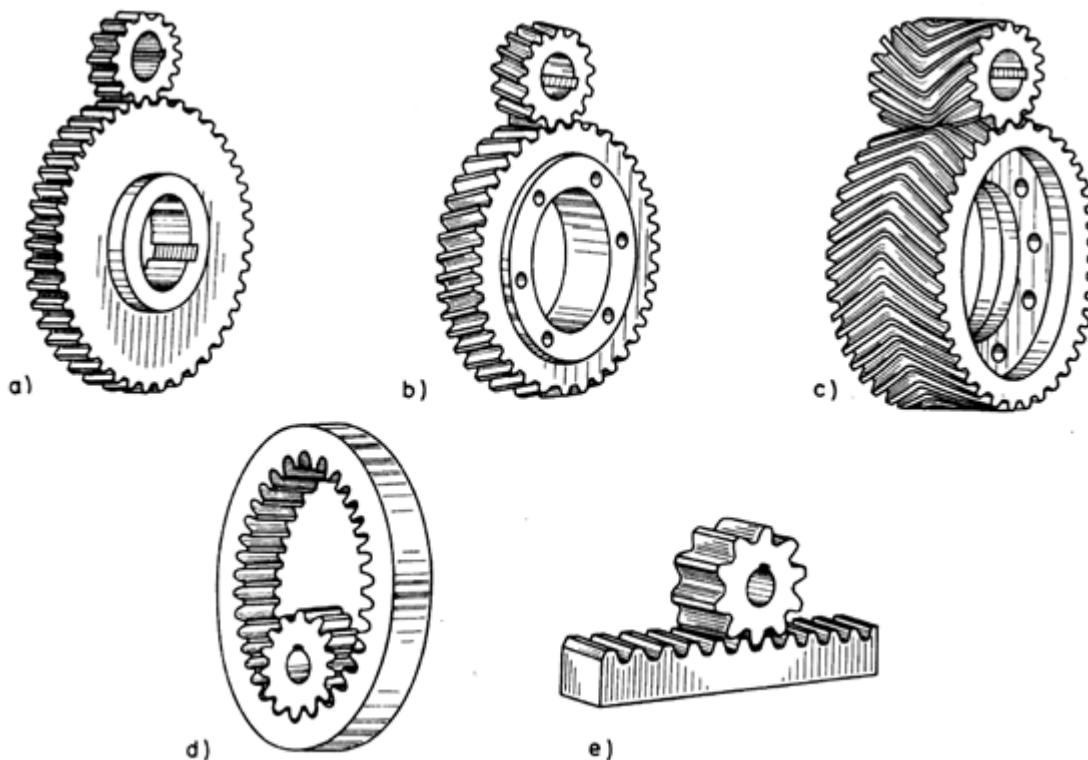


Obr. 1.6 Wildhaber – Novikovo ozubení [12].

## 1.2 Ozubené soukolí s rovnoběžnými osami

Jedná se o nejrozšířenější kategorii ozubených kol. Už podle názvu lze vyvodit, že osy pastorku a ozubeného kola jsou rovnoběžné. U tohoto typu ozubeného převodu převažuje valivý pohyb zubů nad jejich kluzem. Tvar velkých kol s vnějším ozubením je možné rozčlenit na věnec, který je tvořen zuby, vnitřní disk a náboj. Převodový poměr  $i$ , určuje poměr mezi počtem zubů pastorku a velkého kola [3].

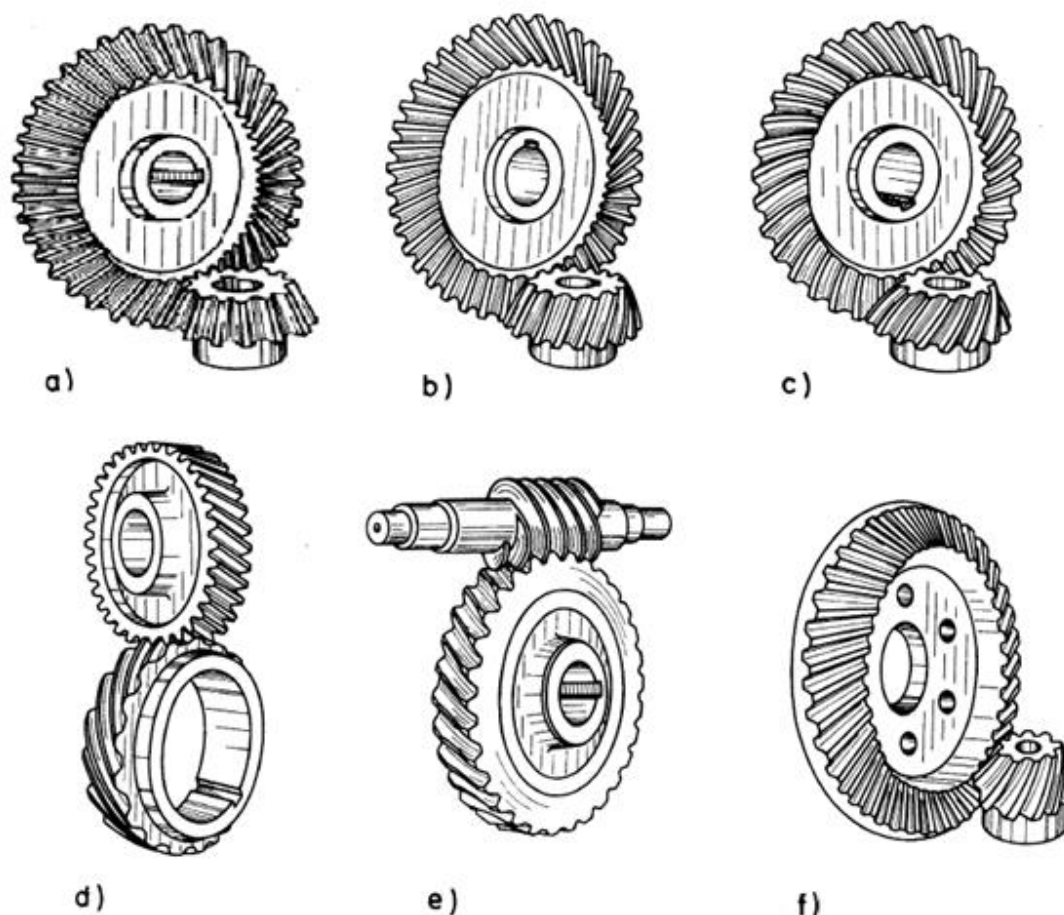
V praxi je nejčastěji využíváno válcového soukolí (obr. 1.7 a) s přímými zuby pro jeho jednoduchost. Dále válcové soukolí se šikmým ozubením (obr. 1.7 b), které má výhodu v tišším chodu oproti soukolím s přímými zuby. Doporučený úhel sklonu zubů je od  $6^\circ$  do  $40^\circ$ . Tišší a klidnější chod je důsledkem styku několika zubů najednou. Proto jsou kola používána pro přenos větších krouticích momentů a pro větší obvodové rychlosti, až  $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nevýhodou je vznik osové síly, která musí být kompenzována vhodnými ložisky nebo soukolím s opačným sklonem zubů. Tato osová síla je eliminována u soukolí se šípovými zuby (obr. 1.7 c). Mezi soukolí s rovnoběžnými osami patří také ozubený hřeben (obr. 1.7 e) sloužící pro převod rotačního na přímočarý pohyb. U vnějšího soukolí dochází k zápornému převodovému poměru  $i$ , což je způsobeno změnou směru otáček kola a pastorku. Tento poměr je kladný u soukolí s vnitřním ozubením (obr. 1.7 d), kde je pastorek uvnitř ozubeného kola. Hlavním rozdílem je tvar zubu u vnitřního ozubení, který odpovídá tvaru zubové mezery u kola s vnějším ozubením stejných parametrů, viz kap. 2.3 [3, 11].



Obr. 1.7 Soukolí s rovnoběžnými osami [11]: a) vnější přímé; b) vnější šikmé, c) šípové ozubení, d) vnitřní ozubení, e) ozubený hřeben.

### 1.3 Ozubená kola s různoběžnými a mimoběžnými osami

Do této kategorie se řadí několik variant kuželových soukolí. Nejčastěji je úhel spolu zabírajících kol  $90^\circ$ , ale může být prakticky libovolný. V mnoha odvětvích průmyslu např. automobilovém se v širokém rozsahu používají kuželová kola s přímými zuby (obr. 1.8 a). Kuželová kola se šikmými zuby proti přímým zubům u kuželových kol vykazují klidnější chod a jsou schopna přenášet větší kroutící momenty (obr. 1.8 b). Dalšími druhy jsou kola se zakřivenými zuby (obr. 1.8 c). Šroubová válcová, šneková a šroubová kuželová soukolí, jedná-li se o soukolí s mimoběžnými osami (obr. 1.8 d, e, f) [3, 11].



Obr. 1.8 Soukolí s různoběžnými a mimoběžnými osami s [11]: a) přímými, b) šikmými, c) zakřivenými zuby, d) šroubová válcová, e) šneková, f) šroubová kuželová soukolí.

### 1.4 Základní pojmy

Pro popis ozubení slouží v oblasti výroby následující termíny [7]:

- modul – je základní veličina všech rozměrů ozubení, které se vyjadřují v násobcích modulu,
- roztečná kružnice – kružnice, na níž je rozteč rozdělena rovnoměrně na zub a mezeru,

- hlavová kružnice – kružnice opsaná hlavám zubů (vně u vnějšího a uvnitř u vnitřního ozubení),
- patní kružnice – kružnice vepsaná na dně zubových mezer,
- základní kružnice – kružnice, ze které jsou odvozeny evolventy profilů zubů (pro případ evolventní ozubení),
- profil zubu – tvoří jej boky a oblouk hlavové kružnice,
- zubová mezera – je prostor mezi dvěma sousedními zuby,
- výška zubu – je součtem výšky hlavy a paty zubu, jejich rozmezí tvoří roztečná kružnice,
- tloušťka zubu a zubové mezery – udává délka oblouku na roztečné kružnici,
- rozteč – součet tloušťky zubu a zubové mezery na roztečné kružnici,
- rozteč normálná – měřena v kolmém řezu ozubením,
- rozteč čelní – měřená v rovině kolmé k ose kola.

Pro výpočet parametrů běžného vnějšího ozubeného kola slouží následující vzorce [3]:

Modul ozubeného kola se volí dle výpočtu únosnosti ozubeného kola. Základní hodnoty modulu jsou normalizovány dle ČSN 01 4608 viz tab. 1.1 [7].

Tab. 1.1 Moduly ozubení dle normy ČSN 01 4608 [7].

0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
8	9	10	11	12	12	14	15	16	18	20	22	24
27	30	33	36	39	42	45	50	55	60	65	70	75

Roztečná kružnice je určena vzorcem (1.1), kružnice hlavová je vypočtena dle vzorce (1.2). Velikost průměru patní kružnice určuje vztah (1.3) [3]:

$$d = z \cdot m \quad (1.1)$$

kde: d [mm] – průměr roztečné kružnice,  
 z [-] – počet zubů,  
 m [mm] – modul.

$$d_a = d + 2h_a \quad (1.2)$$

kde: d<sub>a</sub> [mm] – průměr hlavové kružnice,  
 d [mm] – průměr roztečné kružnice,  
 h<sub>a</sub> [mm] – výška hlavy zubu.

$$d_f = d - 2h_f \quad (1.3)$$

kde:  $d_f$  [mm] – průměr patní kružnice,  
 $d$  [mm] – průměr roztečné kružnice,  
 $h_f$  [mm] – výška paty zubu.

Výška samotného zubu je určena vztahem (1.4). Převodový poměr  $i$ , je dán poměrem různých parametrů spolu zabírajících kol dle vzorce (1.5). Úhel záběru  $\alpha$  je také normalizován nejčastěji se používá hodnota  $20^\circ$  [3, 7]:

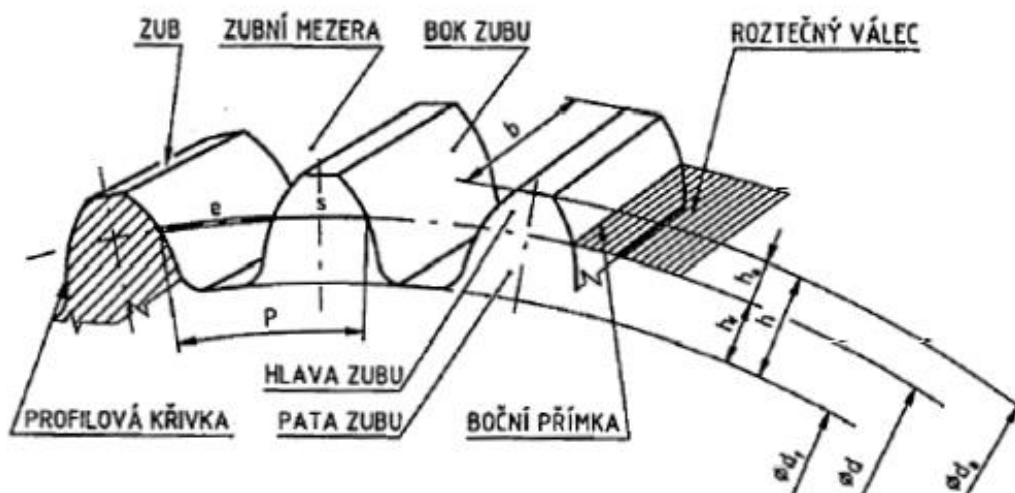
$$h = h_a + h_f = m + 1,25m = 2,25m \quad (1.4)$$

kde:  $h$  [mm] – výška zubu,  
 $h_a$  [mm] – výška hlavy zubu,  
 $h_f$  [mm] – výška paty zubu,  
 $m$  [mm] – modul.

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.5)$$

kde:  $i$  [-] – převodový poměr,  
 $z_{1,2}$  [-] – počet zubů spolu zabírajících kol,  
 $n_{1,2}$  [ot<sup>-1</sup>] – otáčky spolu zabírajících kol.

Výše zmíněné parametry jsou znázorněny na obr. 1.9 [13].



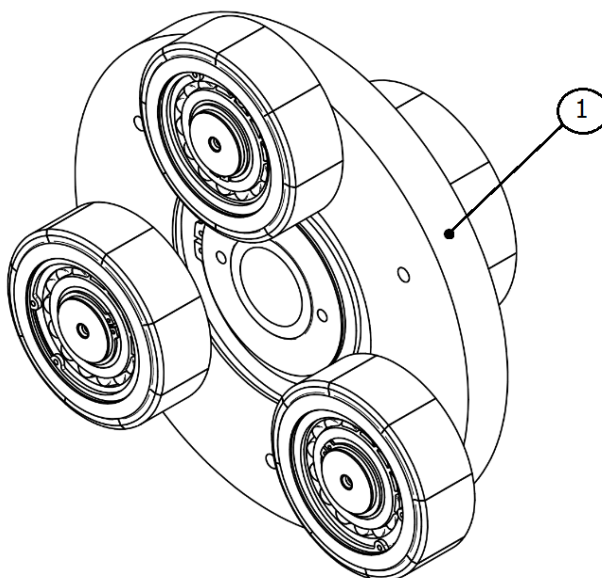
Obr. 1.9 Rozměry čelního soukolí s přímými zuby [13].

## 2 ROZBOR SOUČÁSTI

Tato kapitola si klade za cíl bližší seznámení s ozubeným kolem, které je předmětem této diplomové práce. Výrobní výkres tohoto dílce je součástí přílohy 1.

### 2.1 Zařazení do montážního celku

Tento dílec je součástí jednoho z převodových stupňů planetové převodovky. Sestava obsahující unašeč je na obr. 2.1 označen pozicí 1. Vnitřní ozubení na dílci slouží pouze k propojení unašeče s centrálním pastorkem, v tomto případě se po sobě ozubení neodvaluje.



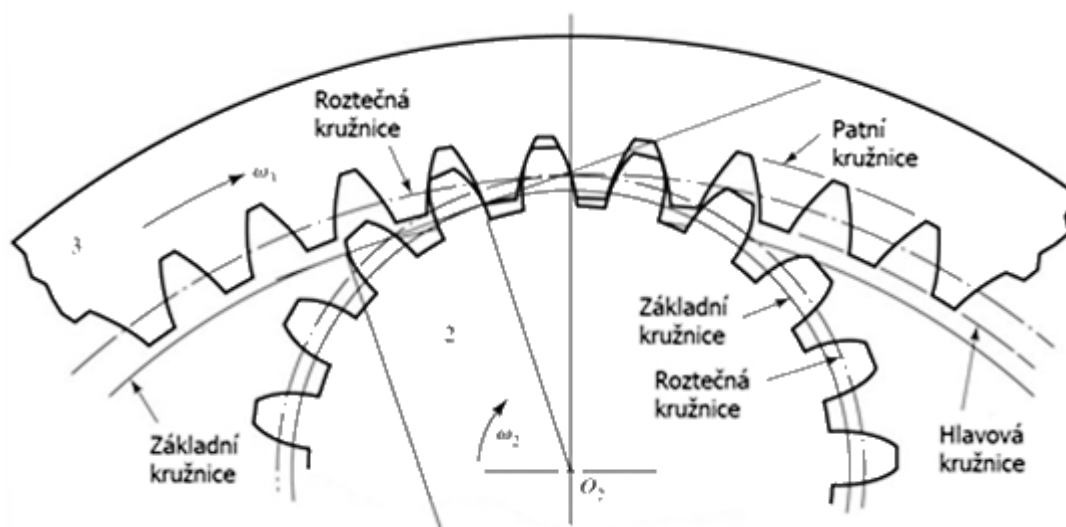
Obr. 2.1 Sestava jednoho ze stupňů planetové převodovky [14].

### 2.2 Popis součásti

Vyráběná součást je unašeč s vnitřním evolventním ozubením o vnějším průměru  $\varnothing$  350 mm a délce 35 mm. Vnitřní průměr kola (tj. průměr hlavové kružnice zubů)  $\varnothing$  147,55 mm je osazen vybráním o průměru  $\varnothing$  175 mm do hloubky 12 mm. Šířka ozubení je 22,5 mm. Na kole se nacházejí 3 průchozí otvory se závitem M12, které souží k manipulaci s dílcem. Otvory o  $\varnothing$  45 mm slouží k uchycení čepů na kterých jsou umístěny ozubená kola tzv. satelity planetové převodovky, viz obr. 2.1.

### 2.3 Rozbor ozubení

Na součásti se nachází vnitřní ozubení s evolventním profilem zubu (obr. 2.2). Po obvodu je rozmístěno 31 zubů modulu 5 mm. Z konstrukčních důvodů byl profil zubu snížen cca o 1 mm. A tak se průměr hlavové kružnice nerovná vnitřnímu rozměru o  $\varnothing$  147,55 mm.



Obr. 2.2 Soukolí s vnitřním ozubením – podle [15].

Vnitřní ozubení se liší od vnějšího tím, že u vnitřního jsou paty zubů vně a hlavy zubů uvnitř roztečné kružnice viz obr. 2.2. Obrysy boků zubů tvoří stejné křivky. Rozdílem je, že zuby mají stejný tvar, jako mají u vnějšího ozubení mezery a naopak. To znamená, že boky zubů jsou vyduté a jejich záběr s vypouklými boky zubů pastorku je výhodnější. Ozubení může být teoreticky trvanlivější díky menším měrným tlakům, také ztráty třením jsou menší [7].

Výhody převodu s vnitřním ozubením tkví ve větším součiniteli záběru, tím jsou zuby méně namáhány, a proto je možné volit menší moduly. Výhoda z hlediska konstrukce je v malé osové vzdálenosti, která je dána rozdílem roztečných poloměrů. Naopak konstrukční nevýhodou může být v nutnosti uložení jednoho z kol soukolí letmo a horší chlazení [7].

## 2.4 Materiál a jeho další zpracování

Výchozím materiálem pro výrobu ozubeného kola je ocel 42CrMo4. Jedná se o nízkolegovanou ušlechtilou chrom–molybdenovou ocel k zušlechťování. Tato ocel je dodávána v zušlechťovaném stavu s celým označením 42CrMo4+QT. Ekvivalentem jsou oceli značené dle DIN 1.7225, nebo dle ČSN 15 142. Podle chemického složení jsou oceli třídy 15 dle ČSN rozděleny do tří skupin: ušlechtilé nelegované oceli, oceli legované křemíkem, oceli legované chromem, popř. chromem a vanadem, nebo niklem. Obsah prvku v hmotnostních procentech je uveden v tab. 2.1. Kalicí teploty jsou od 820 °C do 860 °C a teploty popouštění od 540 °C do 680 °C [16].

Tab. 2.1 Chemické složení materiálu 42CrMo4 v hmotnostních % [17].

C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo
0,36–0,47	max. 0,43	0,56–0,94	max. 0,03	max. 0,04	0,85–1,25	0,12–0,33

Ocel 42CrMo4 patří k nejčastěji používané oceli k zušlechtění, díky vyšší prokalitelnosti, pro výše namáhané strojní díly s vysokou houževnatostí. Jako např. hřídele, klikové a pastorkové hřídele, čepy, šrouby nebo právě ozubená kola. Dle materiálového listu viz příloha 2, dosahuje tento materiál po zakalení tvrdosti přibližně 220–270 HB. Není náchylný k popouštěcí křehkosti a kalí se převážně do oleje, jelikož je náchylný ke vzniku trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení [16, 17].

## 2.5 Rozbor technologického postupu součásti

Technologický postup obsahuje následující operace:

- dělení materiálu,
- hrubovací soustružení otvoru  $\varnothing 147,55H8$  mm a sražení hran,
- zušlechtění,
- tryskání,
- soustružení  $\varnothing 350$  mm, zarovnání čela,
- soustružení vybrání  $\varnothing 174$  mm do hloubky 12 mm, sražení hran s ohledem na přídávky, zarovnání čela na celkovou délku 35 mm,
- frézování, vystružení otvoru  $\varnothing 147,55H8$  mm a zahloubení  $\varnothing 174H7$  mm, zhotovení otvorů  $\varnothing 45H6$  mm, zahloubení  $\varnothing 62$  mm, vrtání otvorů se závity M12,
- ruční úprava, sražení hran,
- obrazit ozubení,
- kontrola konečná.

V technologickém postupu jsou zařazeny i další operace jako jsou mezioperační kontroly materiálových vlastností, kontrola tvrdosti, kontrola ozubení a ruční úpravy zejména pro sražení hran po strojních operacích. Materiál je dodáván ve formě kovaných tyčí o průměru 360 mm a je dělen na pásové pile. Po vyhrubování vnitřního průměru se z preventivních důvodů provádí opětovné zušlechtění materiálu kalením a popouštěním, aby byla zajištěna rovnoměrná struktura materiálu v celém průřezu dílce.

Hrubovací soustružnické operace se provádí na stroji SUA 80 Numeric (obr. 2.3). Dokončovací operace jsou prováděny na soustružnickém obráběcím stroji CTX 600 (obr. 2.4), tech. parametry (tab. 2.3). Frézovací a vyvrtávací operace se realizují na obráběcím centru HEC 800 (obr. 2.5). Ozubení je obrázeno na stroji OHA 50 A (obr. 2.6). Kontrola rozměrů je prováděna na souřadnicovém měřicím stroji Klingenberg P100.

Univerzální hrotový soustruh SUA 80 NUMERIC je stroj s automatickým řízením cyklu, který je možné vybavit řídicím systémem Siemens 840 D, Heidenhein 620, Fagor, nebo Fanuc. Stroj je určen pro hrubovací a dokončovací práce hřídelových i přírubových součástí, dále pro řezání závitů, vyvrtávání, soustružení kuželů a různých tvarových rotačních ploch. Stroj má vodorovné lože

tuhé konstrukce, vodicí plochy lože jsou kalené a broušené. Parametry stroje jsou uvedeny v tab. 2.2 [18].



Obr. 2.3 Soustruh SUA 80 Numeric firmy TOS Čelákovice [18].

Tab. 2.2 Technické parametry SUA 80 Numeric [18].

Max. průměr obrobku	840 mm
Max. průměr tyčoviny	128 mm
Vzdálenost mezi hroty	2 500 mm
Max. hmotnost obrobku	6 000 kg
Rozsah otáček	5–1250 min <sup>-1</sup>
Výkon hlavního motoru	30 kW



Obr. 2.4 Soustružnické centrum CTX 600 [19].

Tab. 2.3 Technické parametry stroje CTX 600 [19].

Max. průměr obrobku	650 mm
Max. průměr tyčoviny	90 mm
Vzdálenost mezi hroty	2000 mm
Max. otáčky	3050 min <sup>-1</sup>
Pracovní rozsah os X/Z	320 / 2097 mm
Výkon hlavního motoru	10,4 kW

Heckert 800 je čtyřosé horizontální obráběcí centrum. Tento stroj je vybaven otočným, číslicově řízeným (NC) stolem, a také dvěma paletami. Což přináší časové úspory při výměně obrobků, zatímco se druhý kus obrábí. Dochází tak k přepínání obrobku v překrytém čase. Jedná se o stroj vhodný jak pro hrubovací, tak i dokončovací operace. Technické parametry viz tab. 2.4.



Obr. 2.5 Obráběcí centrum HEC 800 Athletic [20].

Tab. 2.4 Technické parametry stroje HEC 800 Athletic [20].

Řídicí systém	Sinumerik 840 D
Orientace hlavního vřetena	Horizontální
Druh upínací palety	NC rotační stůl
Počet palet	2
Čas výměny palet	18 sec
Rozměry upínací plochy	800×800 (1000×800) mm
Nosnost stolu	2000 kg
Rozsahy os stroje	
Osa X	1450 mm
Osa Y	1100 mm
Osa Z	1300 mm
Osa B	0–360°
Maximální průměr obrobku	1400 / 1750 mm
Max. výška obrobku	1400 mm
Upínací kužel	SK 50
Počet nástrojů v zásobníku	60
Max. průměr nástroje	325 mm
Max. délka nástroje	800 mm
Max. hmotnost nástroje	35 kg
Čas výměny nástroje	5 sec

OHA 50 A je odvalovací obrážecí stroj určený pro obrázení vnějšího i vnitřního ozubení čelních ozubených kol s přímými zuby tech. parametry viz tab. 2.5. Metoda odvalovacího obrázení je charakterizována posuvovým a otáčivým pohybem, kdy dochází k současnému valivému pohybu obrobku a nástroje viz kap. 3.1. U tohoto stroje jsou řezné pohyby spojeny mechanicky.



Obr. 2.6 Obrážecí stroj OHA 50 A [21].

Tab. 2.5 Technické parametry stroje OHA 50 A [14].

Max. modul obráženého ozubení	8 mm
Max. průměr obráženého ozubení	500 mm
Max. šířka ozubení	125 mm
Vzdálenost osy smýkadla od osy stolu	0–355 mm
Průměr upínacího stolu	500 mm
Rozsah dvojdvihu	45–710 min <sup>-1</sup>
Kruhový posuv nástroje	0,14–1,12 mm
Výkon hlavního motoru	7,5 kW

### 3 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÍ

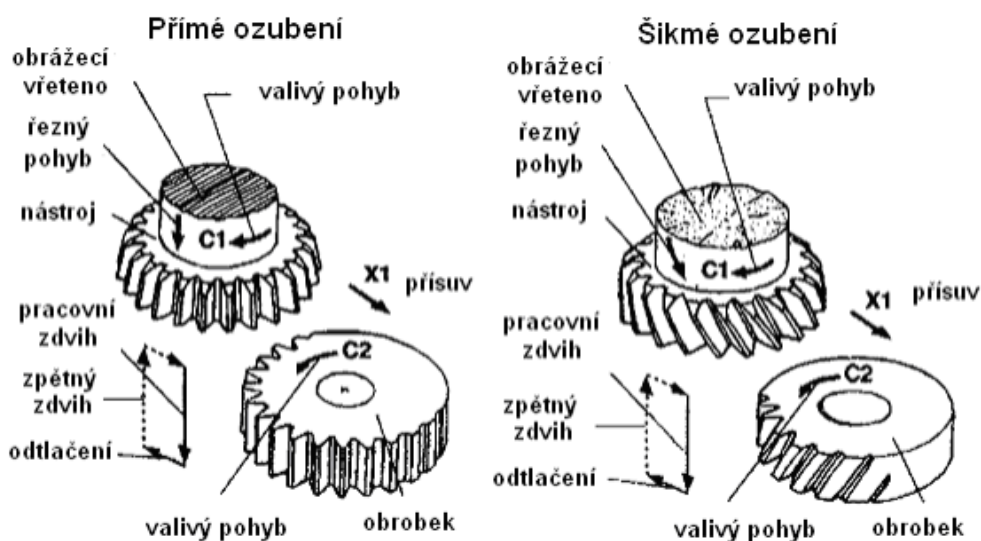
V dnešní době existuje mnoho způsobů pro výrobu ozubení. Ozubená kola lze obrábět různými metodami na příslušných strojích. Vhodná metoda obrábění i stroj se volí podle požadavků kladených na ozubená kola, počtu vyráběných kusů atd. Princip výroby lze rozdělit do tří základních skupin. Nejjednodušším způsobem je tvarový způsob, kdy má nástroj negativní tvar zubu čili tvar zubové mezery. Druhá varianta může být kopírovací. Zde se používá univerzální nástroj, který kopíruje geometrický tvar podle šablony nebo v dnešní době častěji frézováním dle CNC program na moderních obráběcích strojích. Do třetí skupiny lze zařadit odvalovací způsob, především pro výrobu vnějšího evolventního ozubení. Metody pro výrobu vnitřního ozubení jsou však oproti výrobě vnějšího ozubení omezené. Technologie, kterými je možné obrábět vnitřní profily a ozubení jsou popsány v následujících kapitolách [3, 22].

#### 3.1 Odvalovací obrázení

Obrázení je jednou z nejuniverzálnějších metod pro obrábění ozubení a profilů jako je např. drážkování. Je to nezastupitelná metoda nejen pro výrobu ozubení, zejména vnitřního, ale i pro zvláštní použití u nekruhových součástí. Přes omezenou produktivitu v porovnání s ostatními metodami, jako je odvalovací frézování, existují vývojové inovace pro zlepšení hospodárnosti a kvality výroby této metody v oblasti strojů a nástrojů [22].

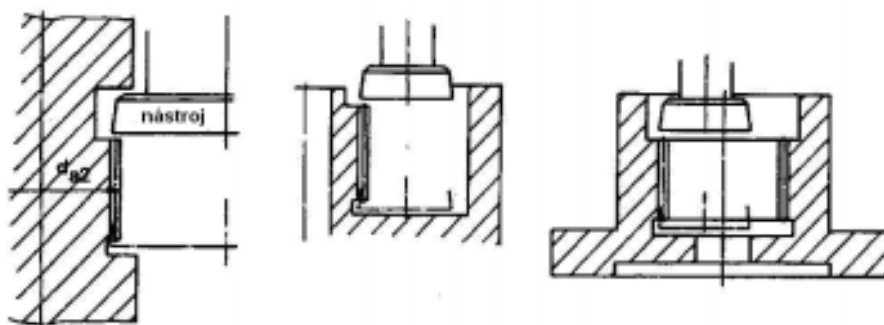
##### 3.1.1 Princip technologie

Princip metody obrázení spočívá v řezném pohybu nástroje, za současného odvalovacího pohybu obrobku. Nástroj koná hlavní řezný lineární oscilační pohyb, a vedlejší rotační (odvalovací) pohyb. Při obrábění vnitřního ozubení je tvar nástroje kruhový. Obrázení kotoučovým nožem se nazývá metoda Fellows. Obrábění je realizováno pouze při tzv. pracovním zdvihu, zatímco při zpětném zdvihu je pohyb uskutečňován bez kontaktu nástroje s obrobkem. Tento pohyb nástroje je nejčastěji mechanicky spojen s pohybem obrobku. U moderních obráběcích CNC strojů je tento pohyb, který konají pohony os stroje, řízen elektronicky. Na obr. 3.1 je znázorněn princip obrázení přímého a šikmého ozubení. K vzájemnému pootočení nástroje s obrobkem dochází v horní úvratí [22].



Obr. 3.1 Princip odvalovacího obrázení s přímými a šikmými zuby [22].

Kvalita výroby je ovlivněna geometrií nástroje a synchronizací pohybů stroje. Obrázeční metoda je velmi vhodná pro výrobu vnějšího i vnitřního ozubení, a to zvláště ozubení, které leží uvnitř obrobku tzv. "hluboko položená" ozubení znázorněná na obr. 3.2. Výhodou obrázení je že nástroj potřebuje jen relativně malý prostor pro výběh z řezu. Ozubení tak může být ohraničeno např. zápichem. Výběh nástroje se udává z geometrie čela a potřebného přejezdu při změně směru pohybu nástroje [3, 22].

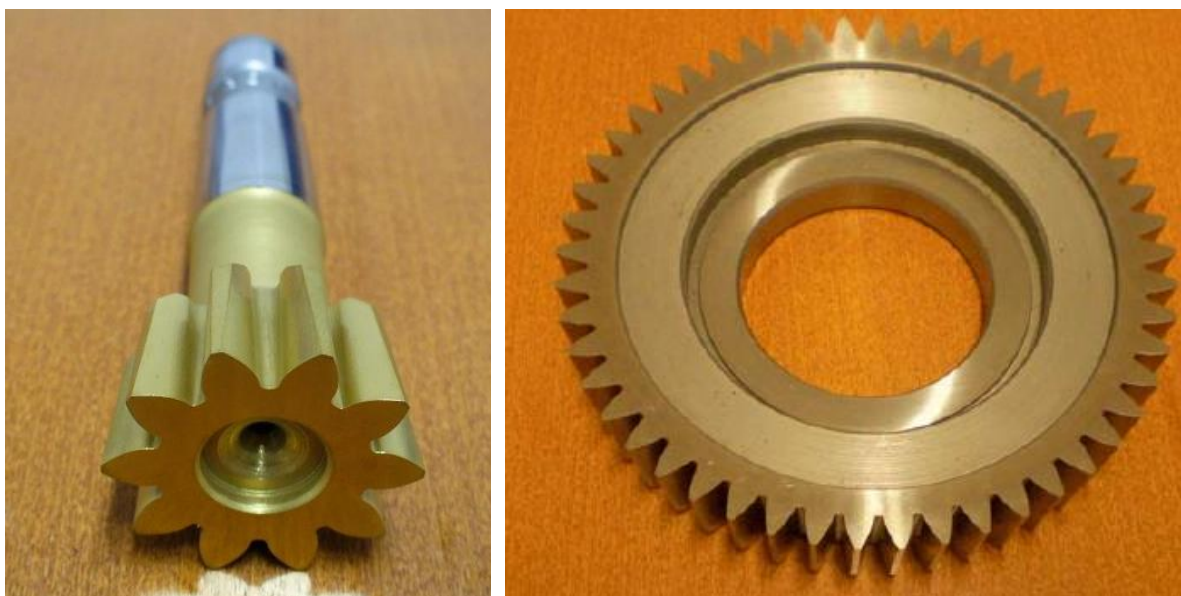


Obr. 3.2 Hluboce umístěné ozubení pro odvalovací obrázení metodou Fellows [22].

### 3.1.2 Nástroje pro metodu obrázení Fellows

Tvary nástrojů jsou patrné na obr. 3.1. Nástroj je specifický dle obráběného dílce. Na použití nezávisí jen velikost modulu zuby, ale také jejich počet na výsledném ozubeném kole. Volba počtu zubů nástroje je popsána v kapitole 4.4.1. Kotoučové nože mohou být vyrobeny s upínacím otvorem nebo celistvé se stopkou (obr. 3.3). Stopkové nástroje jsou nože s velmi malým jmenovitým průměrem, které už nelze vyrobit s upínacím otvorem. Jsou vyrobeny nejčastěji z nástrojové oceli. Kotoučové nože s upínacím otvorem se používají pro větší rozměry nástroje, kde se obrázeční kolečko upevní maticí na universální trn (obr. 4.3). Řezné nástroje nebo jejich části jsou vyráběny z rychlořezné oceli (RO) nebo

nástrojových ocelí, kde je nástroj vyráběn metodou práškové metalurgie (PM). Další možností jsou nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD) (obr. 5.2). Nástroje vyrobené pomocí PM, jsou houževnatější o vyšší tvrdosti díky možnosti vyššího legování základního materiálu oproti konvenčním RO. Dalšími přednostmi jsou zvýšená odolnost proti otěru a opotřebení a s tím zvýšená trvanlivost nástroje. Pro další zlepšení vlastností se pro některé aplikace provádí povrchová úprava povlakováním [22, 23].



a)

b)

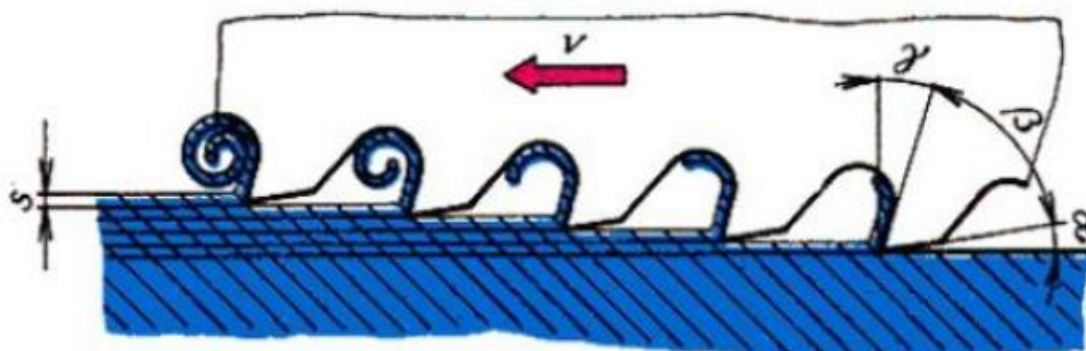
Obr. 3.3 Obrážecí kotoučový nůž [23]: a) stopkový, b) nástrčný.

## 3.2 Technologie protahování

Protahování je další technologií umožňující výrobu tvarových vnitřních i vnějších ploch. Tato metoda je velmi produktivní a zároveň přesná nejen pro výrobu ozubených kol využívající tvarový nástroj [3].

### 3.2.1 Princip technologie

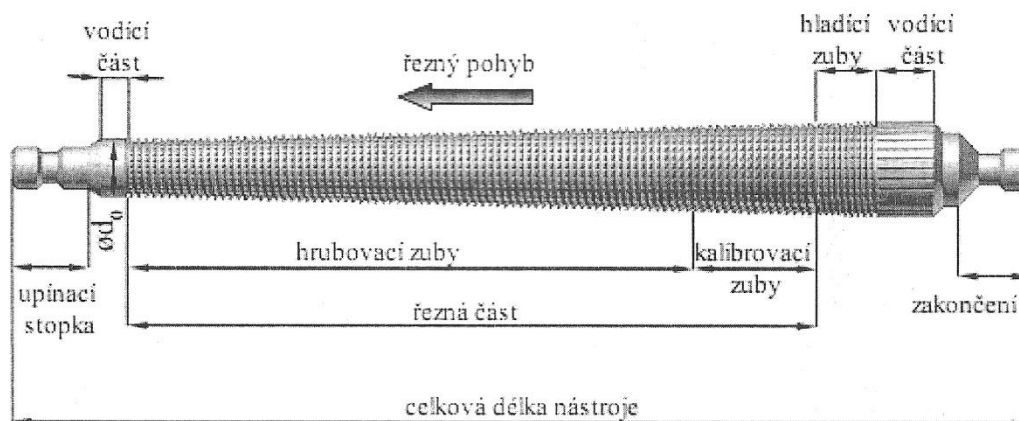
Technologie spočívá ve výrobě celého profilu na jeden zdvih, kdy je v záběru vždy více zubů, čímž je dána vysoká produktivita obrábění. Princip odebrání třísky je znázorněn na obr. 3.4. Hlavní řezný pohyb koná nástroj. Pohyb může být přímočarý nebo otáčivý. Obrobek je upnut na stole stroje ve speciálním přípravku, který umožňuje po protažení odsunutí obrobku (kola) ze záběru. Obrobená plocha má kvalitní povrch a je velmi přesná. Nástroj bývá ve většině případů tažen. Pokud je tlačěn jedná se o technologii protlačování [24].



Obr. 3.4 Princip odebrání třísky [25].

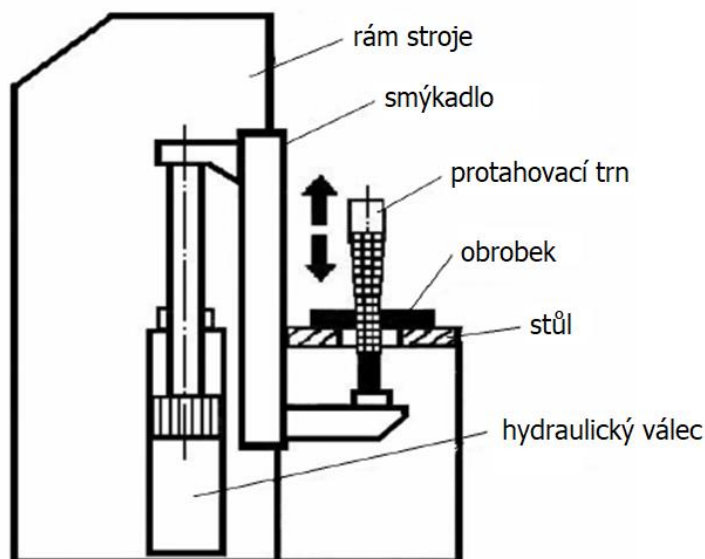
### 3.2.2 Řezný nástroj, obráběcí stroj

Nástrojem je protahovací trn, zobrazený na obr. 3.5. Protahovací trn je složen ze segmentů s hrubovacími zuby, (tvoří zpravidla největší část nástroje), dále pak segmenty s kalibrovacími a hladícími zuby, které tvoří jeden celistvý blok. Segmenty jsou vzájemně odstupňované, tak aby byl zajištěn plynulý úběr třísky. Výška kalibrovacích zubů je stejná. Hladicí zuby třísku neodebírají, využívají plastické deformace materiálu obrobku. Dosahovaná drsnost povrchu  $Ra = 0,4 \mu\text{m}$  i lepší, a přesnost odpovídá stupni IT 5–7. Tloušťka třísky bývá v rozmezí 0,02–0,2 mm. Přesnost vyrobeného dílce je přímo závislá na přesnosti výroby nástroje. Nástroje mohou být vyrobeny z nástrojové oceli, metodou PM, či s upnutými destičkami ze slinutého karbidu (SK) [3, 24].



Obr. 3.5 Schéma protahovacího nástroje [3].

Protahovací stroje mohou být v provedení vodorovném nebo svislém. Oba typy se používají jak pro vnější i vnitřní způsob protahování. Schéma svislého protahovacího stroje je znázorněno na obr. 3.6. Speciální protahovací stroje lze použít např. pro výrobu kol se šikmými zuby. Základním parametrem je průtažná síla působící na nástroj. Pohyb je vyvozen buď elektromechanicky přes pastorek a ozubený hřeben, u menších strojů, nebo hydraulicky u velkých strojů což má za následek možnost plynulé regulace rychlosti pohybu, klidný chod a kontrolu průtláčné síly [24].



Obr. 3.6 Schéma svislého protahovacího stroje – podle [24].

### 3.2.3 Nevýhody technologie protahování

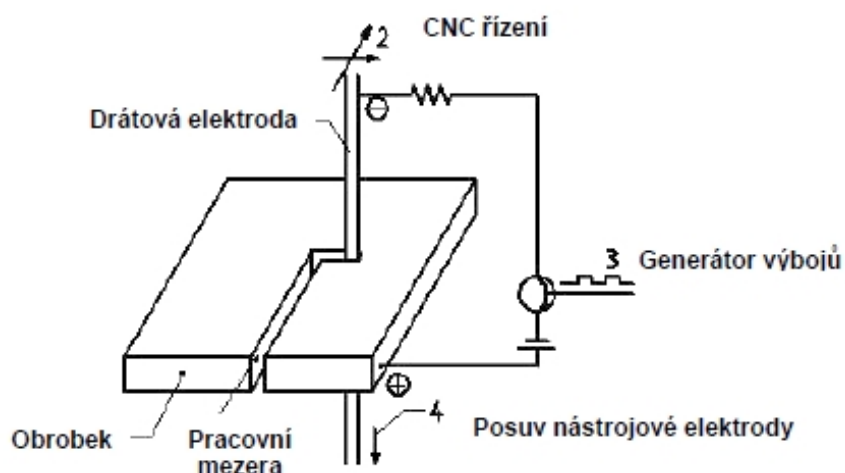
Nevýhodou této produktivní metody jsou vysoké náklady na řezný nástroj, který je pro každý dílec specifický. Průměr, modul, tvar zubu atd. Protahování je vhodné pouze pro velkosériovou a hromadnou výrobu, např. v automobilovém průmyslu [24].

## 3.3 Elektroerozivní obrábění drátovou elektrodou

Elektroerozivní (elektrojiskrové), mezinárodně označované EDM (Electrical Discharge Machining), obrábění je formálně řazeno mezi nekonvenční metody obrábění. V současné době jde o široce rozvinutý a průmyslově zavedený progresivní výrobní proces. Jedná se o působení nástroje na obráběný materiál bez mechanických sil obvyklých u třískového obrábění a bez tvoření třísek, které vznikají při obrábění běžnými řeznými nástroji [26].

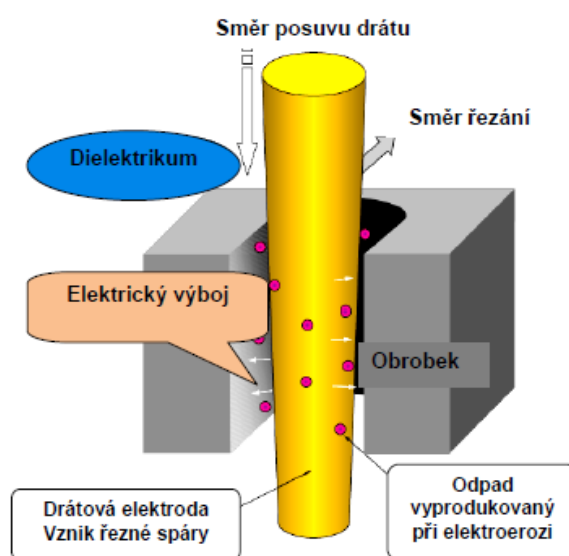
### 3.3.1 Princip technologie

Princip této technologie spočívá v úběru materiálu na elektrodách díky rychle se opakujícím periodickým impulsům jiskrového výboje za pomoci dielektrika. Zjednodušený princip metody je zobrazen na obr. 3.7. Jednu elektrodu představuje obrobek. Druhou elektrodou je nástroj, v tomto případě drát. Jednou z nejdůležitějších podmínek, na které je založena celá technologie, je nutnost elektrické vodivosti obou elektrod. Tyto elektrody se nedotýkají, ale jsou k sobě tak přiblíženy, aby vznikla jiskrová mezera. Jiskrová mezera se pohybuje v rozmezí 0,01–0,4 mm. Pomocí pulzů stejnosměrného proudu se vytváří pulzující elektrické pole, které způsobuje vytvoření výboje mezi nástrojem (obvykle anoda) a obrobkem (obvykle katoda). Díky těmto výbojům jsou odebírány mikročástice ve formě kuliček roztavením a následným odpařením viz obr. 3.8 [26].



Obr. 3.7 Princip technologie elektroerozivního řezání drátem [26].

Smyslem je dosáhnout pomocí opakovaných výbojů co největšího úběru materiálu na obrobku, a přitom co nejmenšího úbytku materiálu na nástroji (drátu). Snaha o dosažení snížení opotřebení nástroje je především ve vhodném zapojení obvodu, polaritou a elektrickými parametry, volbou materiálu nástrojové elektrody vůči obráběnému materiálu a také volbou dielektrika. Jako dielektrikum můžou být použité lehké strojní oleje, petrolej, silikonový olej a dielektrika na bázi vody [26].



Obr. 3.8 Model fyzikálního principu elektroerozivního řezání drátovou elektrodou [26].

### 3.3.2 Řezný nástroj, obráběcí stroj

Na elektrodu jako nástroj jsou kladeny požadavky vysoké elektrické vodivosti, dostatečné mechanické pevnosti, nízké tolerance průměru drátu, tvaru (kruhovitosti) a nízké ceny. U výběru materiálu nástroje pro různé druhy řezání hrají roli materiálové vlastnosti jako je pružnost a pevnost v tahu. V závislosti na materiálu elektrody se pevnost v tahu pohybuje v rozmezí 350–900 MPa. Požadavky vyplývají z vysokého zatěžování materiálu protékajícím proudem

a z nutnosti, aby elektroda vstupovala do řezu řádně napnutá a vyrovnaná. Obecně se jako materiál pro drátové elektrody používá měď. V závislosti na průměru drátu pak mosaz, molybden případně slitiny mosazi a hliníku. V současnosti je možnost použití drátu s povlakem zinku [26].

Stroj pro elektroerozivní obrábění (obr. 3.9) se skládá z rámu, pracovního stolu pro upnutí obrobku, který je v nádrži s dielektrickou kapalinou, suportu s nástrojem, čerpadlem, chladicím zařízením a generátorem elektrických impulzů. Celý proces obrábění je řízen CNC kódem. Dráha nástroje je naprogramovaná dle obrysu obrobku např. definovaného ozubení. Pokud se řez nevede z vnější části obrobku musí se do dílce předem vyvrtat otvor na protažení drátu.



Obr. 3.9 Elektroerozivní drátová řezačka FANUC Alpha C600iA [27].

### 3.3.3 Výhody elektrojiskrového obrábění

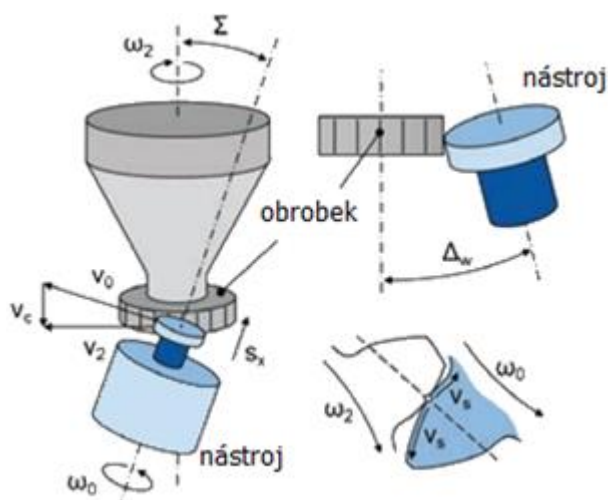
Hlavní výhodou elektrojiskrového obrábění oproti konvenčním způsobům je absence řezných sil. Vyskytují se zde pouze síly elektroerozivní, a to je důvodem pro obrobitelnost vodivých materiálů v širokém rozmezí tvrdosti. Obrobky se zpravidla obrábí na konečné rozměry až po tepelném zpracování. Tímto způsobem je možné se objemovým a rozměrovým změnám součásti vyhnout. Výhodou je také velikost a malý objem odpadu. Je možné obrábět obrobky, které jsou jinými způsoby náročně obrobitelné a problematicky upínatelné. V závislosti na poloměru drátu lze řezat rádius o velikosti  $R = 0,01 \text{ mm}$ . Jednoduše vyrobitelné jsou střížné nástroje, střížníky, otvory pro tvarové střížníky a jiné funkční tvarové otvory jiným způsobem jen těžko vyrobitelné. Dále měřidla, kalibry, průchozí drážky a v neposlední řadě ozubení. A to přímé ozubení vnější, vnitřní, a také ozubená kola se šikmým ozubením [26].

### 3.4 Technologie frézování ozubení – Power Skiving

Tato technologie má v dnešní době mnoho komerčních názvů. Jedním z nich, tím nejčastějším je Power Skiving od společnosti Gleason-Pfauter nebo také Scudding od výrobce nástrojů Profilator. Dále se můžeme setkat s názvy Hard Skiving, Super Skiving, Hard Scudding, Gear Skiving. Technologie jako taková je sama o sobě známá více než 100 let. Poprvé byla tato koncepce, kterou představil Wilhelm von Pittler, patentována v roce 1910. To že se do povědomí dostává až v několika posledních letech je z důvodu vývoje a možností dnešních obráběcích strojů a také díky nárokům zákazníků na alternativní možnost obrábění ozubených kol. Dříve nebylo možné využívat tuto technologii z technického hlediska vůči výkonosti a přesnosti obráběcích strojů. Díky programovatelným CNC moderním strojům je možné používat tuto progresivní technologii na výrobu evolventního přímého a šikmého vnějšího, i vnitřního ozubení, kde jsou výraznější omezení z hlediska výroby vůči ozubení vnějšímu. Lze ji také použít pro výrobu drážkování [28, 29].

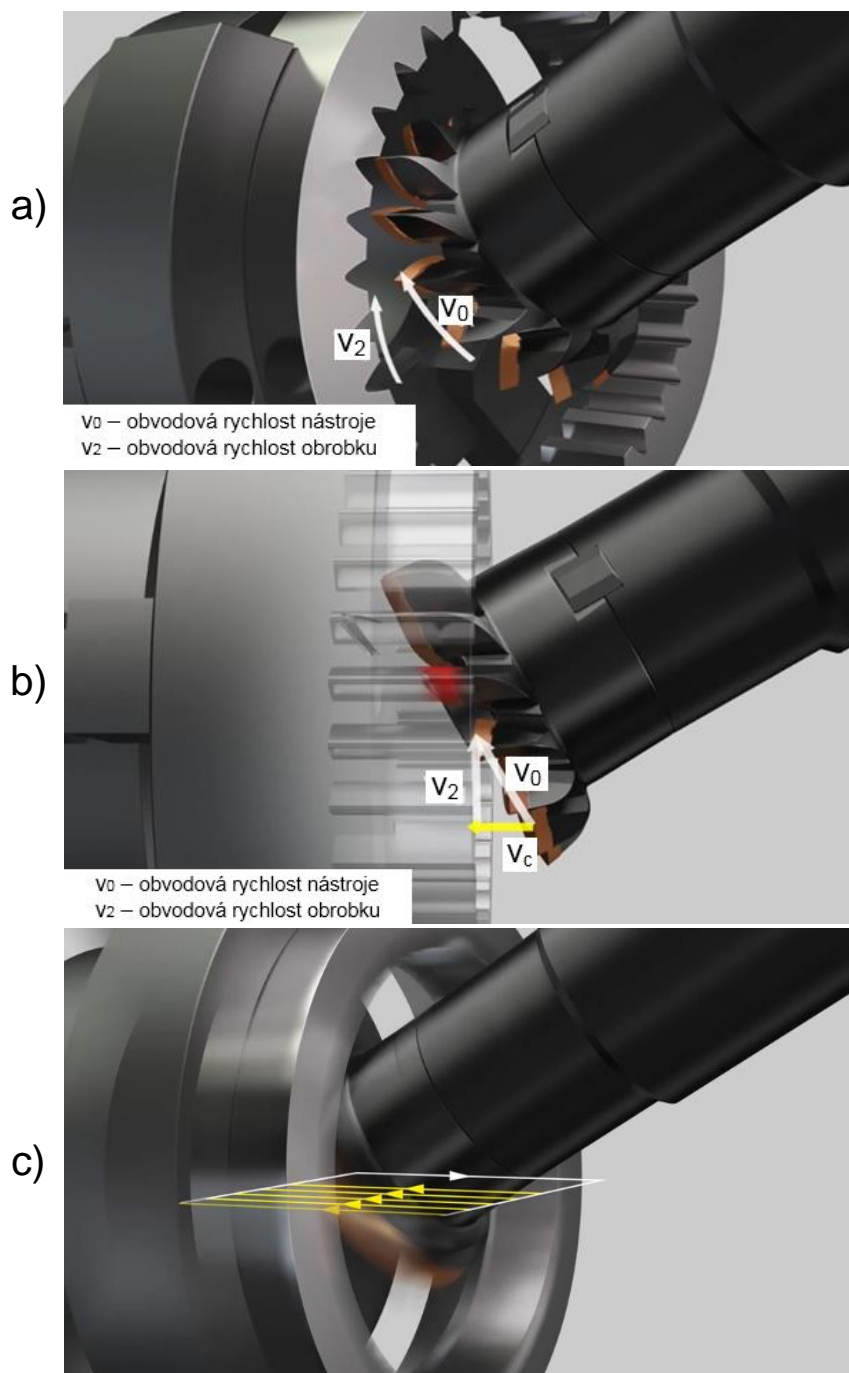
#### 3.4.1 Princip technologie Power Skiving

Power Skiving je obráběcí proces, který je ve své podstatě kombinací odvalovacího frézování a obrážení. V principu je zapotřebí stroje nejméně s pěti osami. Kinematický řetězec Power Skivingu obsahuje tři synchronizované pohyby, znázorněné na obr. 3.10, které jsou zapotřebí k vytvoření vysoce přesných ozubení. Obrobek koná rotační pohyb o obvodové rychlosti  $v_2$ , zatím co nástroj se otáčí s obvodovou rychlostí  $v_0$ . Řezný posuv  $s_x$  je definován jako relativní pohyb nástroje podél osy obrobku. Orientace nástroje je dána úhlem sklonu  $\Sigma$  mezi osou nástroje a osou obrobku. Úhel sklonu zajišťuje hlavní řezný pohyb při skládání energie. Úhel sklonu může být zvolený nezávisle na úhlu šroubovice zubů obráběného kola a má veliký dopad na řezný proces, geometrii zubové mezery a třísky. V určitých případech je zapotřebí definování úhlu natočení řezného nástroje  $\Delta_w$ . Výsledná řezná rychlost  $v_c$  je odvislá od úhlu  $\Sigma$ . V důsledku rotace obrobku a nástroje je výsledná řezná rychlost, mnohem nižší než rychlosti  $v_2$  a  $v_0$ . Úhel sklonu  $\Sigma$  se obvykle pohybuje od 15–25° [30].



Obr. 3.10 Poloha nástroje vůči obrobku u technologie power skiving – podle [31].

Na obr. 3.11 je znázorněný postup obrábění se znázorněnými pohyby obrobku a nástroje, kdy jejich složením vzniká řezná rychlost  $v_c$ . Obvodová rychlost obrobku je označena zkratkou  $v_2$ , a obvodová rychlost nástroje  $v_0$ . Na obr. 3.11 a) je zobrazen nájezd do řezu. Obr. 3.11 b) znázorňuje složení a směr 3 synchronizovaných pohybů. Červeně je označen břit nástroje, který aktuálně odebrává třísku. Dráha nástroje v procesu obrábění je zakreslena na obr. 3.11 c).

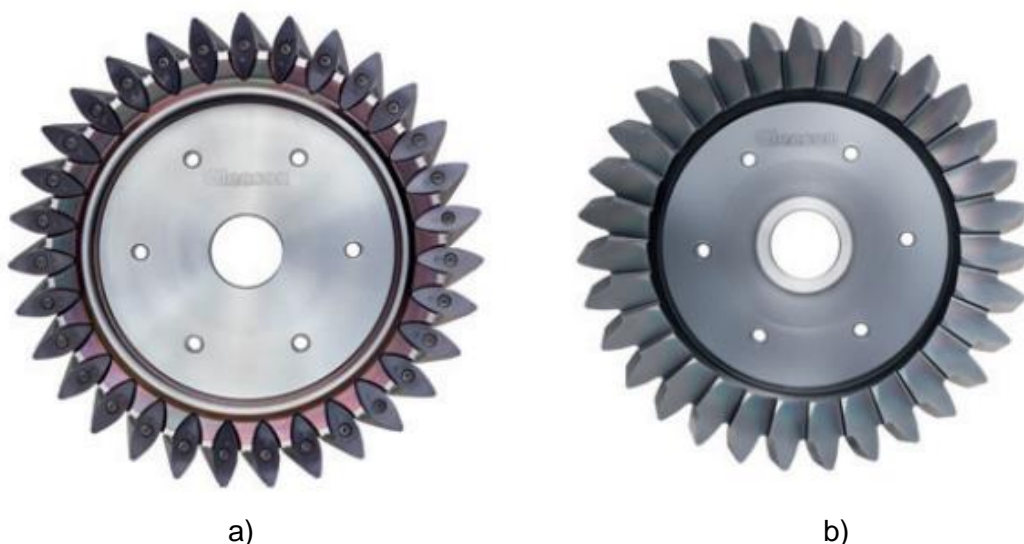


Obr. 3.11 Princip procesu a skládání řezných pohybů – podle [28]: a) nájezd do řezu, b) nástroj v řezu, složení pohybů v kolmém pohledu, c) dráha nástroje při obrábění.

### 3.4.2 Nástroje – rozbor geometrie

V současné době se touto problematikou zabývá mnoho firem. Některé nabízí kompletní příslušenství, řezné nástroje a obráběcí centra. Některé, jako např. Sandvik Coromant, mají ve svém portfoliu pouze řezné nástroje.

Nástroj a geometrie břitů je navržena individuálně pro každý obrobek (modul a počet zubů). Hrubovací nástroje (obr. 3.12 a), které se používají pro ozubení s modulem větším než 3 mm a které odebírají přibližně 80% třísky, jsou koncipovány jako hlavice s VBD. Použití VBD velice přispívá ke snížení nákladů na monolitní nástroje z hlediska opotřebení. Použití hrubovacího nástroje nemusí být vždy nutné. Pro dokončovací operace se používají povlakované monolitní nástroje zejména z PM materiálů (obr. 3.12 b). Tyto nástroje je možné brousit a opět povlakovat [32].



Obr. 3.12 Řezný nástroj [33]: a) hrubovací, b) dokončovací.

Geometrie nástroje závisí na geometrii ozubení a procesu obrábění. Nelze jí popsat jednoduchým referenčním profilem, a proto je nutné využití simulačního softwaru. Vytváření geometrie nástroje je zobrazeno na obr. 3.13. Nejprve je požadovaná geometrie ozubení popsána základním profilem a také počtem zubů, úhlem šroubovice a průměrem. Geometrie kola je použita při zpětném výpočtu s uvedeným nastavením stroje a úhlem sklonu nástroje  $\Sigma$ , případně úhlem natočení nástroje  $\Delta_w$ . Protínáním výsledné šroubovice s rovinou podle úhlu sklonu nástroje, je určena konečná hrana profilu zubu nástroje [31].



Obr. 3.13 Vytvoření geometrie zubu nástroje – podle [31]: a), b) základní profil, c) geometrie zubu pomocí výpočtu.

### 3.4.3 Strojní zařízení

Skiving lze provádět na obráběcích centrech, které mají minimálně 5 řízených os. Technologii lze využít i na strojích, které nebyly původně na tento způsob obrábění navrženy. To ovšem přináší určité komplikace v podobě nepřesností výroby. Výrobci strojů, přímo navržených, pro tuto technologii nebo víceúčelových strojů s možností Skivingu jsou například: Profikator, Gleason, Liebherr, Pfauter, DMG, Pittler. Řada těchto výrobců poskytuje kompletní řešení technologie včetně návrhu a výroby potřebných řezných nástrojů [32].

Stroj může být konstruován jako soustružnické nebo frézovací centrum, kdy je osa obrobku buď v horizontální nebo vertikální poloze. Horizontální, soustružnické stroje se využívají hlavně pro dílce typu hřídel. Především pro dílce kotoučového charakteru jsou vhodnější vertikální frézovací centra. Na obr. 3.14 je stroj značky Pittler PV 315, s 6 řízenými osami. Osa vřetena C3 a osy otočného stolu C1 jsou elektronicky synchronizovaná. Úhel vřetena je nastavován osou B, která je také použita k úpravě boční vůle nebo úhlu profilu zubu. Osa Z reguluje pohyb posuvu. Další modifikace jsou realizovány pomocí os X, Y a Z [32].



Obr. 3.14 Frézovací centrum Pittler PV 315 [32].

Velmi výhodou, hlavně z hlediska úspory strojního času, je možnost provedení mnoha operací na celém dílci při jednom upnutí. Jak je znázorněno na obr. 3.15 lze provádět operace jako je soustružení, frézování, vrtání, zhotovení ozubení metodou Power Skiving, následné odjehlení a kontrolu měřením na jedno uchycení dílce. To přináší mnoho výhod a zejména úsporu strojního času.



Obr. 3.15 Kompletní proces obrábění dílce – podle [32].

U této technologie je nezbytně nutné, aby upnutí nástroje, a i upnutí obráběné součásti bylo velice tuhé. Pro metodu obrábění Power Skiving je tedy vhodné použít stroje, které byly pro tuto metodu speciálně vyvinuty, a to hlavně u rozměrově větších a těžších obrobků. U obou výše zmíněných vřeten pro upnutí dílce C1 a pro upnutí nástroje C3, je požadován poměrně vysoký výkon. Některá víceosá obráběcí centra sice zvládnou napodobit požadovanou kinematiku obrábění, ale nedosahují požadované tuhosti stroje a potřebného výkonu na daných osách [31, 34].

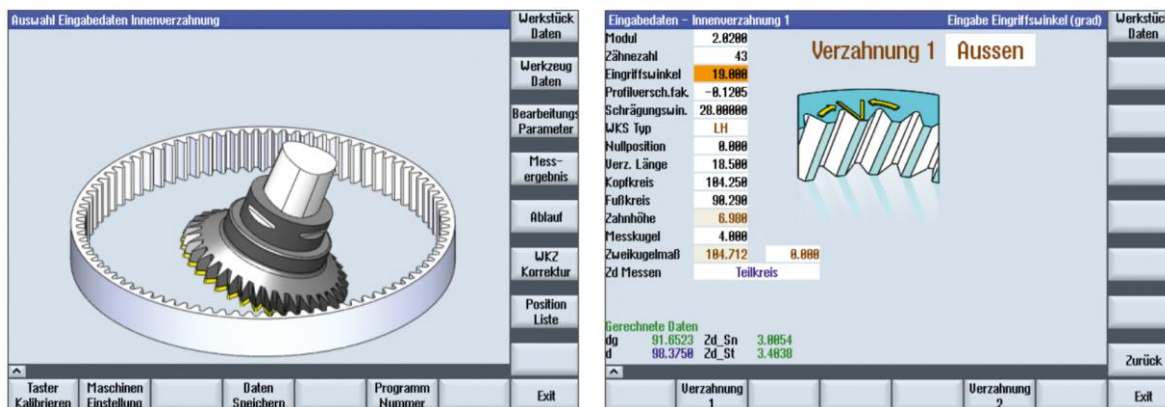
Jednou z podstatných výhod je eliminace zbytečného pohybu, jako je například u obrázení vratný pohyb. V tomto procesu je pohyb rezného nástroje a obrobku synchronizován a převáděn přímo přes materiál, čímž se eliminuje neproduktivní vratný pohyb a dojde ke zkrácení výrobního času [31, 34].

Nevýhody mohou nastat při výrobě vnitřního ozubení, které může být problematické z důvodu odvodu třísky, nedostatku prostoru a také kvůli působení odstředivé síly. Oproti obrázení je z důvodu vyklonění nástroje potřebný velký prostor pro výběh nástroje z řezu, a nástroj i dílec musí mít velmi tuhé upnutí. Zvláště kvůli odvodu třísek existují stroje takové konstrukce, kdy je nástroj zaveden ze spodu do obrobku aby měla tříška kam odpadávat [31, 34].

#### 3.4.4 Metody řízení, programování

Metody řízení cyklu řeší vestavěné systémy jednotlivých výrobců přímo na obráběcím stroji. Využívá se také řídicího systému Sinumerik 840D. Jedná se o zadání technických parametrů dle předem navrženého nástroje pro daný obrobek. Programovací prostředí Pittler Skiving Centre (obr. 3.16) je jednoduchým nástrojem, který nevyžaduje hlubší znalosti programování. Pro sledování kvality lze pomocí měřicího rozhraní řídit a vyhodnocovat různé měřicí procesy. Uživatelské rozhraní umožňuje ovládání až tří nástrojů na jeden obráběcí cyklus.

Toho se využívá při obrábění velkých modulů a tam, kde jsou vysoké požadavky na přesnost. Princip pak spočívá v dokončovacím obrábění, kdy pravý a levý bok zubu může být obroben samostatně [32].



Obr. 3.16 Prostředí řídicího systému Pittler Skiving Centre [32].

### 3.5 Kontrola ozubených kol

Přesnost ozubených kol stanovují nejčastěji normy ISO, ČSN a DIN. Normy mají definované tři základní skupiny úchylek, které popisují vlastnosti vyrobeného dílce. Funkční ukazatele jsou rozděleny do skupin podle vlivu a funkce soukolí [3]:

- kinematická přesnost kola (úchylka obvodového házení, úchylka kolísání rozměru přes zuby),
- plynulost chodu (úchylka profilu zubu, úchylka základní rozteče),
- dotyk zubu (úchylka sklonu zubu, pásmo dotyku zubu).

Do další skupiny tolerancí a úchylek patří boční vůle zahrnující boční vůli, úchylku vzdálenosti os, toleranci posunutí základního profilu, toleranci rozměru přes zuby a toleranci tloušťky zubu [3].

Obecně lze nejjednodušším způsobem kontrolovat čelní ozubená kola s přímými zuby. Kromě kontroly běžných rozměrů (průměr, šířka) ozubeného kola, je nutné použít speciální měřidla. Jsou to např. posuvné měřítko tzv. zuboměr na měření tloušťky zubu, mikrometr s talířovými dotyky pro měření rozměru přes zuby u čelních ozubených kol. Dále se kontroluje rozměr zubů přes válečky nebo kuličky pomocí mikrometru zejména u vnitřního ozubení. Pro měření čelního či obvodového házení za pomoci válečků se používá číselníkový úchylkoměr.

Při využívání moderních výrobních technologií je smysluplné také využívání současných technologií pro kontrolu rozměrů a kvality výrobku. V současnosti jsou na trhu komplexní měřící stroje. Efektivní jsou zejména způsoby měření přímo na obráběcím stroji měřící sondou, kdy je proces řízen pomocí softwaru. Bezprostřední kontrola po ukončení procesu obrábění nebo mezioperační měření bez nutnosti odepnutí dílce podstatně zkracuje výrobní časy a snižuje případné chyby měření. Pro kontrolní vyhodnocení je však nutné využití nezávislého měřidla, jelikož touto kontrolou na stroji nelze odhalit chybu v upnutí dílce. Za pomoci měřících sond a elektronického řízení je možné kontrolovat jak tvar

evolventy, tak i úhel sklonu zubů, míru přes zuby a další parametry. Část záznamu hodnot z měření ozubení je uvedena v příloze 3 [3].

## 4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY

Tato diplomová práce je zaměřena na zefektivnění procesu obrábění vnitřního ozubení. Operace výroby ozubení je v mnoha případech tou časově nejnáročnější. V případě této součásti viz příloha 1 zabírá z celkového strojního času asi 46 % pouze operace obrázení ozubení metodou Fellows na stroji OHA 50. Proto také může pouze inovace procesu výroby ozubení vést k zefektivnění výroby unašeče. Dle plánů podniku se bude vyrábět ročně 400 kusů unašečů. Do dalších let je plánováno několikanásobné navýšení těchto kusů.

### 4.1 Popis výrobního stroje

Stroj OHA 50 je svislý obrážecí stroj pro výrobu vnějšího a vnitřního ozubení s přímými a šikmými zuby viz kap. 2.5.

### 4.2 Upínací přípravek

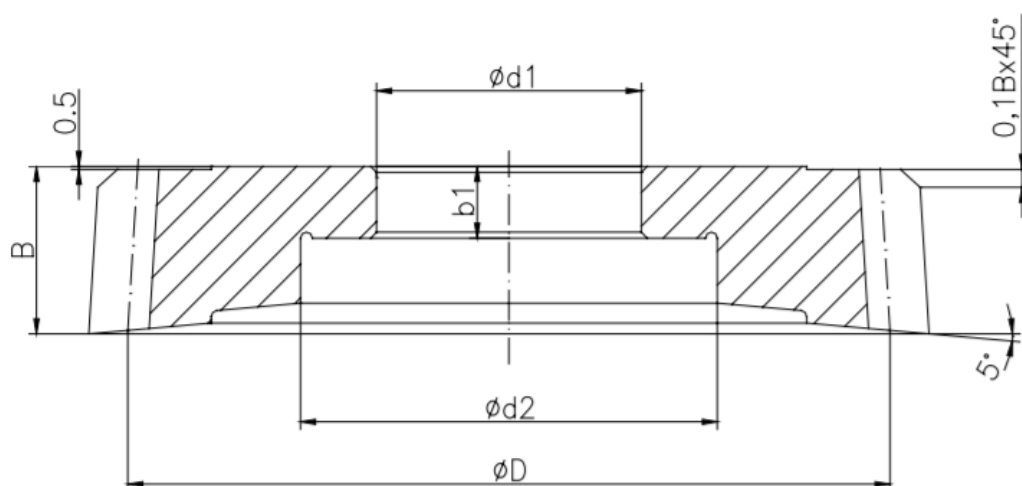
Obrobek s vnitřním ozubením je na stroji upnut ve speciálním přípravku, který je připevněn na otočný stůl obrážecího stroje upínkami v podobě upínacích šroubů do drážek s T-maticí. Při upínání obrobku je nutné dbát na přesné vystředění na otočný stůl. Upínací přípravek je zhotoven s centrováním do stolu obrážecího stroje a také pro obrobek, které přípravek a dílec ustaví v desetínách milimetru. Dále se nejprve přípravek a poté dílec dorovnájí pomocí číselníkového úchylkoměru v řádech setin milimetru viz obr. 4.1.



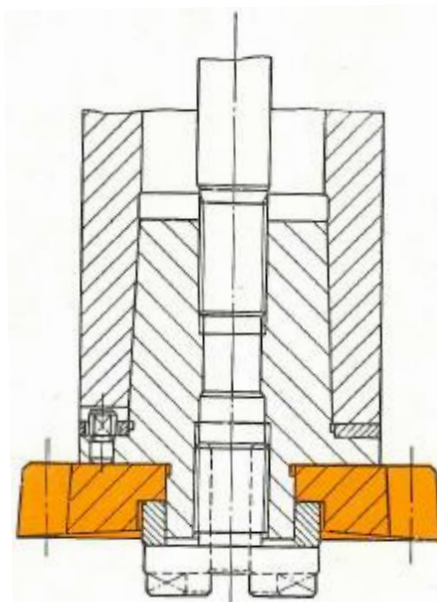
Obr. 4.1 Upnutí a vyrovnání obrobku na stroji OHA 50 [14].

### 4.3 Rozbor obrážecího nástroje

Za současného stavu výroby je používáno nástrčné obrážecí kolečko s PVD (Physical Vapour Deposition) povlakem na bázi AlTiN viz obr. 3.3 b). Přesné rozměry nástroje byly zhotoveny výrobcem nástroje dle technologických požadavků na obrobek. Obecný výkres nástroje viz obr. 4.2. Obrážecí kolečko je upnuto na speciální trn s kuželovou stopkou pomocí šroubového spoje, schéma viz obr. 4.3. Výpočetní hodnoty jsou pro tento nástroj označeny indexem PM.



Obr. 4.2 Obecný výkres obrážecího nástroje [23].



Obr. 4.3 Schéma upínání obrážecího kolečka [14].

#### 4.4 Určení rezných parametrů a výpočet strojního času

Skutečný strojní čas je od teoretického výpočtu často odlišný. Vzhledem k výrobním podmínkám a stavu stroje je do procesu nastavení obrábění nutný zásah obsluhy. Rezné parametry jsou nastaveny na základě zkušeností výroby na stroji.

##### 4.4.1 Výpočet parametrů pro obrázení ozubení

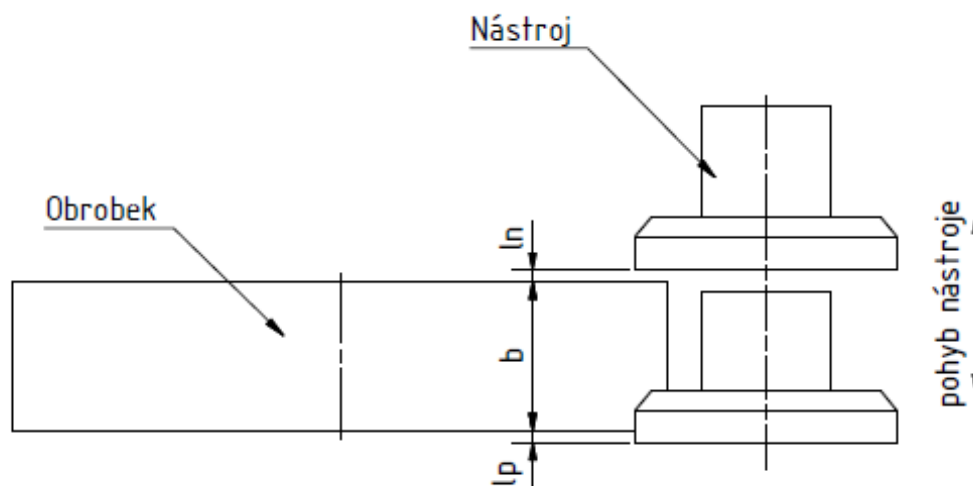
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1 návrh nástroje je závislý na parametrech obrobku. V tomto případě se obrábí 31 zubů modulu 5 mm s úhlem záběru  $25^\circ$ . Šířka ozubení je 22,5 mm. Na základě těchto vstupních parametrů se dle tab. viz příloha 4, definuje maximální počet zubů obrážecího nástroje, kolečka. Pro tyto vstupní parametry je maximální počet zubů obrážecího kolečka 19.

Pro nastavení řezných podmínek obrázcího stroje je nutné vyhledat a vypočítat parametry v závislosti na obráběném dílci. Hodnoty jsou určeny z příslušných tabulek a norem viz příloha 5 až 9.

- I. Prvním krokem je nutné zvolit náběh a přeběh nástroje, a takzvanou výšku zdvihu. Výška zdvihu je závislá na šířce ozubení, v tomto případě 22,5 mm, náběhu a přeběhu, které jsou si rovny viz obr. 4.4. Hodnota náběhu a přeběhu nástroje byla zvolena 2 mm. Výpočet výšky zdvihu nástroje dle vzorce 4.1:

$$L_b = l_n + b + l_p = 2 + 22,5 + 2 = 26,5 \text{ mm} \quad (4.1)$$

- kde:  $L_b$  [mm] – výška zdvihu,  
 $b$  [mm] – šířka ozubení,  
 $l_n$  [mm] – výška náběhu nástroje,  
 $l_p$  [mm] – výška přeběhu nástroje.



Obr. 4.4 Schéma pohybu nástroje, náběh a přeběh.

- II. Určení obrobiteľnosti: 58 %  
 III. Řezná rychlost:  $v_c = 40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$   
 IV. Počet dvojjzdvihů:  $n_n = 450 \text{ min}^{-1}$   
 V. Úběr materiálu: Pro moduly 4 až 6 lze dle tab. viz příloha 9, zhotovit ozubení na 2 řezy. Pro moduly 6 až 8 na 3 řezy atd. Při ozubení modulu 5 mm se proto použijí hodnoty pro 2 řezy, při kruhovém posuvu  $f_n = 0,3 \text{ mm}$ . Tato hodnota znamená o kolik se na každý dvojjzdvih obrobek pootočí. Počtem řezů je udán počet otáček obrobku  $n_o$ .  
 VI. Hloubka řezu: Pro hloubku řezu 1 a 2 je velmi důležité rozdělení třísek. Zejména druhá tříška by neměla být ani velká ani malá, jelikož by se mohl nástroj při velkém úběru příliš otupovat, a naopak při malém úběru materiálu pouze odírat bez úběru materiálu. Hloubka řezu  $h_r$  závisí na výšce zubu  $h$ . Výpočet výšky zubu byl stanoven pomocí výpočtového

softwaru KISSsoft, z důvodu úhlu záběru, který se rovná 25°. Výška hlavy zubu byla z konstrukčního hlediska snížena přibližně o 1 mm a celkový profil posunut o hodnotu korekce dle výkresu viz příloha 1. Celková výška zubu dle výpočtu je  $h = 9,75$  mm.

Hloubka prvního řezu: 9,15 mm.

Hloubka druhého řezu: 0,60 mm.

#### 4.4.2 Výpočet strojního času

1. Vzorec pro výpočet strojního času odvalovacího obrázení metodou Fellows (vzorec 4.2) [3]:

$$t_{AS} = \frac{z \cdot m \cdot \pi \cdot n_o}{n_n \cdot f_n} \quad (4.2)$$

kde:	$t_{AS}$	[min]	– strojní čas,
	$z$	[–]	– počet zubů,
	$m$	[mm]	– modul,
	$n_o$	[–]	– počet otáček obrobku,
	$n_n$	[min <sup>-1</sup> ]	– počet dvojdvihů,
	$f_n$	[mm]	– posuv na dvojdvih.

2. Parametry nastavení skutečného procesu na stroji.

Na stroji jsou nastaveny hodnoty viz tab. 4.1. Jedná se o úpravu teoretických řezných parametrů viz kap. 4.4.1 z důvodu zastaralého strojního vybavení na kterém není použití takových řezných parametrů možné. Uvedené změny hodnot pro hrubovací a dokončovací řezy vyplývají z praktických zkušeností technologů, a na základě výsledné kvality obrobku. Docházelo např. k výraznému snížení životnosti nástroje a to zejména při najíždění do řezu.

Tab. 4.1 Reálné hodnoty používané pro obrázení na stroji OHA 50 [14].

Počet dvojdvihů $n_n$ [min <sup>-1</sup> ]		Počet ot. Obrobku $n_o$ [–]		Posuv na dvojdvih $f_n$ [mm]		Hloubka řezu $h_r$ [mm]	
hrub. $n_{nh}$	dok. $n_{nd}$	hrub. $n_{oh}$	dok. $n_{od}$	hrub. $f_{nh}$	dok. $f_{nd}$	hrub. $h_{rh}$	dok. $h_{rd}$
80	83	4	1	0,25	0,40	2,65	0,65

Strojní čas při obrábění monolitním nástrojem viz vzorec 4.3 byl stanoven na základě vztahu 4.2:

$$t_{ASPM} = t_{ASph} + t_{ASpd} = \frac{z \cdot m \cdot \pi \cdot n_{oh}}{n_{nh} \cdot f_{nh}} + \frac{z \cdot m \cdot \pi \cdot n_{od}}{n_{nd} \cdot f_{nd}} \quad (4.3)$$

$$= \frac{31 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 4}{80 \cdot 0,25} + \frac{31 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 1}{200 \cdot 0,40} = 97,4 + 14,7 = 112,1 \text{ min}$$

kde:

$t_{ASPM}$	[min]	– strojní čas pro nástroj PM,
$t_{ASph}$	[min]	– strojní čas pro nástroj PM hrubovací,
$t_{ASpd}$	[min]	– strojní čas pro nástroj PM dokončovací,
$z$	[–]	– počet zubů,
$m$	[mm]	– modul,
$n_{oh}$	[–]	– počet otáček obrobku pro hrubovací řez,
$n_{od}$	[–]	– počet otáček obrobku pro dokončovací řez,
$n_{nh}$	[min <sup>-1</sup> ]	– počet dvojdvihů pro hrubovací řez,
$n_{od}$	[–]	– počet dvojdvihů pro dokončovací řez,
$f_{nh}$	[mm]	– posuv na dvojdvih pro hrubovací operace,
$f_{nd}$	[mm]	– posuv na dvojdvih pro dokončovací operace.

#### 4.5 Výpočet nákladů na jeden obrobený kus

Hodinová sazba obráběcího stroje OHA 50 A dle zdrojů firmy Wikov MGI a.s. [14]:

$$H_{OHA} = 850 \text{ Kč} \cdot h^{-1}$$

Počet kusů výrobní dávky unašeče:

$$n_{vd} = 20 \text{ ks}$$

Strojní čas stávajícího procesu je vypočítán v kap. 4.4.2. Součet časů přípravy výroby je pro jednu výrobní dávku odečten z technologického postupu. Čas přípravy výroby na jeden kus viz vzorec 4.4.

$$t_B = \frac{t_{BC}}{n_{vd}} = \frac{135}{20} = 6,8 \text{ min} \quad (4.4)$$

kde:

$t_{BOHA}$	[min]	– čas přípravy výroby 1 ks na stroji OHA 50,
$t_{BCOHA}$	[min]	– čas přípravy výroby na stroji OHA 50,
$n_{vd}$	[ks]	– počet kusů výrobní dávky.

Celkový čas stávající technologie výroby na 1 kus je dán součtem strojních časů a času přípravy práce, viz výpočet 4.5.

$$t_c = t_{AS} + t_B = 112,1 + 6,8 = 118,9 \text{ min} \quad (4.5)$$

kde:

$t_{cOHAPM}$ [min]	– celkový čas výroby 1 ks pro nástroj PM,
$t_{ASPM}$ [min]	– strojní čas pro nástroj PM,
$t_{BOHA}$ [min]	– čas přípravy výroby 1 ks na stroji OHA 50.

Strojní náklady na výrobu jednoho kusu, viz výpočet 4.6.

$$C_S = H \cdot \frac{t_c}{60} = 850 \cdot \frac{118,9}{60} = 1\,684,5 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde:

$C_{SOHAPM}$ [Kč]	– strojní náklady na výrobu jednoho kusu,
$H_{OHA}$ [Kč.h <sup>-1</sup> ]	– hodinová sazba obrážecího stroje OHA 50 A,
$t_{cOHAPM}$ [min]	– celkový čas výroby 1 ks pro nástroj PM.

Pro celkové náklady je nutné započítání nákladů na nástrojové vybavení. V tomto případě se jedná o pořizovací cenu nástroje. Do celkových nákladů je započítáno několikanásobné přeastření a následné povlakování nástroje. Nástroj je nutné ostřit po 4 obrobených kusech. Obvyklý možný počet přeastření jednoho nástroje je 30 ostření. Jedním nástrojem lze tedy obrobit 124 ks těchto ozubených kol. Cena obrážecího kolečka, přeastřování a povlakování byla rozpočítána do celkového možného počtu obrobených kusů nástrojem viz výpočet 4.7. Z hlediska obrobení pouze 4 dílců je pro výrobní dávku nutné střídání více nástrojů, aby se nepřerušila výroba kvůli přeastřování a povlakování nástroje. Souhrn známých, vypočtených parametrů a firemní náklady jsou shrnuty v tab. 4.2.

Rozložení ceny nástroje na výrobu jednoho kusu.

$$C_{NPM} = \frac{o_{ostPM} \cdot (c_{ostPM} + c_{povlak}) + N_{nPM}}{(o_{ostPM} \cdot n_{kPM}) + n_{kPM}} = \frac{30 \cdot (600 + 300) + 12\,550}{(30 \cdot 4) + 4} = 319,0 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

kde:

$C_{NPM}$ [Kč]	– nástrojové náklady na kus PM nástrojem,
$o_{ostPM}$ [–]	– maximální počet přeastření nástroje,
$n_{kPM}$ [ks]	– množství obrobených kusů na 1 břit PM nástrojem,
$c_{ostPM}$ [Kč]	– cena přeastření PM nástroje,
$c_{povlak}$ [Kč]	– cena povlakování,
$N_{nPM}$ [Kč]	– cena PM nástroje.

Tab. 4.2. Kalkulace nákladů na jeden kus při stávající technologii výroby [14].

Nástroj - Obrážecí kolečko PM			
Cena nástroje	$N_{nPM}$	12 550,0	[Kč]
Množství obrobených kusů na 1 břit	$n_{kPM}$	4,0	[ks]
Max. počet přeastření	$O_{ostPM}$	30,0	[-]
Cena přeastření	$C_{ostPM}$	600,0	[Kč]
Cena povlakování	$C_{povlak}$	300,0	[Kč]
Strojní čas	$t_{ASPM}$	112,1	[min]
Čas přípravy výroby na 1 ks	$t_{BOHA}$	6,8	[min]
Celkový čas výroby 1 ks	$t_{cOHAPM}$	118,9	[min]
Strojní náklady na výrobu jednoho kusu	$C_{SOHAPM}$	1 684,5	[Kč]
Nástrojové náklady na 1 kus	$C_{NPM}$	319,0	[Kč]
Celková cena na 1 obrobený kus	$C_{OHAPM}$	2 003,5	[Kč]

Celková cena na jeden obrobený kus PM nástrojem na stroji OHA 50 A je dána součtem strojních a nástrojových nákladů viz výpočet 4.8.

$$C = C_N + C_S = 319,0 + 1\,684,5 = 2\,003,5 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde:

$C_{OHAPM}$	[Kč]	– celková cena na 1 obrobený kus PM nástrojem,
$C_{NPM}$	[Kč]	– nástrojové náklady na kus PM nástrojem,
$C_{SOHAPM}$	[Kč]	– strojní náklady na výrobu jednoho kusu,

Celkové náklady na jeden obrobený kus při operaci obrážení ozubení na stroji OHA 50 monolitním nástrojem jsou ve výši 2 003,5 Kč.

## 5 INOVACE VÝROBNÍHO PROCESU

Jako inovace výrobní technologie byly navrženy dvě možnosti. V obou případech se uvažuje o rozšíření strojového parku. První možností je investice do nového obrážecího stroje OHA 50 CNC 5 od firmy TOS Čelákovice a to společně s použitím nástroje s VBD od firmy SECO. Další možnost je založena na rozšíření strojového parku o obráběcí centrum Gleason 600PS s technologií Power Skiving. Výpočty pro úsporu na jednom kusu jsou vztaženy k výrobní dávce ozubených kol s ohledem na náklady spojené s opotřebením nástrojů.

### 5.1 Výpočet nákladů na hodinu provozu obrážecího stroje OHA 50 CNC 5

Pro variantu nového obrážecího stroje byl vybrán stroj od výrobce TOS Čelákovice OHA 50 CNC 5 (obr. 5.1). Na základě vystavené nabídky byly vypočteny hodnoty pro odpis a hodinovou sazbu stroje. Parametry stroje jsou uvedeny v příloze 10 [35].



Obr. 5.1 Obrážecí stroj OHA 50 CNC 5 [35].

V tab. 5.1 jsou vypsány údaje pro výpočet hodinové sazby stroje. Pořizovací cena stroje již obsahuje nástrojové vybavení, příslušenství a jsou v ní také započítány náklady na instalaci stroje. Nástroj jako takový je započítán do nákladů obrobění jednoho kusu série viz kap. 5.2. Náklady na demontáž a likvidaci stroje nejsou v dlouhodobém výhledu plánovány, a proto nejsou ve výpočtu zahrnuty.

Tab. 5.1 Souhrn údajů pro odpis a hodinovou sazbu obrázcího stroje [36].

Požizovací cena stroje	$C_{STOHA5CNC}$	10 359 775,0	[Kč]
Průměrný počet hodin za měsíc	$D_{prac}$	140,0	[-]
Více směnný provoz	$n_{směn}$	3,0	[-]
Počet pracovních měsíců	$n_{měs}$	11,0	[-]
Doba odpisu stroje	$n_{let}$	5,0	[-]
Průměrná hodinová mzda obsluhy	$M$	205,4	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Náklady na energie	$E$	143,0	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Celková režie	$R$	514,0	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Odpis stroje OHA 50 CNC	$O_{strojOHA5CNC}$	448,5	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Hodinová sazba stroje CNC	$H_{OHA5CNC}$	1 310,9	[Kč.h <sup>-1</sup> ]

Odpisy stroje  $O_{strojOHA5CNC}$  a hodinová sazba  $H_{OHA5CNC}$  jsou vypočteny pro třísměnný provoz po osmi pracovních hodinách dle vzorce 5.1 a 5.2. Doba odpisu byla zvolena na dobu pěti let, jako doba standardní pro daný typ odpisů.

Výpočet odpisu nového obrázcího stroje OHA 50 CNC 5 pro třísměnný provoz:

$$O_{stroj} = \frac{C_{ST}}{D_{prac} \cdot n_{směn} \cdot n_{měs} \cdot n_{let}} = \frac{10\,359\,775}{140 \cdot 3 \cdot 11 \cdot 5} = 448,5 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1} \quad (5.1)$$

kde:

$O_{strojOHA5CNC}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodnota odpisu stroje OHA 50 CNC 5 na jednu hodinu,
$C_{STOHA5CNC}$	[Kč]	– pořizovací cena stroje OHA 50 CNC 5,
$D_{prac}$	[-]	– průměrný počet pracovních hodin za měsíc,
$n_{směn}$	[-]	– počet pracovních směn,
$n_{měs}$	[-]	– počet pracovních měsíců v roce,
$n_{let}$	[-]	– doba odpisu stroje.

Hodinová sazba stroje OHA 50 CNC 5 pro třísměnný provoz:

$$H = M + E + R + O_{stroj} = 205,4 + 143 + 514 + 448,5 = 1\,310,9 \text{ Kč} \cdot \text{h}^{-1} \quad (5.2)$$

kde:

$H_{OHA5CNC}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodinová sazba stroje OHA 50 CNC 5,
$M$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodinová mzda obsluhy,
$E$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodinové náklady na energie,
$R$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– celkové režijní náklady,
$O_{strojOHA5CNC}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodnota odpisu stroje OHA 50 CNC 5 na jednu hodinu.

Na základě výpočtů byla stanovena hodinová sazba obrážecího stroje pro třísměnný provoz, která činí  $1\,310,9 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$ . Hodnota odpisu stroje je ve výši  $448,5 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$ .

## 5.2 Náklady na jeden obrobený kus při výrobě na stroji OHA 50 CNC 5

Tato podkapitola se zabývá výpočtem nákladů na jeden obrobený kus na stroji OHA 50 CNC nástrojem s VBD do firmy Seco viz obr. 5.2. Po obvodu nástroje je vsazeno 19 břitových destiček. Každá z těchto destiček obsahuje 2 břity a je ji tedy možné  $1\times$  otočit. Počet obrobených kusů na jeden břit nástroje byl stanoven na základě obdobného výrobního procesu na 15 kusů. Při otočení břitových destiček lze obrobit 30 kusů.



Obr. 5.2 Obrážecí nástroj s VBD od výrobce Seco.

Strojní čas  $t_{ASVBD}$  byl stanoven výrobcem nástroje na 26,6 minuty, viz příloha 11. Společně byly dodány cenové náklady na tělo a VBD. Přípravný čas  $t_{BC}$  na stroji OHA 50 CNC 5 je shodný se současným stavem výroby. Celkový čas výroby 1 kusu  $t_{COHAVBD}$  je dán součtem strojních časů a času přípravy práce na výrobní dávku 20 kusů dle vzorce 4.5. Strojní náklady na výrobu jednoho kusu nástrojem s VBD  $C_{SOHAVBD}$  byly vypočteny dle vztahu 4.6 na 729,8 Kč. Náklady na nástrojové vybavení a břitové destičky  $C_{NVBD}$  jsou vypočteny dle vztahu 5.3. Celková cena na 1 obrobený kus  $C_{OHAVBD}$  viz vzorec 4.8. Tab. 5.2 obsahuje souhrn hodnot, ze zdrojů firmy Wikov MGI a.s. a od výrobce nástroje Seco, potřebných k výpočtům a také vypočtené hodnoty na základě uvedených vztahů.

Do celkových nákladů jsou započítány náklady na nástrojové vybavení. Jedná se o pořizovací cenu nástroje a také náklady na břitové destičky. Cena jedné sady, tedy 19 ks VBD, je 15 010 Kč. Cena těla nástroje je rozpuštěna do většího množství kusů jelikož se tělo nástroje teoreticky neopotřebovává.

Rozložení ceny nástroje na výrobu jednoho kusu.

$$C_{NVBD} = \frac{C_{sadVBD}}{n_{kVBD}} + \frac{N_{nVBD}}{1\,000} = \frac{15\,010}{30} + \frac{48\,750}{1\,000} = 549,1 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

kde:

- $C_{NVBD}$  [Kč] – nástrojové náklady na kus nástrojem s VBD,  
 $C_{sadVBD}$  [Kč] – cena sady VBD,  
 $n_{kVBD}$  [ks] – množství obrobených kusů na 1 sadu VBD,  
 $N_{nVBD}$  [Kč] – cena nástroje s VBD.

Tab. 5.2 Souhrn hodnot a kalkulace nákladů pro nástroj s VBD od firmy Seco [36].

Nástroj - Obrážecí kolečko s VBD			
Hodinová sazba obrážecího stroje OHA 50 CNC 5	$H_{OHACNC}$	1 310,9	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Počet kusů výrobní dávky	$n_{Vd}$	20,0	[ks]
Množství obrobených kusů na 1 sadu VBD	$n_{kVBD}$	30,0	[ks]
Cena nástroje	$N_{nVBD}$	48 750,0	[Kč]
Cena jedné sady VBD	$C_{sadVBD}$	15 010,0	[Kč]
Čas přípravy výroby na stroji OHA 50	$t_{BCOHA}$	135,0	[min]
Strojní čas	$t_{ASVBD}$	26,6	[min]
Čas přípravy výroby na 1 ks	$t_{BOHA}$	6,8	[min]
Celkový čas výroby 1 ks	$t_{cOHAVBD}$	33,4	[min]
Strojní náklady na výrobu jednoho kusu	$C_{SOHAVBD}$	729,8	[Kč]
Nástrojové náklady na 1 kus	$C_{NVBD}$	549,1	[Kč]
Celková cena na 1 obrobený kus	$C_{OHAVBD}$	1 278,9	[Kč]

Celkové náklady na jeden obrobený kus  $C_{OHAVBD}$  při operaci obrázení ozubení na stroji OHA 50 CNC 5 nástrojem s VBD jsou ve výši 1 278,9 Kč.

### 5.3 Výpočet nákladů na hodinu provozu stroje Gleason 600PS

Z firem zabývajících se výrobou strojů s technologií frézování Power Skiving byla vybrána firma Gleason, která na základě vyráběného dílu navrhla stroj 600PS a poskytla časovou studii obrábění společně s finančními náklady na pořízení stroje a nástrojového vybavení.

Stroj 600PS (obr. 5.3) je obráběcí centrum vhodné pro výrobu válcových vnitřních a vnějších ozubených kol. Díky velmi tuhé konstrukci je možné využití v širším rozsahu velikostí modulu zubu, a to až do velikosti modulu  $m = 6$  mm. Další parametry stroje jsou uvedeny v příloze 12 [33].



Obr. 5.3 Obráběcí stroj Gleason 600PS [33].

V tab. 5.3 jsou uvedeny pořizovací a režijní náklady na hodinový provoz stroje. Pořizovací cena stroje již obsahuje nástrojové vybavení, příslušenství a jsou v ní také započítány náklady na instalaci stroje. Nástroj jako takový je započítaný do nákladů obrobení jednoho kusu série viz kap. 5.4. Náklady na demontáž a likvidace stroje nejsou v dlouhodobém výhledu plánovány, a proto nejsou ve výpočtu zahrnuty. Odpisy stroje  $O_{\text{strojPS}}$  a hodinová sazba  $H_{\text{PS}}$  jsou vypočteny pro třisměnný provoz po osmi pracovních hodinách na základě vzorce 5.1 a 5.2. Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v tab. 5.3. Doba odpisu byla zvolena po dobu pěti let, jako doba standardní pro daný typ odpisů.

Tab. 5.3 Souhrn údajů pro odpis a hodinovou sazbu stroj Gleason [37].

Pořizovací cena stroje	$C_{\text{STPS}}$	21 627 480,0	[Kč]
Průměrný počet hodin za měsíc	$D_{\text{prac}}$	140,0	[-]
Více směnný provoz	$n_{\text{směn}}$	3,0	[-]
Počet pracovních měsíců	$n_{\text{mēs}}$	11,0	[-]
Doba odpisu stroje	$n_{\text{let}}$	5,0	[-]
Průměrná hodinová mzda obsluhy	$M$	205,4	[Kč·h <sup>-1</sup> ]
Náklady na energie	$E$	143,0	[Kč·h <sup>-1</sup> ]
Celková režie	$R$	514,0	[Kč·h <sup>-1</sup> ]
Odpis stroje 600PS	$O_{\text{strojPS}}$	936,3	[Kč·h <sup>-1</sup> ]
Hodinová sazba stroje 600PS	$H_{\text{PS}}$	1 798,7	[Kč·h <sup>-1</sup> ]

Pro další výpočty se uvažuje využívání stroje ve třisměnném provozu při hodinové sazbě 1 798,7 Kč·h<sup>-1</sup>.

#### 5.4 Náklady na jeden obrobený kus při výrobě na stroji Gleason 600PS

Společnost Gleason dodala časovou studii na požadovaný dílec při použití jednoho monolitního nástroje, o průměru 126 mm s 23 zuby, pro celý proces obrábění viz obr. 3.12 b). Strojní čas této technologie  $t_{ASPS}$  je dle studie výrobce 5,2 minuty [37].

Čas přípravy výroby  $t_{BCPS}$  na stroji byl stanoven na základě zkušeností technologů na 150 minut. Výpočet přípravného času  $t_{BPS}$  na jeden dílec při výrobní dávce 20 kusů viz vzorec 4.4. Celkový strojní čas technologie Power Skiving na jeden kus  $t_{cPS}$  je dán součtem strojního času a přípravného času, viz vzorec 4.5. Strojní náklady na výrobu jednoho kusu  $C_{SPS}$ , viz výpočet 4.6.

Do celkové ceny výroby jednoho kusu  $C_{PS}$  jsou započítány náklady na nástrojové vybavení  $C_{NPS}$ . V tomto případě se jedná o pořizovací cenu nástroje, přebroušování a povlakování frézovacího nástroje viz výpočet 5.4. Výrobce nástroje udává počet 40 ks obrobených dílů na jeden břit, přičemž lze nástroj přibližně 20× přeastřit.

Rozložení ceny nástroje na výrobu jednoho kusu.

$$C_{NPS} = \frac{o_{ostPS} \cdot (c_{ostPS} + c_{povlak}) + N_{nPS}}{(n_{kPS} \cdot o_{ostPS}) + n_{kPS}} \quad (5.4)$$

$$= \frac{20 \cdot (2\,000 + 300) + 37\,250}{(40 \cdot 20) + 40} = 99,1 \text{ Kč}$$

kde:

$C_{NPS}$	[Kč]	– nástrojové náklady na 1 kus frézovacím nástrojem,
$o_{ostPS}$	[–]	– max. počet přeastření frézovacího nástroje,
$c_{ostPS}$	[Kč]	– cena přeastření frézovacího nástroje,
$c_{povlak}$	[Kč]	– cena povlakování,
$N_{nPS}$	[Kč]	– cena frézovacího nástroje,
$n_{kPS}$	[ks]	– množství obrobených kusů na 1 břit.

Tab. 5.4 Souhrn hodnot a kalkulace nákladů pro frézovací nástroj Gleason [37].

Nástroj - Frézovací nástroj pro technologii Power Skiving			
Hodinová sazba obráběcího stroje Gleason 600PS	$H_{PS}$	1 798,7	[Kč.h <sup>-1</sup> ]
Počet kusů výrobní dávky	$n_{Vd}$	20,0	[ks]
Množství obrobených kusů na 1 břit	$n_{kPS}$	40,0	[ks]
Max. počet přeostření	$O_{ostPS}$	20,0	[-]
Cena přeostření	$C_{ostPS}$	2 000,0	[Kč]
Cena povlakování	$C_{povlak}$	300,0	[Kč]
Cena nástroje	$N_{nPS}$	37 250,0	[Kč]
Čas přípravy výroby pro celou sérii na stroji 600PS	$t_{BCPS}$	150,0	[min]
Strojní čas	$t_{ASPS}$	5,2	[min]
Čas přípravy výroby na 1 ks	$t_{BPS}$	7,5	[min]
Celkový čas výroby 1 ks	$t_{cPS}$	12,7	[min]
Strojní náklady na výrobu jednoho kusu	$C_{SPS}$	380,8	[Kč]
Nástrojové náklady na 1 kus	$C_{NPS}$	99,1	[Kč]
Celková cena na 1 obrobený kus	$C_{PS}$	479,9	[Kč]

Celkové náklady na jeden obrobený kus  $C_{PS}$  při operaci frézování metodou Power Skiving na stroji 600PS jsou dle vzorce 4.8 ve výši 479,9 Kč.

## 6 TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení je zaměřeno na porovnání dvou nově navržených variant technologie výroby vůči stávajícímu procesu. V další části se jedná o návratnosti investice v závislosti na celkovém ročním objemu výroby obdobných dílců jako je unašeč, pro který byly výše počítané výrobní náklady na strojích OHA 50 CNC 5 a Gleason 600PS.

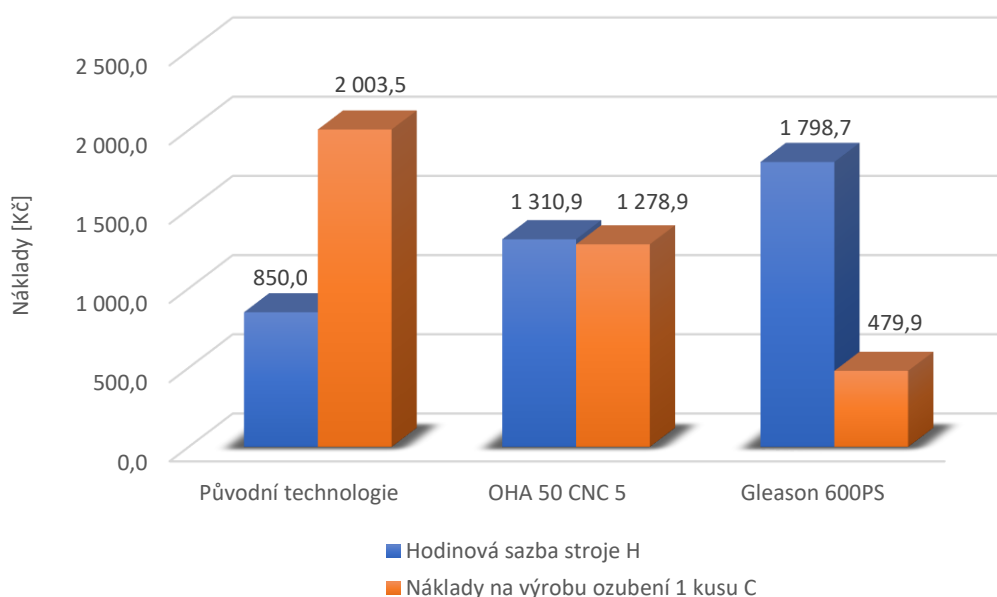
### 6.1 Porovnání stávajícího a nově navržených technologií

Po propočtu hodinových nákladů na provoz navržených technologií byly vypočteny náklady na výrobu jednoho kusu viz grafická závislost na obr. 6.1. Ve všech variantách bylo počítáno s výrobní dávkou 20 ks. Hodinové náklady byly počítány pro třísměnný provoz.

Náklady na obrobení ozubení stávající technologií výroby na stroji OHA 50 A, s hodinovou sazbou  $850 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$ , monolitním obrážecím kolečkem jsou  $2\,003,5 \text{ Kč}$ . Výrobní čas dílce je 118,9 minut.

Při využití odvalovacího obrážecího stroje OHA 50 CNC 5 a nástroje s VBD byly náklady na výrobu ozubení jednoho kusu unašeče vypočteny na  $1\,278,9 \text{ Kč}$  při výrobním času obrázení ozubení 33,4 minuty. Hodinová sazba stroje byla vypočtena na  $1\,310,9 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Technologií Power Skiving na obráběcím stroji Gleason 600PS byly náklady na ozubení, díky velmi krátkému výrobnímu času 12,7 min i při vyšší hodinové sazbě  $1\,798,7 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$ , vypočteny na  $479,9 \text{ Kč}$ .

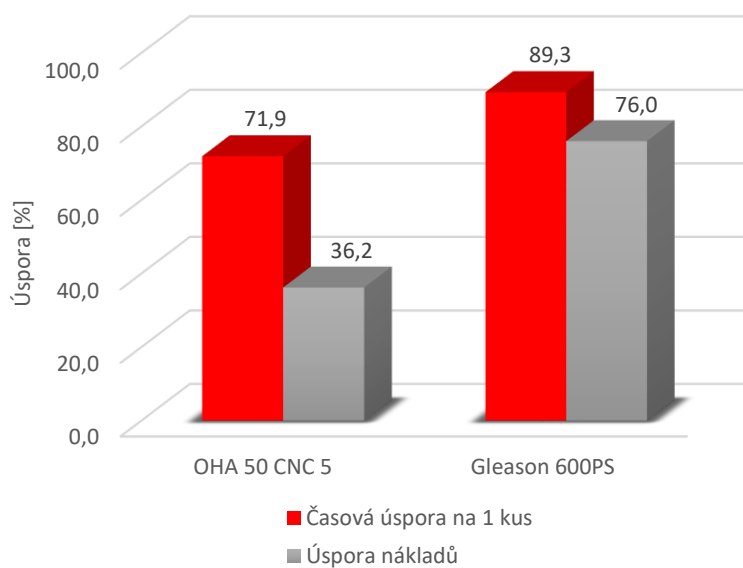


Obr. 6.1 Znárodnění hodinové sazby stroje a nákladů na výrobu ozubení jednoho dílce.

Z výpočtů vyplývá, že výroba pomocí technologie Power Skiving by byla pro tento konkrétní dílec vhodnější. Souhrn vypočtených hodnot viz tab. 6.1. V porovnání se stávajícími technologiemi jsou náklady na výrobu jednoho kusu nižší o 1 523,6 Kč tedy o 76 %. Čas výroby jednoho dílce je o 106,2 min, tj. 89,3 % kratší. Úspora výroby jednoho kusu unašeče by na stroji OHA 50 CNC 5 byla oproti stávající technologii 724,6 Kč což činí úsporu 36,2 %. Úspora času je 85,5 min, tj. 71,9 %, viz graf na obr. 6.2.

Tab. 6.1 Úspory při změně technologie.

			Původní technologie	OHA 50 CNC 5	Gleason 600PS
Hodinová sazba stroje	H	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	850,0	1 310,9	1 798,7
Náklady na výrobu ozubení 1 kusu	C	[Kč]	2 003,5	1 278,9	479,9
Celkový čas výroby	t <sub>c</sub>	[min]	118,9	33,4	12,7
Časová úspora na 1 kus	U <sub>tc</sub>	[%]	–	71,9	89,3
Úspora nákladů na 1 kus	U <sub>Nk</sub>	[Kč]	–	724,6	1 523,6
Úspora nákladů	U <sub>Nk</sub>	[%]	–	36,2	76,0



Obr. 6.2 Úspora navržených technologií.

## 6.2 Zhodnocení návratnosti investice

Návratnost investice byla vypočtena na základě celkového možného ročního objemu vyráběných dílců. Dílce jsou pro výpočet uvažovány jako obdobné vzhledem k unašeči viz příloha 1, u které se také předpokládá navýšení výroby v dalších letech. Celkový roční objem vyráběných kusů je stanoven dle výpočtu 6.1. Pro celkový objem se uvažuje naplnění kapacit 2 obráběcích strojů OHA 50 a jednoho stroje OHA 32 ve třisměnném provozu, které jsou také ve strojovém parku firmy. Pro třisměnný provoz činí časový fond jednoho stroje  $4\,620\text{ h}\cdot\text{rok}^{-1}$ , pro 3 stroje pak  $13\,860\text{ h}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Uvažovaný průměrný čas výroby jednoho kusu na těchto strojích jsou 2 hodiny.

Celkový roční objem vyráběných kusů.

$$N_R = \frac{T_f \cdot n_{\text{stroj}}}{t_{cp}} = \frac{4\,620 \cdot 3}{2} = 6\,930\text{ Ks} \quad (6.1)$$

kde:

$N_R$	[ks]	– celkový roční objem vyráběných kusů,
$T_f$	[h·rok <sup>-1</sup> ]	– časový fond stroje,
$n_{\text{stroj}}$	[ks]	– počet výrobních strojů,
$t_{cp}$	[h]	– výrobní čas obecného dílce.

Pro nově navržené technologie se uvažuje výroba 6 930 ks při výrobním čase 0,6 hodiny pro variantu na odvalovacím stroji OHA 50 CNC 5, a času 0,3 hodiny při výrobě na obráběcím centru Gleason 600PS. Vzorové výpočty jsou provedeny pro stroj OHA 50 CNC 5. V tab. 6.2 jsou uvedeny vypočtené hodnoty pro všechny varianty.

Dle vzorce 6.2 je vypočteno časové využití stroje při výrobě 6 930 ks typových dílců.

$$T_R = N_R \cdot t_{cp} = 6\,930 \cdot 0,6 = 4\,158\text{ h} \quad (6.2)$$

kde:

$T_R$	[h]	– počet hodin na stroji,
$N_R$	[ks]	– celkový roční objem vyráběných kusů,
$t_{cp}$	[h]	– výrobní čas obecného dílce.

Celková roční úspora  $U_R$  je dána rozdílem výrobních nákladů  $C_R$  na stroji za rok, viz vzorový výpočet 6.3. Jedná se o rozdíl výrobních nákladů současného stavu výroby  $C_{Rst}$  vůči nově navržené technologii výroby.

$$U_{ROHACNC} = C_{Rst} - C_{ROHACNC} = (H_{st} \cdot T_{Rst}) - (H_{OHACNC} \cdot T_{ROHACNC}) \\ = (850 \cdot 13\,860) - (1\,310,9 \cdot 4\,158) = 6\,330\,277,8 \text{ Kč} \quad (6.3)$$

kde:

$U_{ROHACNC}$	[Kč]	– celková roční úspora na stroji OHA 50 CNC 5,
$C_{Rst}$	[Kč]	– výrobní náklady stávajícího stavu výroby,
$C_{ROHACNC}$	[Kč]	– výrobní náklady na stroji OHA 50 CNC 5,
$H_{st}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodinová sazba obrážecího stroje,
$H_{OHACNC}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	– hodinová sazba stroje OHA 50 CNC 5,
$T_{Rst}$	[h]	– počet výrobních hodin na 3 strojích,
$T_{ROHACNC}$	[h]	– počet výrobních hodin na stroji OHA 50 CNC 5.

Návratnost investice do nového obráběcího stroje byla vypočtena jako podíl celkových nákladů na nákup stroje a strojního vybavení  $C_{ST}$  ku roční úspoře nákladů dané technologie  $U_R$  při výrobě ročního objemu 6 930 ks typových dílů, viz výpočet 6.4.

$$N_I = \frac{C_{ST}}{U_R} = \frac{10\,359\,775}{6\,330\,277,8} = 1,64 \text{ roku} \quad (6.4)$$

kde:

$N_I$	[rok]	– výrobní náklady za rok,
$C_{ST}$	[Kč]	– cena stroje,
$U_R$	[h]	– celková roční úspora.

Tab. 6.2 Porovnání a návratnost investice do nových technologií [36, 37].

Porovnání technologií			Původní technologie	Výroba na stroji OHA 50 CNC 5	Výroba na stroji Gleason 600PS
Vyrobené množství za rok	$N_R$	[Ks]	6 930,0	6 930,0	6 930,0
Časová norma	$t_{cp}$	[h]	2,0	0,6	0,3
Počet hodin za rok	$T_R$	[h]	13 860,0	4 158,0	2 079,0
Počet strojů	$n_{stroj}$	[ks]	3,0	1,0	1,0
Počet směn	$n_{směn}$	[-]	3,0	3,0	3,0
Volný čas technologie	$T_{RV}$	[h]	0,0	462,0	2 541,0
Hodinová sazba	$H$	[Kč]	850,0	1 310,9	1 798,7
Výrobní náklady za rok	$C_R$	[Kč]	11 781 000,0	5 450 722,2	3 739 497,3
Celková roční úspora	$U_R$	[Kč]	–	6 330 277,8	8 041 502,7
Cena stroje	$C_{ST}$	[Kč]	–	10 359 775,0	21 627 480,0
Návratnost investice	$N_I$	[rok]	–	1,64	2,69

Z výpočtů a hodnot uvedených v tab. 6.2 vyplývá, že časová návratnost investice je u varianty nového obrážecího stroje OHA 50 CNC 5 přibližně o jeden rok, oproti variantě investice do stroje Gleason 600PS, rychlejší. Stroj OHA 50

CNC 5 je na základě časového ročního fondu možné využít ve třisměnném provozu, přičemž jeho volný časový fond při daném objemu práce  $T_{RV}$  činí 462 hodin.

Návratnost investice do nového stroje Gleason 600PS s technologií Power Skiving činí 2,69 roku. Důvodem jsou dražší náklady na pořízení této technologie. Díky vysoké produktivitě výroby by roční objem práce zaplnil stroj pouze na 2 079 hodin. Pro rychlejší návratnost investice je vhodné využití stroje ve třisměnném provozu a při vysoké produktivitě technologie Power Skiving by to znamenalo nutnost získání vysokého počtu dalších zakázek pro naplnění kapacity stroje. Tím by bylo zapotřebí navýšit objem práce o více jak 120 % oproti současnému objemu výroby 6 930 kusů. Celkový počet obráběných dílů by pak činil přibližně 15 400 kusů.

Změna návratnosti investice může být ovlivněna nárůstem nákladů hodinové mzdy obsluhy, cenou energií a režijních nákladů. Z tohoto hlediska má pak největší vliv na dobu návratnosti hodnota režijních nákladů. Při navýšení o 10 % vzroste u obráběcího stroje návratnost o 3 %, u druhé varianty pak o 1,5 %.

### 6.3 Technicko–ekonomické zhodnocení dílčích variant

Volba mezi technologiemi Power Skiving a odvalovacím obrážením metodou Fellows závisí zejména na specifikaci obráběného dílce. Velmi důležitým faktorem pro volbu technologie je geometrie obrobku. Skiving je limitován velikostí nástroje, který je poměrně větší než obráběcí kolečko pro metodu Fellows na stejném dílci. Navíc je osa nástroje vychýlena od osy obrobku, což také limituje použití této metody na některé dílce. Vysoká kvalita obrábění při tak vysoké produktivitě, (zhruba třikrát rychlejší než obrázení na stejném dílci) jsou velké výhody Skivingu, zároveň je mnohem ekonomičtější pro velké série. Výhodou obrázení je naopak jeho všestrannost a hlavně cena jak strojního tak nástrojového vybavení.

Produktivnější variantou je obrábění technologií Power Skiving. Naproti tomu je ovšem naplnění stroje právě díky vysoké produktivitě nepříznivé. Vzhledem k nedostatku práce na tento stroj by bylo jeho nízké využití neekonomické. Z tohoto důvodu by mohla být investice do nového odvalovacího obráběcího stroje OHA 50 CNC 5 vhodnější. Ve třisměnném provozu by tento jediný stroj postačil na pokrytí stávajícího ročního objemu práce, který nyní zastávají 2 odvalovací obráběcí stroje OHA 50 A a jeden stroj OHA 32 také ve tří směnném provozu.

V závislosti na volné kapacitě obou navržených technologií je možné zaplnit zbylý časový fond stroje kooperační výrobou. Při kooperační výrobě by byla zvýšena podniková hodinová sazba o hodnotu marže, čímž by se návratnost počáteční investice snížila. Zejména pak při kooperační výrobě na stroji Gleason, kde by bylo zapotřebí zajistit zakázky více než dvojnásobného počtu obráběných dílů za rok.

Při výpočtech nákladů na obrobený díl bylo počítáno s cenou nového řezného nástroje se započtením nákladů na přeostřování a povlakování, případně VBD, která byla pro názornost vlivu ceny nástroje rozpočítána do možného počtu obrobených kusů daným nástrojem. V tomto případě byla nejúspornější variantou technologie Power Skiving, a to zejména díky vysoké produktivitě a dlouhé

Životnosti frézovacího nástroje danou krátkým strojním časem 5,2 minuty. Náklady na obrobený kus jsou o 68,9 % nižší, než při použití monolitního obrážecího kolečka na stroji OHA 50 A. Maximální počet obrobených dílců je dle výrobce frézovacího nástroje přibližně 840 kusů včetně přebroušování a povlakování. Monolitním obrážecím kolečkem lze obrobit přibližně 124 dílců. U nástroje s VBD jsou náklady díky ceně břitových destiček naopak o 41,9 % vyšší.

## ZÁVĚR

Cílem studie bylo navržení nové technologie výroby, které by vedlo k zefektivnění výroby dílců s vnitřním ozubením. Při analýze stávajícího procesu byly zjištěny nedostatky v nízké produktivitě obrážecích strojů, jejich nespolehlivost a zastaralost.

Pro zefektivnění procesu obrábění ozubení byly navrženy 2 varianty. V obou případech se jednalo o investice do nových obráběcích strojů a současně také do nástrojového vybavení. Návržnost obou investic byla propočítána s ohledem na roční objem výroby obdobných dílců. První variantou je investice do nového obrážecího stroje OHA 50 CNC 5 od firmy TOS Čelákovice s využitím obrážecí hlavy s VBD od firmy Seco. Pro výrobu unašeče byly zjištěny tyto výsledky:

- úspora nákladů 724,6 Kč, tj. 36,2 % na jednom kusu,
- časová úspora 85,5 min, tj. 71,9 % na jednom kusu,
- vyšší produktivita stroje, nástroje,
- nahrazení 3 současných obrážecích strojů,
- návratnost investice 1,64 let,
- volná roční kapacita stroje 462 hodin (třisměnný provoz).

Druhou navrženou variantou byla investice do obráběcího stroje Gleason 600PS s technologií Power Skiving, pro kterou byly zjištěny tyto výsledky:

- úspora nákladů 1 453,3 Kč, tj. 71,7 % na jednom kusu,
- časová úspora 106,2 min, tj. 89,3 % na jednom kusu,
- vyšší produktivita stroje, nástroje,
- nahrazení 3 současných obrážecích strojů,
- návratnost investice 2,69 let,
- volná roční kapacita stroje 2 541 hodin (třisměnný provoz).

Za podmínek popsanych v technicko–ekonomickém zhodnocení byla jako vhodnější varianta zvolena investice do obrážecího stroje OHA 50 CNC 5. Hlavním důvodem je univerzálnost technologie, možnost výroby ozubení o větším modulu, využití vybavení a nástrojů ze současných obrážecích strojů a rychlejší návratnosti počáteční investice. Před přistoupením k investici by bylo vhodné zvážit ponechání některého ze stávajících obrážecích strojů pro případ zastupitelnosti výroby po čas servisu či poruchy nového stroje.

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

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MRKVICA, Ivan. *Současné trendy v obrábění ozubených kol* [online]. Ostrava, 2011, 120 s. [cit. 2018-04-10]. ISBN 978-80-248-2724-7. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2724-7.pdf>. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
2. *Komplexní problematika výroby ozubení*. Pardubice: Dům techniky ČSVTS Pardubice, 1983.
3. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s.: il; 30 cm. ISBN 978-80-214-4025-8.
4. ŠALAMOUN, Čestmír, Žofie RYZCOVÁ a Miloš SUCHÝ. *Čelní a šroubová soukolí s evolventním ozubením*. Praha: SNTL, 1990, 467 s: obr., tab., grafy, schémata; 24 cm. ISBN 80-03-00532-9.
5. In: *Pxhere* [online]. [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <https://pxhere.com/cs/photo/619867>
6. Techportal [online]. In: [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvhWt6GT3USXlrOMJEUSnuhAuwMRhvVNxevg1iCp7abrfsRA](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvhWt6GT3USXlrOMJEUSnuhAuwMRhvVNxevg1iCp7abrfsRA)
7. ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka I*. 13. vyd. Praha: SNTL, 1977, 1294 s.
8. *MITCalc: Čelní ozubení* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/gear1/help/cz/gear1.htm>
9. LITVIN, Faydor L. a Alfonso FUENTES. *Cycloidal Gearing. Gear Geometry and Applied Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004, s. 350-374. DOI: 10.1017/CBO9780511547126.015. ISBN 9780511547126.
10. ŠAFÁŘ, Michal. *Mezní možnosti evolventního ozubení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 27 s., vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
11. BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů 2. svazek*. 1990. SNTL Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00426-8.
12. Wildhaber–Novikovo ozubení [online]. In: [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?biw=1440&bih=769&tbm=isch&sa=1&ei=ZJYGJXCWH43trgTsrwBg&q=wildhaber+novikov+gears&oq=wildhaber+nov&gs\\_l=img.3.0.0i19j0i30i19.1022708.1030655..1032448...8.0.0.91.1745.21.....1....1..gws-wiz-img.....0j35i39j0i30j0i5i30i19j0i8i30i19.ZxfAB\\_Z22e4#imgrc=9BagoQ1Dq27zmM](https://www.google.cz/search?biw=1440&bih=769&tbm=isch&sa=1&ei=ZJYGJXCWH43trgTsrwBg&q=wildhaber+novikov+gears&oq=wildhaber+nov&gs_l=img.3.0.0i19j0i30i19.1022708.1030655..1032448...8.0.0.91.1745.21.....1....1..gws-wiz-img.....0j35i39j0i30j0i5i30i19j0i8i30i19.ZxfAB_Z22e4#imgrc=9BagoQ1Dq27zmM)
13. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
14. WIKOV MGI a.s. *Materiály firmy Wikov MGI a.s.* 2018.
15. SLIDEPLAYER. *SlidePlayer* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/9996250/>
16. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2., opr. a rozš. vyd.* Brno: CERM, 2002, 392 s: il; 25 cm. ISBN 80-7204-248-3.
17. BOLZANO: *Přehled vlastností oceli 42CrMo4* [online]. [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_42CrMo4.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf)
18. KECKSTEIN, Tomáš. *Posuvový mechanismus a vedení osy X a Z univerzálního hrotového soustruhu*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská universita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.

19. STENZEL [online]. [cit. 2018-12-06]. Dostupné z: <https://www.cnc-stenzel.de/dmg-ctx-600--8390.html>
20. MACHINE TOOL SOLUTIONS: *Starrageheckert - 5 axis miling* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <http://www.machinetoolsolutions.com.au/NewsItem.aspx?id=3>
21. Obráběcí a tvářecí stroje: OHA 50 A [online]. In: [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: [http://www.fmt-group.com/reference.php?kategorie=pouzite\\_stroje&pos=35](http://www.fmt-group.com/reference.php?kategorie=pouzite_stroje&pos=35)
22. MRKVICA, Ivan. *Speciální technologie, Výroba ozubených kol I*. Ostrava: VŠB, 2009. ISBN 978-80-248-1931-0.
23. Kasik Tools [online]. [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <http://www.kasiktools.cz/cz/>
24. KAFKA, Lukáš. *Deskripce ozubárenských strojů s tvarovým nástrojem* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008 [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/4717/2008\\_BP\\_Kafka\\_Lukas\\_76194.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/4717/2008_BP_Kafka_Lukas_76194.PDF?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce.
25. Mlgeardesign: *Protahování a protlačování* [online]. In: 2015, 9.3.2015 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/protahovani-a-protlacovani>
26. SÁMELOVÁ, Vendula. *Technologické parametry elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2009.
27. Trima [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <https://www.trima-edm.cz/stroje.html>
28. Sandvik Coromant: *Metoda Power skiving: Produktivní a flexibilní obrábění ozubených kol a drážkovaných hřídelů* [online]. 2018 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/news/pages/power-skiving.aspx?Country=cz>
29. MCGUINN, Jack. GEAR TECHNOLOGY: *Skiving Is Thriving on a Global Scale* [online]. Leden 2018, 42-47 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.geartechnology.com/issues/0118x/skiving.pdf>
30. TAPOGLOU, N. *Calculation of non-deformed chip and gear geometry in power skiving using a CAD-based simulation*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology [online]. Springer London, 2018, xocs:firstpage xmlns:xocs="" [cit. 2019-02-12]. DOI: 10.1007/s00170-018-2790-3. ISSN 02683768.
31. KLOCKE, Fritz, Christian BRECHER, Christoph LÖPENHAUS, Philipp GANSER, Julian STAUDT a Markus KRÖMER. *Technological and Simulative Analysis of Power Skiving*. Procedia CIRP [online]. Elsevier B.V, 2016, 50, 773-778 [cit. 2019-02-21]. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.052. ISSN 2212-8271. Dostupné z: [https://primo.lib.vutbr.cz/primo-explore/fulldisplay?docid=TN\\_sciversesciencedirect\\_elsevierS2212-8271\(16\)30508-X&context=PC&vid=420BUT&search\\_scope=Everything&tab=default\\_tab&lang=cs\\_CZ](https://primo.lib.vutbr.cz/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_sciversesciencedirect_elsevierS2212-8271(16)30508-X&context=PC&vid=420BUT&search_scope=Everything&tab=default_tab&lang=cs_CZ)
32. PITTLER T&S GMBH. *Power Skiving in complete machining* [online]. August 2017, 1-15 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: [http://www.dvs-gruppe.com/fileadmin/user\\_upload/pittler/images/PV315\\_630\\_Power\\_Skiving\\_En.pdf](http://www.dvs-gruppe.com/fileadmin/user_upload/pittler/images/PV315_630_Power_Skiving_En.pdf)
33. Gleason [online]. 2019 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.gleason.com/en>
34. WILLCUTT. *Modern Machine Shop: The Evolution of Gear Scudding* [online]. 11.2.2015 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmsonline.com/articles/the-evolution-of-gear-scudding>
35. SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a. s. [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/>
36. JANSKA, Karel. *Nacenění* [e-mailová komunikace]. 3. dubna 2019 16:32 [cit. 2019-05-23].

37. RŮŽIČKA, Petr. *Časová studie a nacenění* [e-mailová komunikace]. 22. března 2018 5:01 [cit. 2019-05-23].

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CNC	Computer numeric control
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EDM	Electrical Discharge Machining
ISO	International Organization for Standardization
PM	prášková metalurgie
PVD	Physical Vapour Deposition – povlakování nástrojů fyzikálním principem
RO	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
VBD	vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
$C_N$	[Kč]	nástrojové náklady na 1 kus
$C_{NPM}$	[Kč]	nástrojové náklady na 1 kus PM nástrojem
$C_{NPS}$	[Kč]	nástrojové náklady na 1 kus frézovacím nástrojem
$C_{NVBD}$	[Kč]	nástrojové náklady na 1 kus nástrojem s VBD
$C_{OHAPM}$	[Kč]	celková cena na 1 obrobený kus na stroji OHA 50 A
$C_{OHAVBD}$	[Kč]	celková cena na 1 obrobený kus na stroji OHA 50 CNC 5
$C_{PS}$	[Kč]	celková cena na 1 obrobený kus na stroji Gleason 600PS
$C_R$	[Kč]	výrobní náklady
$C_{ROHACNC}$	[Kč]	výrobní náklady na stroji OHA 50 CNC 5
$C_{Rst}$	[Kč]	výrobní náklady stávajícího stavu výroby
$C_S$	[Kč]	strojní náklady na výrobu jednoho kusu
$C_{SOHAPM}$	[Kč]	strojní náklady na výrobu jednoho kusu na stroji OHA 50 A
$C_{SOHAVBD}$	[Kč]	strojní náklady na výrobu jednoho kusu na stroji OHA 50 CNC 5
$C_{SPS}$	[Kč]	strojní náklady na výrobu jednoho kusu na stroji Gleason 600PS
$C_{ST}$	[Kč]	cena stroje
$C_{STOHACNC}$	[Kč]	pořizovací cena stroje OHA 50 CNC 5
$C_{STPS}$	[Kč]	pořizovací cena stroje PS
$D_{prac}$	[–]	průměrný počet hodin za měsíc
$E$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	náklady na energie
$H_{OHA}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	hodinová sazba obrážecího stroje OHA 50 A
$H_{OHACNC}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	hodinová sazba stroje OHA 50 CNC 5
$H_{PS}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	hodinová sazba obráběcího stroje Gleason 600PS
$H_{st}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	hodinová sazba obrážecího stroje
$L_b$	[mm]	výška zdvihu
$M$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	průměrná hodinová mzda obsluhy
$N_i$	[rok]	návratnost investice
$N_{nPM}$	[Kč]	cena PM nástroje
$N_{nPS}$	[Kč]	cena frézovacího nástroje
$N_{nVBD}$	[Kč]	cena nástroje s VBD
$N_R$	[ks]	celkový roční objem vyráběných kusů
$O_{stroj}$	[Kč.h <sup>-1</sup> ]	hodnota odpisu stroje na jednu hodinu

$O_{\text{strojOHA}}^{\text{CNC}}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	hodnota odpisu stroje OHA 50 CNC 5 na jednu hodinu
$O_{\text{strojPS}}$	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	hodnota odpisu stroje Gleason na jednu hodinu
R	[Kč·h <sup>-1</sup> ]	celková režie
R <sub>a</sub>	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti povrchu
T <sub>f</sub>	[h.rok <sup>-1</sup> ]	časový fond stroje
T <sub>R</sub>	[h]	počet výrobních hodin na stroji
T <sub>ROHA}^{\text{CNC}}</sub>	[h]	počet výrobních hodin na stroji OHA 50 CNC 5
T <sub>Rst</sub>	[h]	počet výrobních hodin na 3 strojích
T <sub>RV</sub>	[h]	volná kapacita stroje
U <sub>Nk</sub>	[%]	úspora nákladů na 1 ks
U <sub>R</sub>	[Kč]	celková roční úspora
U <sub>ROHA}^{\text{CNC}}</sub>	[Kč]	celková roční úspora na stroji OHA 50 CNC 5
U <sub>tc</sub>	[%]	časová úspora na 1 kus
b	[mm]	šířka ozubení
Cost <sub>PM</sub>	[Kč]	cena přeoštění PM nástroje
Cost <sub>PS</sub>	[Kč]	cena přeoštění frézovacího nástroje
C <sub>povlak</sub>	[Kč]	cena povlakování
C <sub>sadVBD</sub>	[Kč]	cena sady VBD
d	[mm]	průměr roztečné kružnice
d <sub>a</sub>	[mm]	průměr hlavové kružnice
d <sub>f</sub>	[mm]	průměr patní kružnice
f <sub>n</sub>	[mm]	posuv na dvojdvih
f <sub>nd</sub>	[mm]	posuv na dvojdvih pro dokončovací operace
f <sub>nh</sub>	[mm]	posuv na dvojdvih pro hrubovací operace
h	[mm]	výška zubu
h <sub>a</sub>	[mm]	výška hlavy zubu
h <sub>f</sub>	[mm]	výška paty zubu
h <sub>r</sub>	[mm]	hloubka řezu
h <sub>rd</sub>	[mm]	hloubka řezu pro dokončovací operace
h <sub>rh</sub>	[mm]	hloubka řezu pro hrubovací operace
i	[-]	převodový poměr
l <sub>n</sub>	[mm]	výška náběhu nástroje
l <sub>p</sub>	[mm]	výška přeběhu nástroje
m	[mm]	modul
n	[ot <sup>-1</sup> ]	otáčky ozubeného kola
n <sub>kPM</sub>	[ks]	množství obrobených kusů na 1 břit PM nástrojem
n <sub>kPS</sub>	[ks]	množství obrobených kusů na 1 břit frézovacím nástrojem
n <sub>kVBD</sub>	[ks]	množství obrobených kusů na 1 sadu VBD
n <sub>let</sub>	[-]	doba odpisu stroje
n <sub>més</sub>	[-]	počet pracovních měsíců
n <sub>n</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	počet dvojdvihů
n <sub>nd</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	počet dvojdvihů pro dokončovací řez
n <sub>nh</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	počet dvojdvihů pro hrubovací řez
n <sub>o</sub>	[-]	počet otáček obrobku
n <sub>od</sub>	[-]	počet otáček obrobku pro dokončovací řez
n <sub>oh</sub>	[-]	počet otáček obrobku pro hrubovací řez
n <sub>smén</sub>	[-]	více směnný provoz

$n_{\text{stroj}}$	[ks]	počet výrobních strojů
$n_{\text{Vd}}$	[ks]	počet kusů výrobní dávky
$O_{\text{ostPM}}$	[-]	maximální počet přeostření nástroje
$O_{\text{ostPS}}$	[-]	maximální počet přeostření frézovacího nástroje
$S_x$	[mm]	řezný posuv
$t_{\text{ASpd}}$	[min]	dokončovací strojní čas pro PM nástroj
$t_{\text{ASph}}$	[min]	hrubovací strojní čas pro PM nástroj
$t_{\text{ASPM}}$	[min]	strojní čas pro PM nástroj
$t_{\text{ASPS}}$	[min]	strojní čas na stroji Gleason 600PS
$t_{\text{ASVBD}}$	[min]	strojní čas pro nástroj s VBD
$t_{\text{BCOHA}}$	[min]	čas přípravy výroby na stroji OHA 50
$t_{\text{BCPS}}$	[min]	čas přípravy výroby na stroji Gleason 600PS
$t_{\text{BOHA}}$	[min]	čas přípravy výroby 1 ks na stroji OHA 50
$t_{\text{BPS}}$	[min]	čas přípravy výroby 1 ks na stroji Gleason 600PS
$t_{\text{cOHAPM}}$	[min]	celkový čas výroby 1 ks s monolitním PM nástrojem
$t_{\text{cOHAVBD}}$	[min]	celkový čas výroby 1 ks nástrojem s VBD
$t_{\text{cp}}$	[h]	výrobní čas obecného dílce
$t_{\text{cPS}}$	[min]	celkový čas výroby 1 ks
$V_0$	[m.min <sup>-1</sup> ]	obvodová rychlost nástroje
$V_2$	[m.min <sup>-1</sup> ]	obvodová rychlost obrobku
$V_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
$X$	[-]	korekční součinitel
$Z$	[-]	počet zubů
$\alpha$	[-]	úhel záběru
$\Delta w$	[°]	úhel natočení řezného nástroje
$\Sigma$	[°]	úhel sklonu nástroje

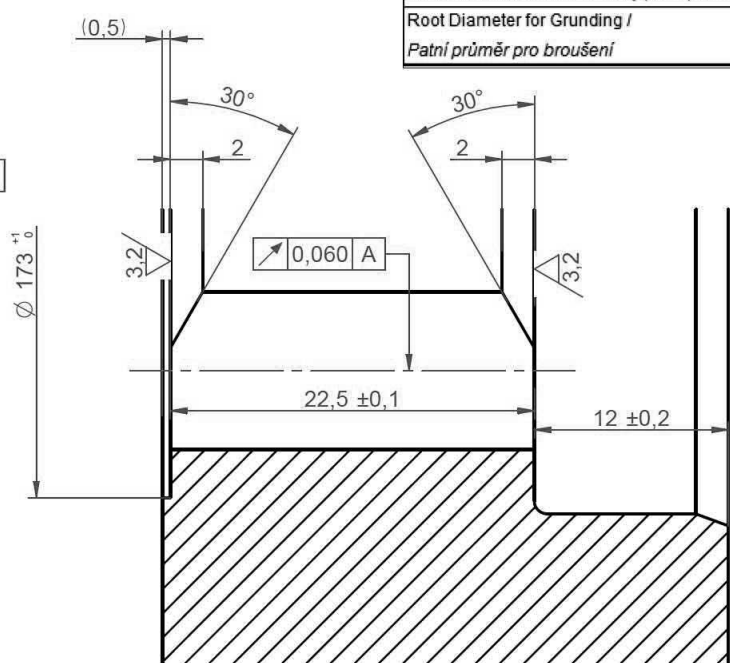
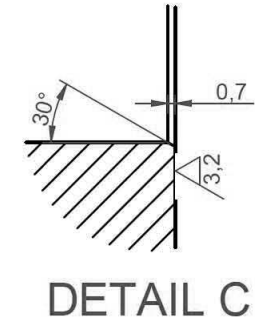
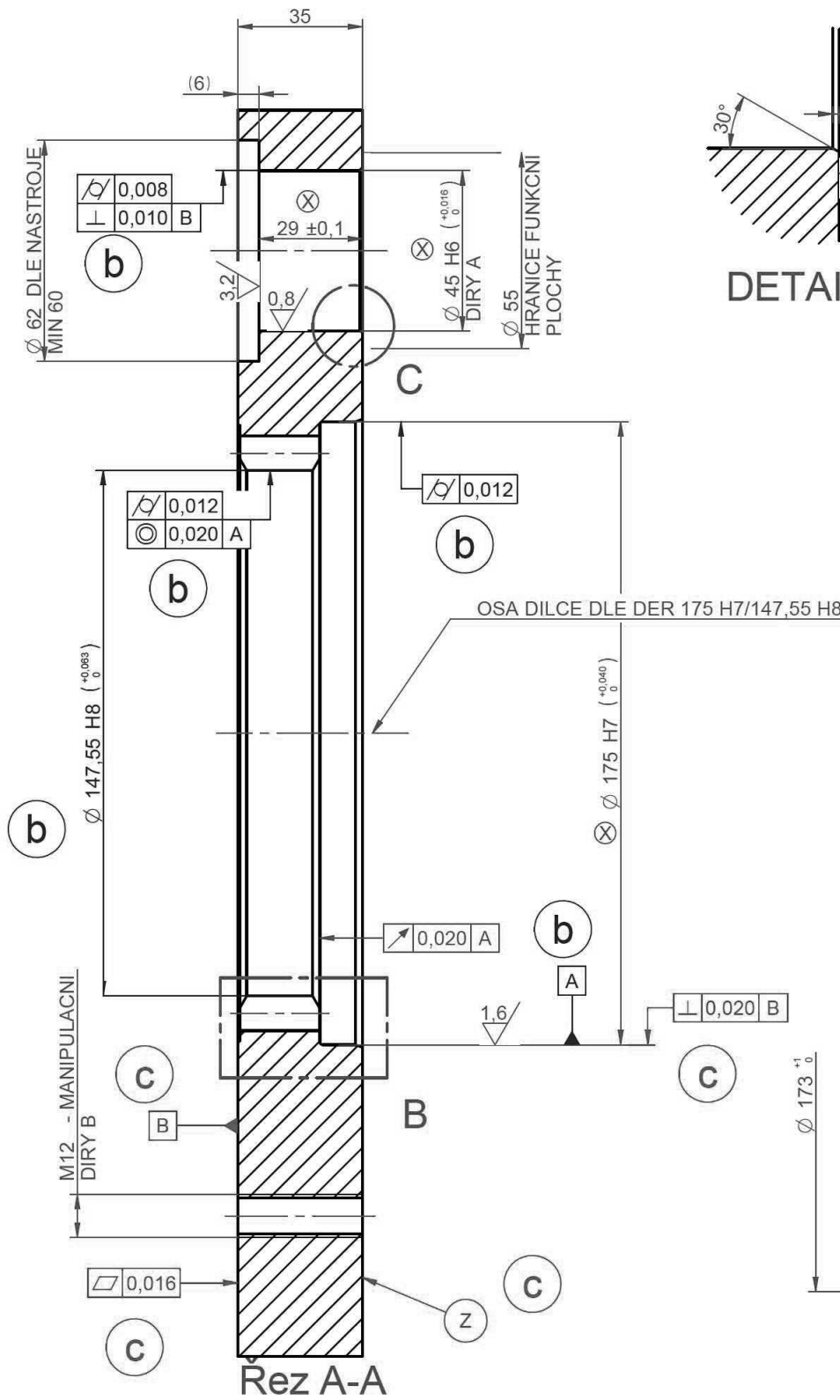
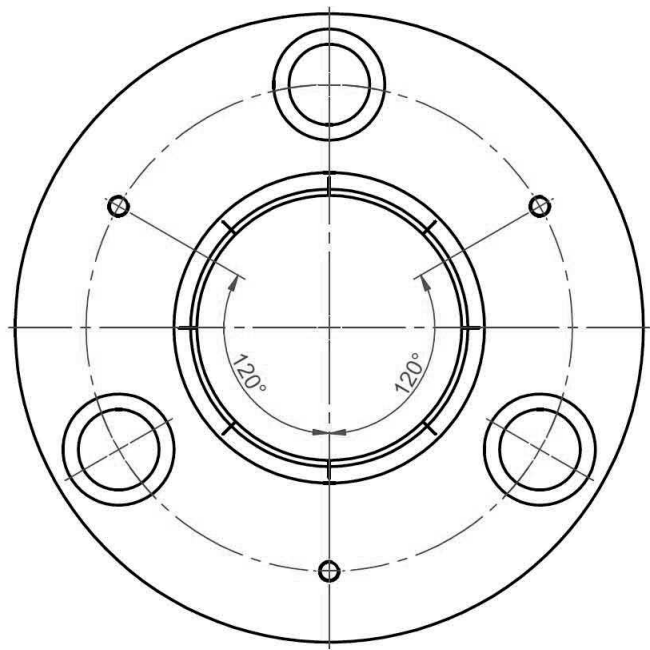
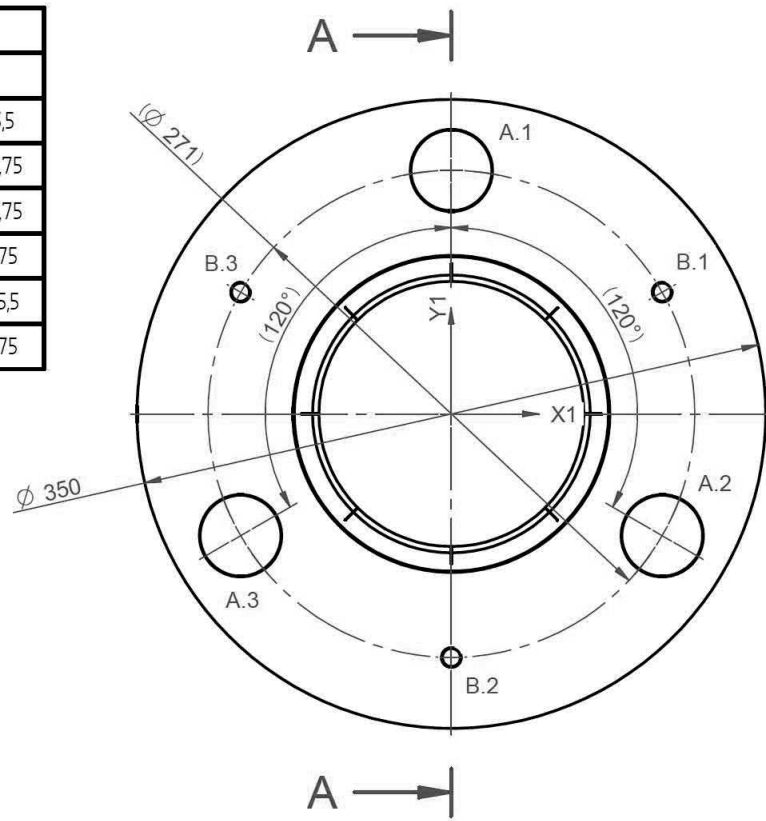
**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Výrobní výkres součásti
Příloha 2	Materiálový list pro materiál 42CrMo4
Příloha 3	Část výstupního protokolu s naměřenými úchylkami profilu zubu
Příloha 4	Tabulka pro volbu maximálního počtu zubů obrážecího kolečka
Příloha 5	Teoretické hodnoty náběhů a přeběhů pro přímé ozubení
Příloha 6	Obrobitelnost materiálů
Příloha 7	Volba řezné rychlosti v závislosti na obrobitelnosti a šířce ozubení
Příloha 8	Tabulka pro volbu počtu dvojzdvihů za minutu
Příloha 9	Směrnice pro odval. obrážení – hrubovací posuvy
Příloha 10	Parametry stroje OHA 50 CNC 5
Příloha 11	Časová studie obrážecím nástrojem s VBD od firmy Seco
Příloha 12	Parametry stroje Gleason 600PS

TOLERANCE POLOHY DER A ±0,026

TOLERANCE POLOHY DER B ±0,5

Hole Table		
Hole	X	Y
A.1	0	135,5
A.2	117,35	-67,75
A.3	-117,35	-67,75
B.1	117,35	67,75
B.2	0	-135,5
B.3	-117,35	67,75



FULL DEPTH SPLINE - HUB / EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ S PROFEM OZUBENÍ - NÁBOJ			
Module / Modul	m		5
Number of Teeth / Počet zubů	z		31
Pressure Angle / Úhel záběru	$\alpha_n$		25
Profile Shift Coefficient / Posunutí profilu	x		-0,0549
Helix Angle and Hand / Úhel a smysl sklonu	$\beta$		0° SPUR / PŘÍMÝ
Accuracy grade / Stupeň přesnosti			9 DIN5840
Tooth Thickness Tolerance / Tolerance tloušťky zubu			0,00 / 0,1
Finishing Process / Konečná operace			SHAPING / OBRAŽENÍ
Final Base Tan. Lenght / Míra po konečné operaci přes	5 Teeth / zuby	$W_k$	68.506 / 68.4154
Meshing Gear drw. Numbers / Číslo výkresu spoluzabírajícího kola			08-205857
Number of Teeth / Počet zubů	z		31
Working Center Distance / Osová vzdál.	a		0
Gear Meshing Backlash / Boční zub. vůle	$j_n$		0.0634 / -0.0906
Dimension over 2 Pins / Rozměr přes 2 válečky	$D_{Meff} = 9$	$M_{dk}$	141.623 / 141.3729
Normal Tooth Thickness at Pitch Cyl. / Normální tloušťka zubu na roztečné kruž.	$s_n$		7.695 / 7.595
Addendum / Výška hlavy zubu	$h_a$		3,592
Active Root Diameter / Průměr konce činné délky evolventy	$d_{nr}$		159,5
Root Circle Diameter (Theoretical) / Průměr patní kružnice (teoretický)	$d_r$		167,049
Calculation Number / Číslo výpočtu			12-06-010528#A
Cutter Details / Typ frézy			
Tooth head round / Sražení hlavy zubu	0,25		
Tooth Surface Finish / Drsnost povrchu zubu			
Tooth face round / Sražení čela zubu	1,4		
Base Tan. Lenght After Hobbing / Míra po frézování přes	Teeth / zuby	$W_k$	-
Root Radius / Rádus paty	R		0,2
Root Form Diameter / Tvarový patní průměr	dFf		165,744
Root Diameter for Grinding / Patní průměr pro broušení	dFs		-

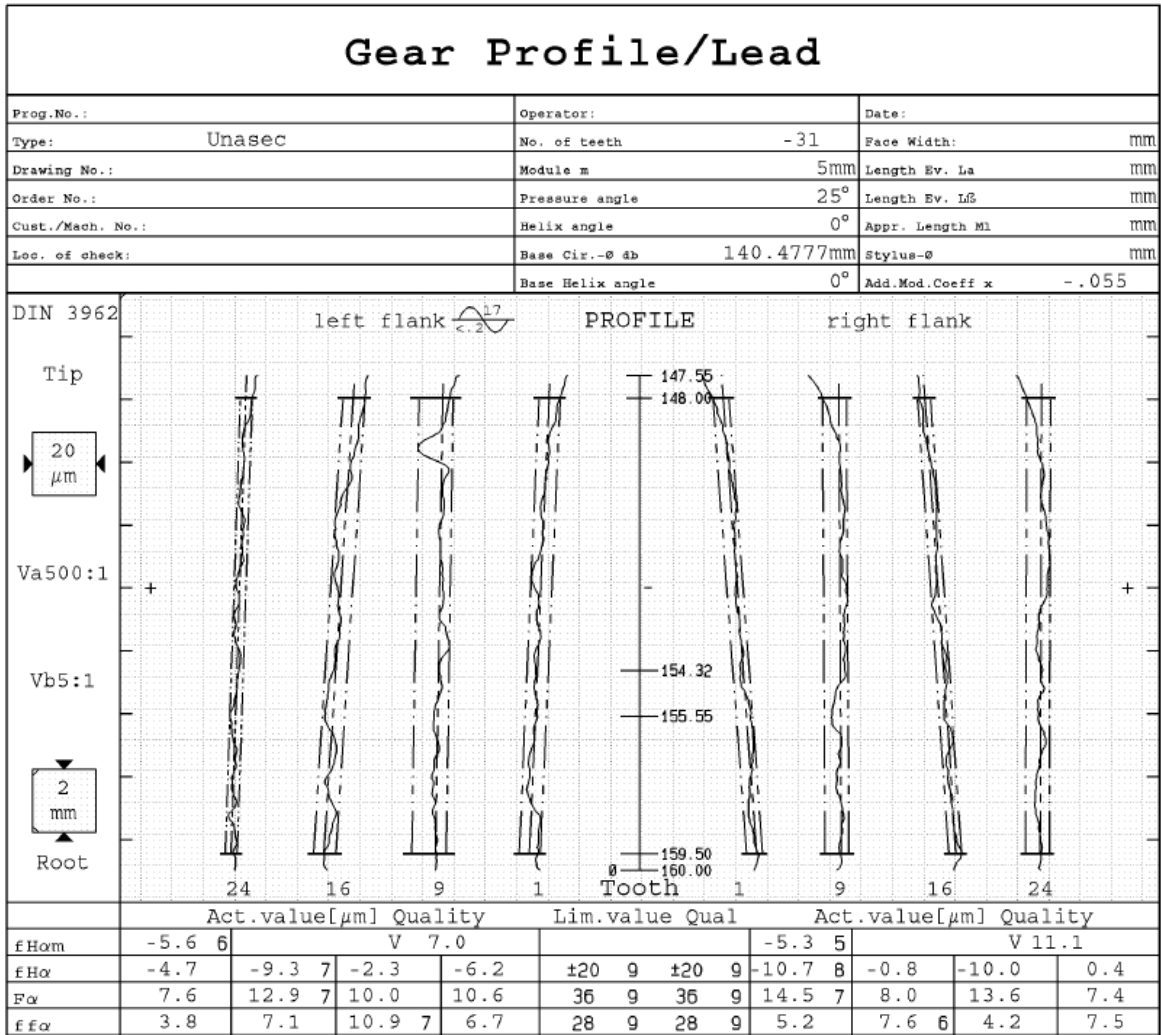
- 1 - Materialové protokoly dle EN 10204 - 3.1 vyhovující požadavkům specifikace WN060  
Dodatečné podmínky tepelného zpracování podle WN060
- 2 - Material zúslachtěn na HBW 220 - 270
- 3 - Protokolovat  $\triangle 1$  -  $\triangle 4$
- 4 - ZAZNAM HODNOT  $\otimes$
- 5 - Značit c. položky + index zmeny, HR, poradové číslo  $\textcircled{Z}$

Dimension / Rozměr: VYKOVEK KR 360 hrub.	Material / Rozměrová norma: 42CrMo4+QT	Weight netto / Čistá hm.: 19,4 kg	Weight brutto / Hrubá hm.:
Scale / Měřítko: 1:3	Draw / Kreslil:	Type / Typ:	
Unspecified tolerances: ISO 2768-mK	Checked / Kontrolovat:	Quality standard / Standard kvality: WQB	
Thread tolerances - M: ISO 965-1-6H/6g	Approved / Schválil:	Remarks / Poznámka:	
Surface finish designation: ISO 1302 - Ra	Title / Název: <b>UNASEC 1</b>		Revision / Revize: Sheet / List: 1/1
Edges: ISO 13715	Drawing Number / Číslo výkresu:		Size / Formát: A2

# PŘÍLOHA 2

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 ( 42CrMoS4 )										1.7225 (1.7227)																		
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																											
TDP	ČSN EN 10083-3:2007																											
Dřívější označení	42CrMo4 ( 42CrMoS4 ) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 ( 42CrMoS4 ) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN																											
Použití	Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťení docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používané oceli k zušlechťování.																											
Chemické složení v hmot. % ( rozbor tavby )	C	Si max.	Mn	P max.	S max. <sup>1)</sup>	Cr	Mo	Ni	V																			
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-																			
Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33	-	-																			
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>	Průměr mm		R <sub>e</sub> min. MPa	R <sub>m</sub> MPa		A min. %		Z min. %		KV min. J																		
	d ≤ 16		900	1100 - 1300		10		40		-																		
	16 < d ≤ 40		750	1000 - 1200		11		45		35																		
	40 < d ≤ 100		650	900 - 1100		12		50		35																		
	100 < d ≤ 160		550	800 - 950		13		50		35																		
160 < d ≤ 250		500	750 – 900		14		55		35																			
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost			Žháno na měkko			Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)																					
	HB max. 255			HB max. 241			HRC min. 53																					
Prokalitelnost <sup>4)</sup>	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																											
	Tvrdost v HRC																											
	Mez													1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
	+H	max.											61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45	
		min.											53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29	
	+HH	max.											61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45	
		min.											56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34	
	+HL	max.											58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40	
		min.											53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29	
<b>Technologické vlastnosti</b>																												
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C																											
Tepelné zpracování	Normalizační žhání °C	Žhání na měkko °C	Isotermické žhání °C	Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C																					
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5																					
Obrobitelnost	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.). Jako kalicí prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalicím trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhání před zušlechťením.																											
	Body přeměny : A <sub>c1</sub> = 745 °C, A <sub>c3</sub> = 790 °C, M <sub>s</sub> = 300 °C																											
Stříhatelnost	Obrábí se ve stavu žháném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazují ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žháném a dokončí po zušlechťení.																											
	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žhává nebo řízeně vychlazuje.																											
<sup>1)</sup> obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %. <sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně. <sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R <sub>e</sub> – mez kluzu, R <sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty). <sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní. <sup>5)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.																												

# PŘÍLOHA 3



# PŘÍLOHA 4

## Quick Reference Shapers

### INTERNAL TRIMMING CHART

Maximum number of teeth recommended in gear shaper cutter for internal (full depth) gears - to avoid trimming of teeth

# of teeth in gear	14 1/2°	17 1/2°	20°	22 1/2°	20° STUB & 25°**	27 1/2°	30° FULL FILLET	30° FLAT ROOT	45°
	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.
8									4
9									5
10								4	6
11							4	5	7
12					4	4	4	6	8
13			4	4	4	4	5	7	9
14			4	4	5	5	6	8	10
15			5	5	6	6	6	9	11
16			5	5	6	6	7	10	12
17		4	6	6	7	7	8	11	13
18	4	4	6	6	7	8	9	12	14
19	4	4	7	7	8	9	10	13	15
20	5	5	7	7	8	10	10	14	16
21	5	5	8	8	9	11	12	15	17
22	6	6	8	8	10	12	13	16	18
23	6	6	9	9	11	13	14	17	19
24	7	7	10	10	12	14	15	18	20
25	7	7	10	11	13	15	16	19	21
26	8	8	11	12	14	16	17	20	22
27	8	8	12	13	15	17	18	21	23
28	9	9	12	14	16	18	19	22	24
29	9	9	13	15	17	19	20	23	25
30	10	10	13	16	18	20	21	24	26
31	10	10	14	17	19	21	22	25	27
32	11	11	14	18	20	22	23	26	28
33	11	11	15	19	21	23	24	27	29
34	12	12	16	20	22	24	25	28	30
35	12	12	17	21	23	25	26	29	31
36	13	13	18	22	24	26	27	30	32
37	13	14	19	23	25	27	28	31	33
38	14	15	20	24	26	28	29	32	34
39	15	16	21	25	27	29	30	33	35
40	15	17	22	26	28	30	31	34	36
41	16	18	23	27	29	31	32	35	37
42	16	19	24	28	30	32	33	36	38
43	17	20	25	29	31	33	34	37	39
44	18	21	26	30	32	34	35	38	40
45	18	22	27	31	33	35	36	39	41
46	19	23	28	32	34	36	37	40	42
47	20	24	29	33	35	37	38	41	43
48	20	25	30	34	36	38	39	42	44
49	21	26	31	35	37	39	40	43	45
50	22	27	32	36	38	40	41	44	46
51	22	28	33	37	39	41	42	45	47
52	23	29	34	38	40	42	43	46	48
53	23	30	35	39	41	43	44	47	49
54	24	31	36	40	42	44	45	48	50
55	25	32	37	41	43	45	46	49	51

# of teeth in gear	14 1/2°	17 1/2°	20°	22 1/2°	20° STUB & 25°**	27 1/2°	30° FULL FILLET	30° FLAT ROOT	45°
	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.	P.A.
56	25	33	38	42	44	46	47	50	52
57	26	34	39	43	45	47	48	51	53
58	27	35	40	44	46	48	49	52	54
59	28	36	41	45	47	49	50	53	55
60	28	37	42	46	48	50	51	54	56
61	29	38	43	47	49	51	52	55	57
62	30	39	44	48	50	52	53	56	58
63	31	40	45	49	51	53	54	57	59
64	32	41	46	50	52	54	55	58	60
65	33	42	47	51	53	55	56	59	61
66	34	43	48	52	54	56	57	60	62
67	35	44	49	53	55	57	58	61	63
68	36	45	50	54	56	58	59	62	64
69	37	46	51	55	57	59	60	63	65
70	38	47	52	56	58	60	61	64	67
71	39	48	53	57	59	61	62	65	68
72	40	49	54	58	60	62	63	66	68
73	41	50	55	59	61	63	64	67	69
74	42	51	56	60	62	64	65	68	70
75	43	52	57	61	63	65	66	69	71
76	44	53	58	62	64	66	67	70	72
77	45	54	59	63	65	67	68	71	73
78	46	55	60	64	66	68	69	72	74
79	47	56	61	65	67	69	70	73	75
80	48	57	62	66	68	70	71	74	76
81	49	58	63	67	69	71	72	75	77
82	50	59	64	68	70	72	73	76	78
83	51	60	65	69	71	73	74	77	79
84	52	61	66	70	72	74	75	78	80
85	53	62	67	71	73	75	76	79	81
86	54	63	68	72	74	76	77	80	82
87	55	64	69	73	75	77	78	81	83
88	56	65	70	74	76	78	79	82	84
89	57	66	71	75	77	79	80	83	85
90	58	67	72	76	78	80	81	84	86
91	59	68	73	77	79	81	82	85	87
92	60	69	74	78	80	82	83	86	88
93	61	70	75	79	81	83	84	87	89
94	62	71	76	80	82	84	85	88	90
95	63	72	77	81	83	85	86	89	91
96	64	73	78	82	84	86	87	90	92
97	65	74	79	83	85	87	88	91	93
98	66	75	80	84	86	88	89	92	94
99	67	76	81	85	87	89	90	93	95
100	68	77	82	86	88	90	91	94	96
101	69	78	83	87	89	91	92	95	97
102	70	79	84	88	90	92	93	96	98
103	71	80	85	89	91	93	94	97	99

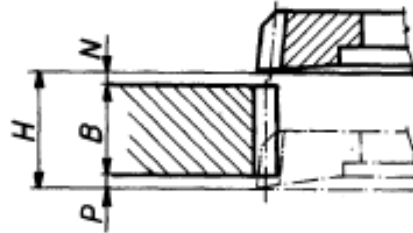
Since each job may have its own unique characteristics always cut a sample to prove acceptability. Shallow depth gears will generally allow using a shaper cutter with more teeth.

# PŘÍLOHA 5

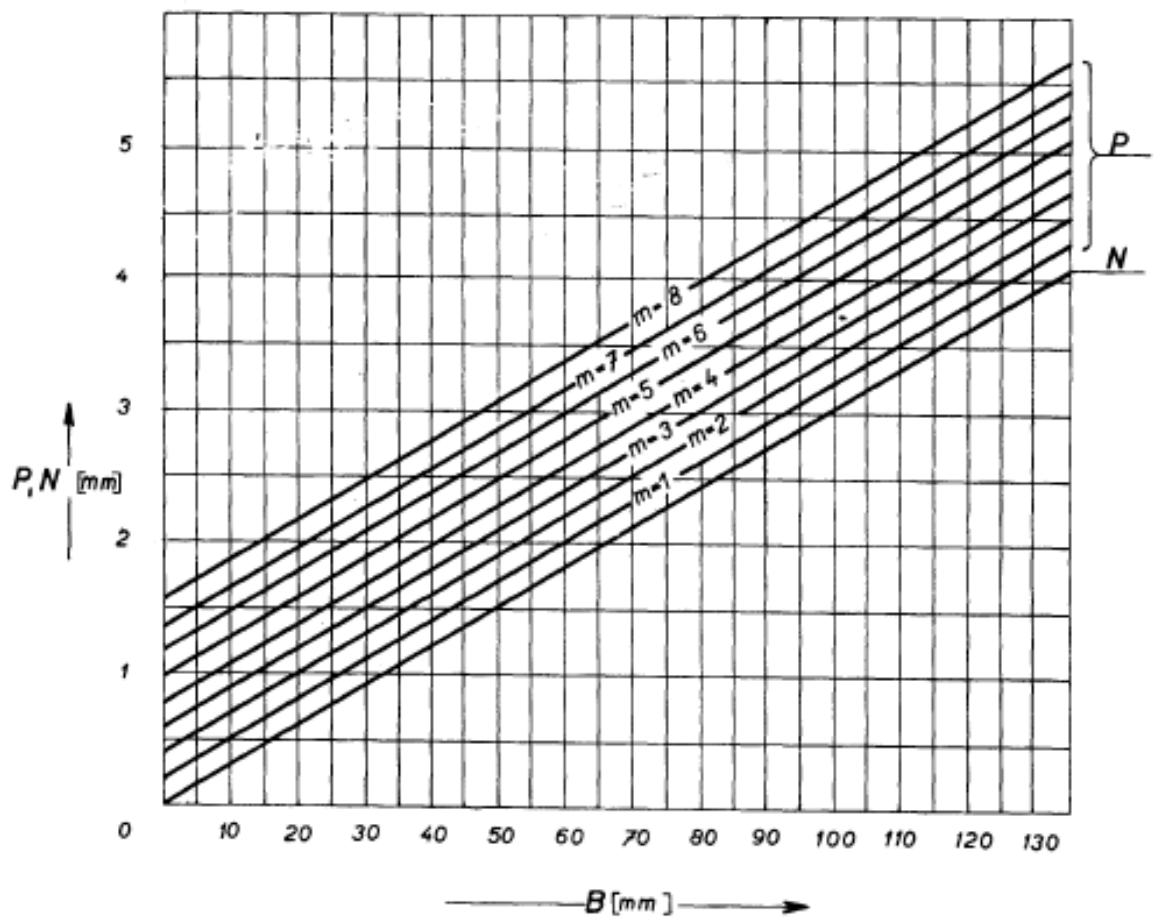
## OHA 50 A



TEORETICKÉ HODNOTY NÁBĚHŮ A PŘEBĚHŮ PRO PŘÍMÉ OZUBENÍ



$$H = B + P + N$$

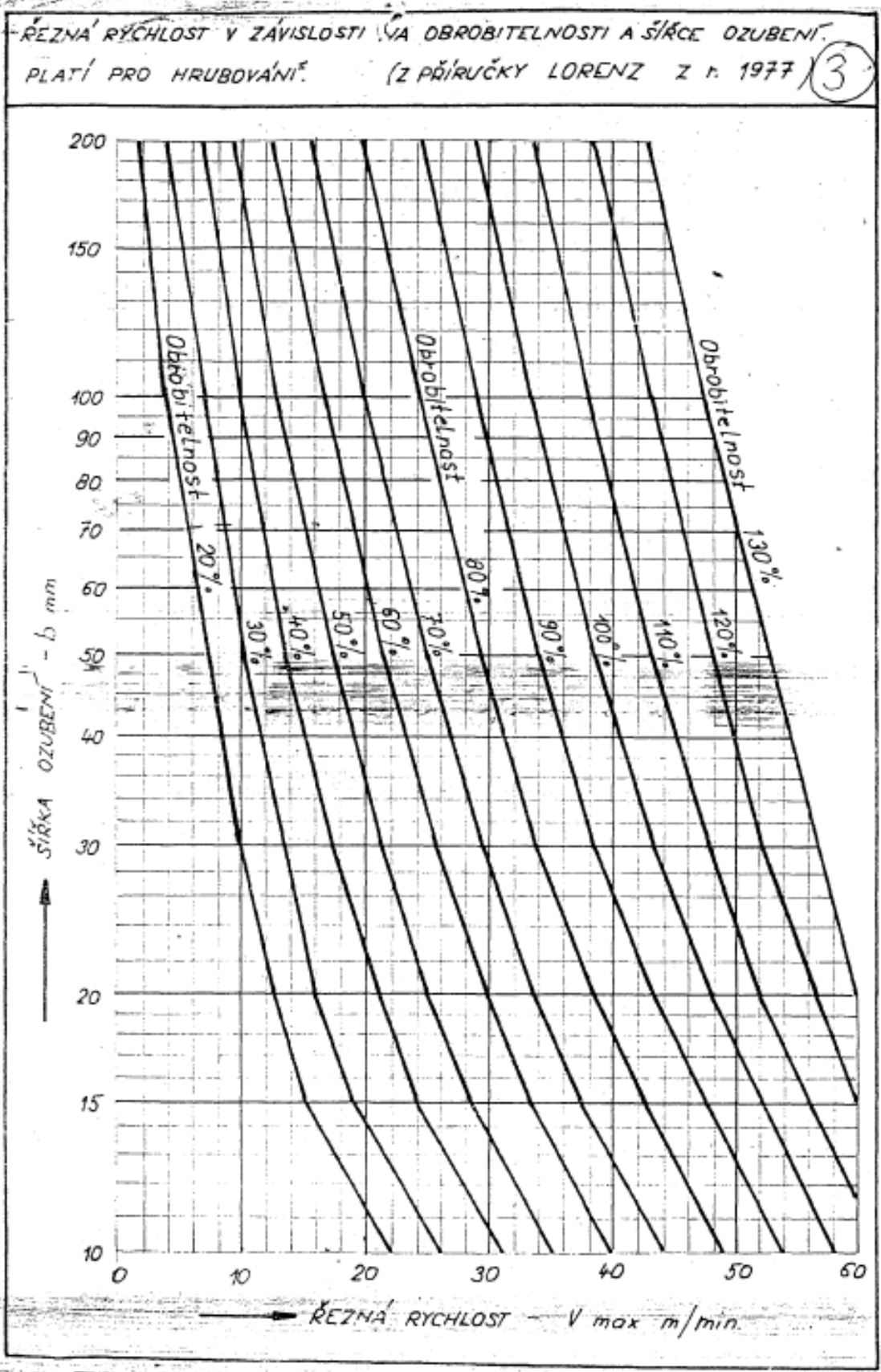


# PŘÍLOHA 6

SMĚRNICE PRO ODVAL. OBRAŽENÍ. (Z PŘÍRUČKY LORENZ Z R. 1977)									
OBROBITELNOST MATERIÁLŮ. ( $10\text{ N/mm}^2 = 1\text{ kp/mm}^2$ )									
OZNAČENÍ MATERIÁLU			ŽIHANO :			ZUŠLECHTĚNO :			
DLE DIN		DLE ČSN	PEVNOST $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	BRINELL HB 30	OBROBITELNOST %	PEVNOST $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	BRINELL HB 30	OBROBITELNOST %	
1. 0301	C 10	x	12 010	460 - 480	135	100			
1. 0401	C 15	x	12 020	480 - 500	140	95			
1. 7015	15 Cr 3	x	14 120	550 - 580	165	90			
1. 7131	16 Mn Cr 5	x	14 220	620 - 650	185	80			
1. 7147	20 Mn Cr 5	x	14 221	700 - 750	212	75			
1. 5622	14 Ni 6	x	16 ...	540 - 560	161	80			
1. 5752	14 Ni Cr 14	x	16 420	740 - 760	217	55			
1. 5919	15 Cr Ni 6	x	16 220	750 - 780	220	65			
1. 5920	18 Cr Ni 8	x	16 231	800 - 820	235	58			
1. 0501	C 35	+	12 040	580 - 600	172	72	700 - 750	212	75
1. 0503	C 45 / CK 45	+	12 050	700 - 740	210	65/70	780 - 820	235	58
1. 5066	30 Mn 5	+	13 141	740 - 760	217	65	900 - 850	241	55
1. 7033	34 Cr 4	+	14 230	740 - 760	217	65	950 - 920	252	50
1. 7035	41 Cr 4	+	14 142	740 - 760	217	55	900 - 1050	285	40
1. 5122	37 Mn Si 5	+	13 240	740 - 760	217	65	950 - 1050	277	40
1. 7561	42 Cr V 6	+	15 ...	740 - 760	217	55	1000 - 1300	332	30
1. 7218	25 Cr Mo 4	+	15 130	740 - 760	217	65	800 - 950	255	45
1. 7225	42 Cr Mo 4	+	15 ...	740 - 760	217	58	900 - 1200	305	35
1. 6511	36 Cr Ni Mo 4	+	16 341	740 - 760	217	50	900 - 1150	302	32
1. 7707	30 Cr Mo V 9	+	15 330	850 - 880	254	45	1000 - 1400	353	25
0. 6026	GG 25			250	210	80			
	GGG 42	42 2304		420		70			
1. 0443	GS - 45			450		65			
	G-Sn-Bz 14			200 - 250		95			
	ELEKTRON			300		125			
	NOVOTEX			50 - 100		130			

x CEMENTAČNÍ OCELE + OCELE k zušlechťení

# PŘÍLOHA 7



# PŘÍLOHA 8

OHA 50 A

④

Počet dvojzdvihů za minutu

Celková délka zdvihu mm	Maximální řezná rychlost v m·min <sup>-1</sup>											
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
4,5	355	450	560	710								
5,6	280	355	450	560	710							
7,1	224	280	355	450	560	710						
9	180	224	280	355	450	560	710					
11,2	140	180	224	280	355	450	560	710				
14	112	140	180	224	280	355	450	560	710			
18	90	112	140	180	224	280	355	450	560	710		
22,4	71	90	112	140	180	224	280	355	450	560	710	
28	56	71	90	112	140	180	224	280	355	450	560	710
35,5	45	56	71	90	112	140	180	224	280	355	450	560
45		45	56	71	80	112	140	180	224	280	355	450
56			45	56	71	90	112	140	180	224	280	355
71				45	56	71	90	112	140	180	224	280
90					45	56	71	90	112	140	180	224
112						45	56	71	90	112	140	180
140							45	56	71	90	112	140

**Poznámka:**

Při obrážení ozubení se šikmými zuby je nutno příslušnou hodnotu řezné rychlosti, nalezenou v tabulce dělit  $\cos \beta$ .

**2. Určení závislosti řezné rychlosti na počtu dvojzdvihů obrážecího smykadla a délce zdvihu**

Po určení řezné rychlosti musíme tuto převést na počet dvojzdvihů. Přitom uvažujeme vždy maximální řeznou rychlost, kterou má obrážecí nástroj uprostřed zdvihu. Počet dvojzdvihů vypočteme dle vztahu

$$n = 318 \frac{v \cdot \cos \beta}{l} \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

- v = řezná rychlost (m·min<sup>-1</sup>)
- l = celková délka zdvihu (mm)
- β = úhel sklonu zuby

# PŘÍLOHA 9

SMĚRNICE PRO ODVAL. OBRAŽENÍ. (Z PŘÍRUČKY LORENZ Z R. 1977) 5

HRUBOVACÍ POSUVY V ZÁVISLOSTI NA MODULU A MATERIÁLU.

OZNAČENÍ MATERIÁLU		HRUBOVACÍ POSUV - $S_w$ mm / 1 DVOJZD.					
		MODUL - $m$ mm					
		$d_0$ 1,5	1,5-2,5	2,5-4	4-6	6-8	8-10
DLE DIN	DLE ČSN	2 ŘEZY $\nabla + \nabla$			3 ŘEZY $\nabla + \nabla + \nabla$		
C 10	x 12 010						
C 15	x 12 020						
15 Cr 3	x 14 120						
16 Mn Cr 5	x 14 220						
20 Mn Cr 5	x 14 221	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8
14 Ni 6	x 16 ...						
14 Ni Cr 14	x 16 420						
15 Cr Ni 6	x 16 220	0,2	0,3	0,35	0,45	0,5	0,6
18 Cr Ni 8	x 16 231						
C 35	+ 12 040						
C 45	+ 12 050	0,25	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
30 Mn 5	+ 13 141						
34 Cr 4	+ 14 230						
41 Cr 4	+ 14 140	0,2	0,3	0,35	0,4	0,6	0,6
37 Mn Si 5	+ 13 240						
42 Cr V 6	+ 15 ...						
25 Cr Mo 4	+ 15 130	0,2	0,35	0,35	0,4	0,5	0,5
42 Cr Mo 4	+ 15 ...						
36 Cr Ni Mo 4	+ 16 341	0,18	0,25	0,3	0,3	0,4	0,45
30 Cr Mo V 9	+ 15 330						
GS - 45	LITÁ OCEL	0,15	0,2	0,3	0,4	0,45	0,55
GG - 26	ŠEDÁ LITINA	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
G - Sn - Bz 14							
ELEKTRON		0,2	0,25	0,35	0,45	0,6	0,6
UMĚLÉ HMOTY		0,2	0,2	0,3	0,3	0,35	0,35

x CEMENTAČNÍ OCELE      + OCELE zúšlechťení

## PŘÍLOHA 10

### Pracovní rozsah stroje

Max. hlavový průměr obráženého kola s vnějším ozubením	mm	500
Max. modul ozubení obráženého kola (při využití více řezů a nepřekročení maximální řezné síly je velikost modulu neomezena)	mm	8
Max. vnější průměr obrobku - pro vnější ozubení Ø 250 - 500 mm a při použití nástroje jmenovitého průměru	mm	800
Max. patní průměr obráženého kola s vnitřním ozubením při použití nástroje jmenovitého průměru	mm	500
Max. vnější průměr obrobku (jen pro vnitřní ozubení s patním průměrem 500 mm, pro menší průměry vnitřního ozubení se největší vnější průměr obrobku zmenšuje) - při použití nástroje jmenovitého průměru	mm	800
Max. šířka přímého ozubení obráženého kola	mm	125
Max. průměr nástroje	mm	125
Vrtání nástroje	mm	44,45
Max. úhel sklonu boku zubu (s nástrojem jmenovitého průměru)		
- při standardním kluzném provedení vodítek		41°
- při hydrostatickém provedení vodítek		45°
Vzdálenost osy smýkadla od osy stolu vpravo pro obrážení vnější	mm	0 - 355
Max./min. vzdálenost opěrné plochy nástroje na vřetenu smýkadla od plochy stolu při největším zdvihu	mm	465/50
Max. délka dráhy suportu smýkadla	mm	280

### Upínací stůl

Průměr stolu	mm	500
Vrtání stolu (s vložkou Ø 120 mm)	mm	205
Hloubka vrtání (s možností průchodu Ø 205 mm celým ložem)	mm	700
Vzdálenost upínací plochy stolu od základu	mm	850
Max. zatížení stolu	kg	300

### Obrážecí smýkadlo

Průměr vřetena smýkadla	mm	105
Konec dutého vřetena s kuzelem metrickým zkráceným ČSN 22 0402	mm	70

### Rychlost nástroje

Rozsah počtu dvojdvihů	1.min <sup>-1</sup>	40 - 800
------------------------	---------------------	----------

### Posuvy

Rozsah kruhových posuvů	mm.min <sup>-1</sup>	0 – 19 000
Rozsah radiálních posuvů	mm.min <sup>-1</sup>	0 – 5 000
Rychlost radiálního rychloposuvu	mm.min <sup>-1</sup>	5 000

### Výkon hlavního motoru

	kW	17
--	----	----

### Hmotnost stroje

	Kg	7 200
--	----	-------

### Rozměry stroje

délka	mm	3 500
šířka	mm	2 800
výška	mm	2 950

### Celkový příkon stroje

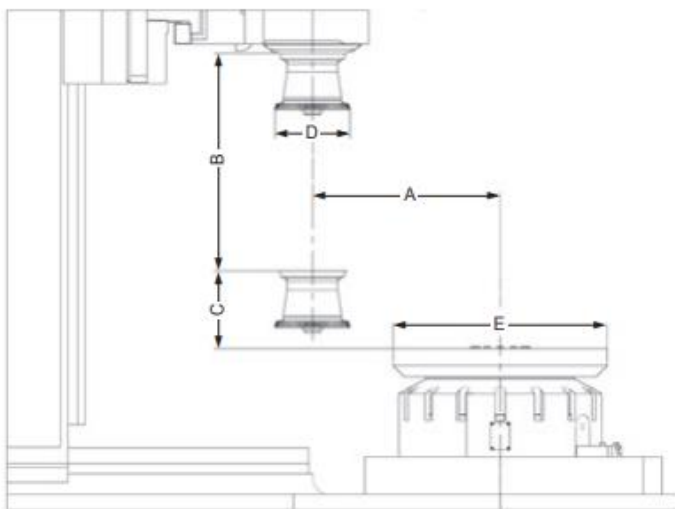
	kVA	45
--	-----	----

# PŘÍLOHA 11

SECO		GEAR MACHINING ANALYSIS													
		Productivity Report													
Customer Data		Customer Name					Wikov MGI a.S					Sales Area			
		City - Country										Customer N°			
		Customer Reference										Salesman			
		Compiled by										Date	5-Apr-2019		
Workpiece Data		Drawing No.										UNASEC - M5 Z-31	Seco Group Material	Group 06 - Steel 900<1200 [N/mm2]	
		Heat Treatment		Quenched and tempered								Material	42CrMo4	HD	HRC
Gear Data - Metric Units [mm]		$m_n$	5,0000	N. teeth	-31	Press. angle $\alpha^\circ$	25,0000	Helix angle $\beta^\circ$	0,0000	Face Width	22,50	$m_t$	5,0000		
		Modif. x	-0,0549	k	-0,2001	$h_{a\alpha}/m_n$	1,0000	$h_{p\alpha}/m_n$	1,1500	$h/m_n$	1,9499	$\rho/m_n$	0,2000		
		Modif. x-m	-0,2745	Add. modif. k-m	-1,0005	$h_a$	3,7250	$h_f$	6,0245	h	9,7495	$\rho$	1,0000		
		$DP_n$	5,0800	$DP_t$	5,0800	Tip Dia. $d_s$	-147,5500	Root Dia. $d_r$	-167,0490	Ref. Dia.	-155,0000	Base Dia. $d_b$	-140,4777		
Machine Data		Machine, Brand and Model										Rapid feed rate	2.000	Power [kw]	
		Machine holder, Type and Size										Machine conditions			
Solution comparison		Proposed Solution 1		Proposed Solution 1		Proposed Solution 1		Proposed Solution 1							
Tool manufacturer name		SECO - 1 of 3 1 piece stacked		SECO - 2 of 3 1 piece stacked		SECO - 2 of 3 1 piece stacked		SECO - 2 of 3 1 piece stacked							
Internal Tool ID		Tool No. 1		Tool No. 1		Tool No. 1		Tool No. 1							
Tool Type		Shaper		Shaper		Shaper		Shaper							
Cutting tool Description		NX-M5Z30-...		NX-M5Z30-...		NX-M5Z30-...		NX-M5Z30-...							
Insert Description															
Grade		150070		150070		150070		150070							
Tool Material		Carbide Insert		Carbide Insert		Carbide Insert		Carbide Insert							
Operation Type		Roughing		Roughing		Roughing		Finishing							
Tip Diameter of the Tool		$D_t$	mm	105,0	105,0	105,0	105,0	105,0	105,0						
TIP - No. of gashes / eff. No. of tool teeth		$n^\circ$		19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0						
FLANK - No. of gashes / eff. No. of tool teeth		$n^\circ$		19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0						
No. of cutting edge changes per insert (Solid tool=1)		$n^\circ$		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0						
Cutting speed		$v_c$	m/min	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0						
Tool Rev. Speed		n	rpm	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20						
No. of passes		$n^\circ$		1 of 3	2 of 3	3 of 3	3 of 3	3 of 3	3 of 3						
Cutting depth - Radial width		$a_p$	mm	5,50	3,50	0,75,50	0,75,50	0,75,50	0,75,50						
Starting Cutting depth		$a_{s1}$	mm	0,00	5,50	9,00	9,00	9,00	9,00						
Finishing Cutting depth		$a_{s2}$	mm	5,50	9,00	9,75	9,75	9,75	9,75						
No. of stacked pieces		$n^\circ$		1	1	1	1	1	1						
Axial Feed per Workpiece rev. (Hobbing)		$f_z$	mm/WU												
Feed per tooth (Milling)		$f_t$	mm	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100						
Initial Radial feed (Shaping)		$f_r$	mm/DS												
Final Radial feed (Shaping)		$f_r$	mm/DS	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100						
Generating feed during rad. (Shaping)		$f_g$	mm/DS	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000						
Generating feed after radial (Shaping)		$f_g$	mm/DS	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000						
Max chip thickness (Hobbing, Shaping)		$h_{max}$	mm												
Average chip thickness (Milling)		$h_a$	mm	0,0724	0,0595	0,0285	0,0285	0,0285	0,0285						
Cutting speed in No. stroke (Shaping)			DS/min.	219,5	219,5	219,5	219,5	219,5	219,5						
Workpiece Rev. Speed (no Milling)			rpm	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12						
Extra tool stroke - Approach distance		$E$	mm	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0						
Face width (included stacked pieces)		b	mm	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5						
Extra tool stroke - Idle distance		U	mm	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0						
Total machining stroke		$t_{s+U}$	mm	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5						
Contact machining time*			min	9,9	9,0	7,7	7,7	7,7	7,7						
Contact machining time per piece*			min	9,9	9,0	7,7	7,7	7,7	7,7						
Cycle machining time per pass per piece*			min	9,9	9,0	7,7	7,7	7,7	7,7						
Cycle machining time per tool per piece*			min									26,6			
Total cycle machining time per piece*			min									26,6			
Cycle machining time saved*			%												
*WARNING: Machining time and tool life indicated above may vary +/-35%. Indicated time doesn't include: work piece and machine setting and cleaning time; insert indexing time; tool and work piece checking time on the machine.															
Coolant		Oil		Oil		Oil		Oil		Oil		Oil			
		External		External		External		External		External		External			
Test interruption reason															
Edge change reason / Wear type															
Wear value		mm													
Notes															
												FINAL RESULT			
												Positive			
Comments															

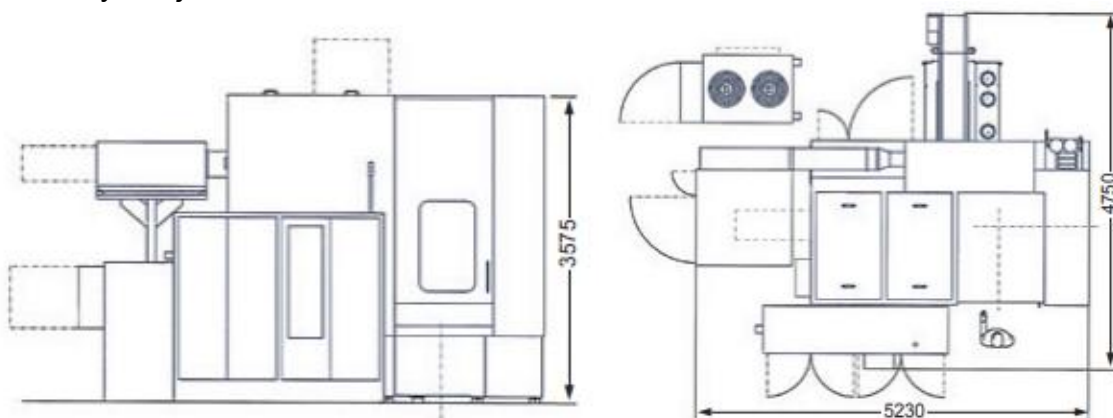
## PŘÍLOHA 12

### Pracovní prostor stroje 600PS



A	Středová vzdálenost	[mm]	0–500
B	Axiální pojezd vřetena nástroje	[mm]	580
C	Tangenciální posuv	[mm]	-185–140
D	Max. průměr nástroje	[mm]	250
E	Průměr stolu	[mm]	570

### Rozměry stroje



### Technická data stroje 600PS

Nominální modul	[mm]	6
Max. průměr obrobku - pro vnější ozubení		
Max. hlavový průměr	[mm]	600
Min. patní průměr - pro vnitřní ozubení	[mm]	150
Max. průměr obrobku	[mm]	750
Max. patní průměr	[mm]	600
Min. hlavový průměr	[mm]	100
Max. zatížení stolu	[kg]	500