

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Moderní metody výroby ozubení – hoblování a obrážení

Autor: **Tomáš FAIMAN**  
Vedoucí práce: **Ing. Jan ŘEHOŘ, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš FAIMAN**  
Osobní číslo: **S11B0011P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Moderní metody výroby ozubení - hoblování a obrážení**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do výroby ozubení a cíle řešení
2. Přehled aplikace obrážení a hoblování ve výrobě ozubení
3. Současný stav výroby ozubení obrážením a hoblováním ve výrobních podnicích
4. Vytvoření multimediální prezentace z výroby ozubení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:

<http://www.firmy.cz/Velkoobchod-a-vyroba/Vyrobci-zelezarskeho-zbozi/Vyrobci-kovovych-soucastek/Prevody-a-ozubena-kolapage=3&gId=0>  
MM Průmyslové spektrum - Obráběcí stroje a technologie:  
(<http://www.mmspektrum.com/clanky-nomenklatura/obrabeci-stroje-a-technologie>)  
CIRP ANNALS - Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Řehoř, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Lukáš Skopeček**  
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Ing. Jan Řehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. prosince 2011

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji tímto Ing. Lukáši Skopečkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl velice poděkovat firmám, které jsem osobně navštívil, za poskytnuté informace.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Faiman	Jméno Tomáš		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Řehoř, Ph.D.	Jméno Jan		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>		Nehodící se <b>škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Moderní metody výroby ozubení – hoblování a obrážení			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	57	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	57	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Bakalářská práce obsahuje souhrn informací z technologie výroby ozubených kol metodami hoblováním a obrážením ve výrobních podnicích včetně současného stavu. Hlavním cílem je sumarizovat informace dané problematiky jako studijní podklady pro výuku na KTO.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>Ozubená kola, obrážení, hoblování, NC stroj, sériová výroba</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Faiman	Name Tomáš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 “Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Řehoř, Ph.D.	Name Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Modern methods of production gears – planing and shaping		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Technology of Metal Cutting	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	-----------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	57	<b>TEXT PART</b>	57	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor work contains summary information from production technology of gears by shaping and planing methods in manufacturing companies including the current status. The main objective is to summarize information issues as a teaching material at the Department of Machining Technology.
<b>KEY WORDS</b>	Gears, shaping, planing, NC machine, series production

## **Anotace**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku technologie výroby ozubení obrážením a hoblováním. Popisuje současný stav dané problematiky v podnicích, jsou zde uvedena schémata a obrázky pro jednotlivé metody, dále všeobecné informace o ozubených kolech včetně druhů, měření a výpočtů. V této práci jsou uvedeny i další technologie výroby ozubení, použité materiály a dokončovací metody. Závěrem této práce má být zpracování dané problematiky a dalších částí jako podklad pro výuku na KTO.

## **An Abstract**

The bachelor work is focused on production technology of gears by shaping and planing. It describes the current state of the issue in companies and there are mentioned diagrams and pictures for each method. Next, general information about the gears including types of the gears, measurements and calculations. In this bachelor work there are contained other production technologies of the gears, the materials used and the finished methods. In conclusion, it has been processing of the issue and other parts as a teaching material at the Department of Machining Technology.



## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle bakalářské práce.....	12
3	Současný stav řešené problematiky.....	13
4	Druhy ozubených kol.....	15
4.1	Základní parametry a výpočet ozubených kol.....	19
4.2	Kontrola a měření ozubených kol.....	22
4.2.1	Měření tloušťky zubu.....	22
4.2.2	Kontrola zubové rozteče.....	25
4.2.3	Kontrola tvaru boku zubu / evolventa, cykloida /.....	26
4.2.4	Kontrola soustřednosti, obvodové házení kola.....	26
4.2.5	Zkoušky záběru ozubení.....	27
4.2.6	Kontrola jiných druhů ozubených kol.....	28
5	Výroba ozubení obrážením a hoblováním.....	29
5.1	Obrázení čelních ozubených kol.....	29
5.1.1	Obrázení kotoučovým nožem (Fellows).....	29
5.1.2	Obrázení hřebenem (Maag).....	32
5.2	Hoblování ozubených kol.....	34
5.2.1	Hoblování ozubení podle šablony.....	34
5.2.2	Odvalovací způsob výroby.....	35
6	Další technologie výroby ozubených kol.....	38
6.1	Frézování dělicím a odvalovacím způsobem.....	38
6.2	Protahování ozubených kol.....	40
6.3	Soustružení ozubených kol.....	41
7	Dokončovací operace.....	42
7.1	Ševingování.....	42
7.2	Broušení.....	43
7.3	Lapování.....	45
8	Chemicko-tepelné zpracování ozubených kol.....	46
9	Materiály a polotovary pro výrobu ozubených kol.....	48
10	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	49
11	Závěr.....	50
12	Literatura.....	52

# 1 Úvod

- zpracováno s pomocí [26], [30], [32]

Při konstrukci technických zařízení je častým úkolem přenos otáčivého pohybu a krouticího momentu z jednoho místa na druhé. Přitom může být požadována také změna úhlové rychlosti. Tento úkol může být řešen více způsoby. V přímém směru a bez změny úhlové rychlosti je možno pohyb přenášet nejjednodušeji pomocí hřídelů. Jestliže má být pohyb přenášen mimo původní směr nebo jestliže má být dosaženo změny úhlové rychlosti, užívají se složitější převodová ústrojí, jako jsou převody třecí, řemenové, řetězové a převody ozubenými koly.

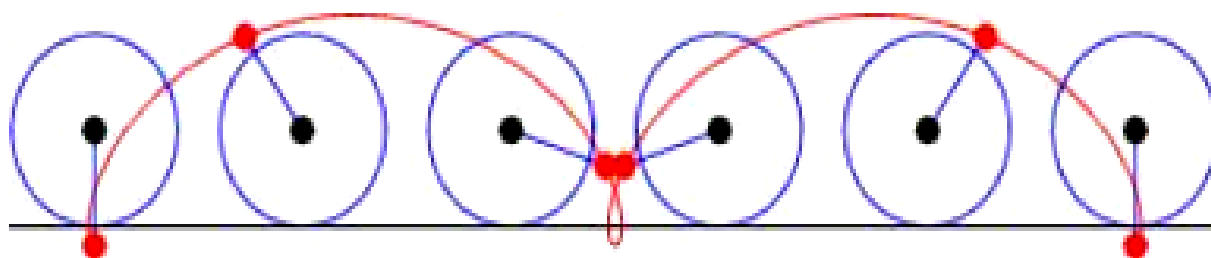
Ozubené kolo je disk, který má po obvodu tvarově definované zuby, jimiž se převádí točivý pohyb a přenáší mechanická energie z jednoho hřídele na druhý hřídel. Tyto disky jsou základní konstrukční součásti převodovek a dalších strojů. Přenáší velké točivé momenty při malých ztrátách a patří k nejnamáhavějším strojním součástem. Volbě materiálu pro jejich výrobu, ale rovněž samotnému mechanickému a tepelnému zpracování je tedy zapotřebí věnovat náležitou pozornost. Nejdůležitějšími požadavky, kladenými na ozubené součásti, jsou dostatečná povrchová tvrdost a otěruvzdornost, avšak rovněž houževnaté jádro o dostatečné tahové a ohybové pevnosti. Ozubená kola se používají především pro převody se stálým poměrem a s malou osovou vzdáleností hřídelů. Při záběru zuby jednoho kola zapadají do zubových mezer druhého kola, čímž vytvářejí soukolí. Menší kolo se nazývá pastorek a větší kolo se nazývá kolo (hřeben). Převod ozubenými koly je přesný a nejčastěji používaný mechanický převod. Mechanismy s ozubenými koly umožňují přenos rotačního pohybu mezi rovnoběžnými, různoběžnými a mimoběžnými hřídeli. Podle vzájemné polohy os, mezi kterými jsou pohyb a krouticí moment přenášeny, může být soukolí označováno jako čelní, určené pro přenos pohybu mezi rovnoběžnými osami, dále kuželové, určené pro přenos pohybu mezi různoběžnými osami a šroubové, šnekové a další, určené pro přenos pohybu mezi mimoběžnými osami. Mezi hlavní výhody ozubených kol patří vysoká účinnost, velká životnost, vysoká spolehlivost a velká variabilita provedení a využití. Mezi nevýhody patří hlučnost, netlumivost rázů, konstrukční i výrobní složitost a vyžadují speciální stroje a nástroje.

Základní zákon ozubení definuje požadované vlastnosti tvaru boční křivky spoluzabírajících boků zubů. Vychází ze dvou základních požadavků: Konstantní převod

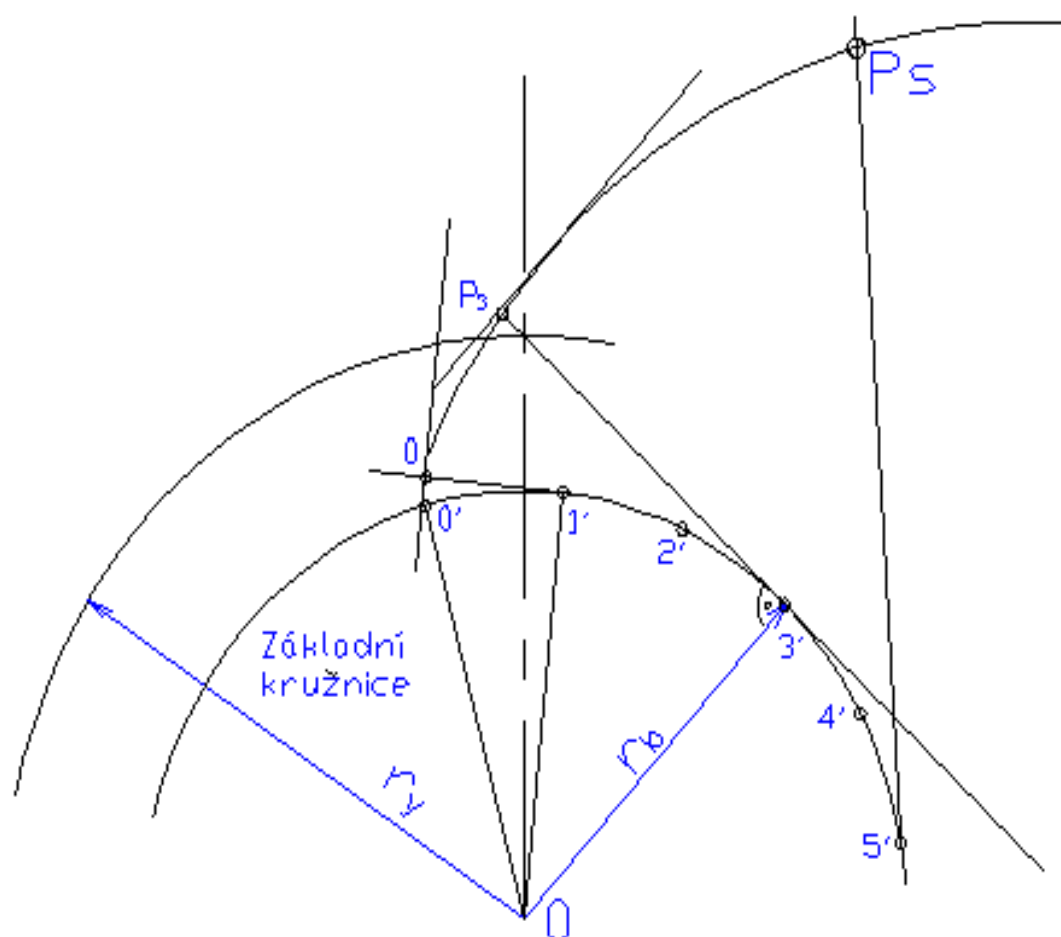
a trvalý záběr boků zubů. Definice základního zákona zní: *Dvě křivky boků zubů, které spolu zabírají lze použít jen tehdy, jestliže společná normála prochází stálým valivým bodem – tzv. pólem relativního pohybu. Společná normála obou křivek boků zubů protíná spojnicí středů kol  $O_1, O_2$  v obráceném poměru úhlových rychlostí.* Tvar zubů a mezer musí splňovat podmínku stálého převodového poměru. To znamená splnění požadavku, aby při konstantní úhlové rychlosti hnacího kola byly konstantní také úhlové rychlosti kola hnaného. Dané podmínce vyhovuje pouze ozubení, jehož funkční plochy mají profil ve tvaru cykloidy nebo evolventy. Vzhledem k relativní složitosti těchto tvarů je také výroba ozubených kol složitější než výroba jiných strojních součástí. Označení cykloidní ozubení není přesné a úplné. Cykloida vzniká jako křivka, kterou opisuje bod kružnice při jejím valení po přímce, viz [2]. Tento tvar ozubení se vyskytuje na ozubených hřebenech, přímých ozubených součástech. Vnější cykloidní ozubení má obrys epicykloidy. Epicykloida je křivka, kterou opisuje bod tvořící kružnice při jejím valení zevně po jiné, základní kružnici. Při valení tvořící kružnice po základní kružnici zevnitř opisuje bod tvořící kružnice hypocykloidu. Evolventa vzniká jako křivka, kterou opisuje bod tzv. tvořící přímky při jejím valení po tzv. základní kružnici, viz [3]. Z popisu geometrie cykloidy a evolventy je zřejmé, že konkrétní tvar obou křivek závisí na průměru základní kružnice, u cykloidy také na průměru tvořící kružnice. Výroba ozubení spočívá ve vytvoření mezer mezi jednotlivými zuby. Tato mezera je ohraničena dvěma sousedními evolventními nebo cykloidními plochami. Cykloidní ozubení vykazuje menší ztráty třením a menší opotřebení než ozubení evolventní. Protože ale výroba cykloidního ozubení je náročnější než výroba ozubení evolventního, užívá se cykloidní ozubení jen výjimečně. Příkladem mohou být ozubení užívané v mechanických hodinách.



Obr. 1. Čelní válcové kolo s přímými zuby a pastorek [1]



Obr. 2. Vznik cykloidy [2]



Obr. 3. Vznik evolventy [3]

## **2 Cíle bakalářské práce**

Ozubená kola jsou už dnes skoro v každém zařízení a stroji, a jsou pro ně nepostradatelná. Vyrábí se pomocí klasické výroby ozubení nebo novější NC výrobou ozubení různými technologiemi. Cílem práce je sumarizovat informace o dané problematice technologií obrážením a hoblováním, popsat a rozvést podrobně tyto technologie, zjistit jaké všechny druhy ozubení lze těmito technologiemi vyrobit, uvést další principy výroby ozubení, kontrolu a měření ozubení, tepelné zpracování ozubení a poskytnout další informace související s výrobou ozubení. Zároveň bude tato práce sloužit jako podklady k výuce na KTO.

### 3 Současný stav řešené problematiky

- zpracováno s pomocí [34], [44]

Ozubená kola za svou existenci prošly řadou konstrukčních a technologických změn. Posun ve výrobě ozubených kol nastal s používáním nových technologií výroby, strojů a nástrojů, které zvýšili kvalitu a produktivitu. Složitost konstrukce a výroby ozubeného kola nutně vytváří potřebu užívání speciálních strojů a nástrojů. Jedním z rozhodujících faktorů je cena, z které se vychází při konstrukci a následné výrobě. Nástroj na výrobu ozubení se musí volit tak, aby splnil dané požadavky z hlediska kvality a trvanlivosti, ale zároveň by jeho cena neměla výrazněji zasahovat do celkové ceny výrobků. V dnešní době jsou široce užívány NC centra, a to spíše u velkých firem a podniků. Rozhodující jsou pořizovací náklady, a proto se ještě ve větší míře u menších firem používají zastaralé speciální stroje, které splňují dané požadavky na výrobu, ale jsou použitelné jen pro danou technologii výroby a nemají širší využití.

Mezi hlavní výhodu NC strojů patří zkracování výrobních časů. Díky tomu se v dnešní době výroba ozubeného kola zkrátila v řádech několik desítek procent, oproti dřívější době. Dalšími výhodami jsou snižování neproduktivních vedlejších časů, snížení zmetkovitosti, menší požadavky na následnou kontrolu, často menší nároky na upínací systémy a snížení kvalifikovanosti operátorů. Rovněž pružnost výroby je snadná, spočívá pouze ve změně programu a vybavení stroje vhodnými nástroji a upínači. Jako hlavní nevýhoda se jeví vysoké investiční a servisní náklady, dále další náklady na podpůrné vybavení stroje a je nutnost mít kvalifikovaný personál pro vytváření NC programů.



Obr. 4. Historie a současnost výroby ozubených kol [4]

Konstrukce strojů na ozubení byla a stále ještě je složitá, např. v kinematickém uspořádání. K velkému kinematickému zjednodušení došlo před lety s aplikací CNC řízení. Postupně byly vyvinuty NC stroje až se šesti nebo i osmi osami a dalšími elektronickými zařízeními. K další, ale již konstrukčně menší změně došlo v době, kdy se někdy v letech 1990 až 1995 začalo vyvíjet dialogové (obrázkové) programování těchto strojů. Protože tato metoda umožnila i nespecialistovi vyrobit správné ozubené kolo nebo šnek, byla velmi úspěšná a záhy ji zavedli všichni výrobci v různě komfortních podobách. Velký technologický pokrok nastal díky NC ševingům. Začaly se používat prvně v Itálii mezi 1997 až 2000. Speciální kinematika těchto strojů ve spojení s přesným měřením umožnila hned několik korekčních zásahů na obrobku a podstatně zpřesnila hrubovaná kola. Přibližně ve stejném období byla zavedena technologie suchého obrábění ozubení, což si vynutilo konstrukční opatření zajišťující odvod horkých třísek pracovního prostoru hrubovacích strojů. Použilo se tlakového vzduchu k ofukování a zároveň k chlazení pracovního prostoru. Přineslo to velkou úlevu v provozech s mnoha stroji. Odpadlo totiž téměř olejové hospodářství tehdy nutné pro chlazení nástrojů v řezu. Radikálně poklesly i exhalace ze spalovaných olejů. Nevýhodou bylo zvýšení hlučnosti strojů. Další malá revoluce přišla v období 2000 až 2005 s vývojem velmi výkonných nástrojů na hrubování kol v hromadné výrobě. Produktivita byla tehdy již velmi dobrá i s HSS frézami. Nástrojáři ale vyvinuli odvalovací celokarbidové povlakované frézy, jejichž životnost se během krátké doby od uvedení na trh (asi v roce 1995) zdvojnásobila. Přineslo to velké úspory automobilkám a zlevnění převodovek. Tyto nástroje dovolují i tvrdé obrábění předhrubovaných, zakalených kol, tzv. loupání. Stroj musí být vybaven odměřováním vzájemné polohy vyhrubovaného kola a nástroje. Nejstarší nástroje, které jsou používány dodnes, jsou z nástrojové oceli. Tyto nástroje se povlakuji kvůli zvýšení životnosti nástroje. S vývojem NC obráběcích strojů se samozřejmě vyvíjejí i speciální nástroje pro tyto stroje.



Obr. 5. Příklady nástrojů pro výrobu ozubení [5]

## 4 Druhy ozubených kol

### A. Čelní ozubená kola

- s vnějším ozubením – zuby mohou být přímé, šikmé nebo šípové

-s vnitřním ozubením – zuby mohou být pouze přímé



Obr. 6. Čelní vnější ozubené kolo s přímými zuby [1]



Obr. 7. Čelní vnější ozubené kolo se šikmými zuby [1]





Obr. 8. Čelní vnější ozubené kolo se šípovými zuby [6]



Obr. 9. Čelní vnitřní ozubené kolo s přímými zuby [7]

## B. Kuželová ozubená kola

– zuby mohou být přímé, šikmé nebo zakřivené



Obr. 10. Kuželové ozubené kolo s přímými zuby [8]



Obr. 11. Kuželové ozubené kolo se šikmými zuby [9]



Obr. 12. Kuželové ozubené kolo se zakřivenými zuby [10]

### C. Šroubová ozubená kola



Obr. 13. Šroubové ozubené kolo [11]

## D. Šneková ozubená kola

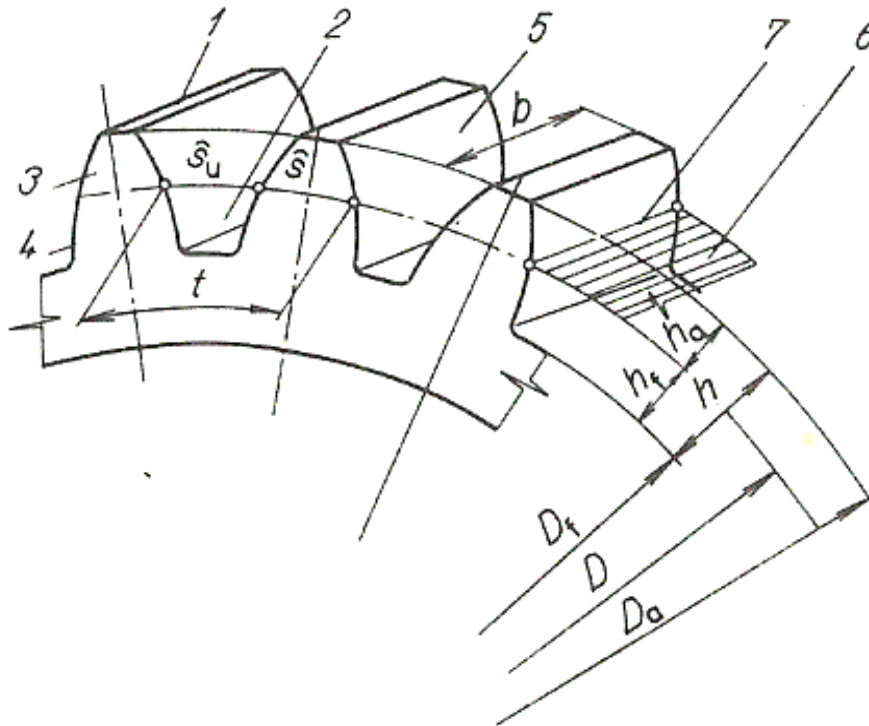


Obr. 14. Šnekové ozubené kol [12]

### 4.1 Základní parametry a výpočet ozubených kol

Základní veličinou ozubených kol je modul. Jedná se o část průměru roztečné kružnice, připadající na jeden zub. Spoluzabírající ozubená kola musí mít vždy stejný modul. Velikost modulu je normalizována. Všechny ostatní parametry ozubeného kola jsou odvozeny z modulu. Na každém ozubeném kole rozeznáváme tři hlavní průměry: průměr hlavové kružnice  $d_a$ , průměr roztečné kružnice  $d$  a průměr patní kružnice  $d_f$ . Mezi hlavovou kružnicí a patní je výška zubu  $h$ . Roztečnou kružnicí je výška zubu  $h$  rozdělena na výšku hlavy zubu  $h_a$  a výšku paty zubu  $h_f$ . Mezi hlavovou kružnicí jednoho kola a patní kružnicí druhého kola je hlavová vůle  $S_k$ . Rozteč zubů je vzdálenost os dvou sousedních zubů a měří se na roztečné kružnici. Při záběru ozubených kol dochází mezi boky spoluzabírajících zubů ke třením a ztrátám. Nejmenším třecím ztrátám vyhovuje bok zubu ve tvaru evolventy nebo cykloidy. Evolventa je křivka, kterou opisuje bod na přímce, odvalující se po kružnici. Cykloida je křivka, kterou opisuje bod na kružnici, odvalující se po přímce.

Označení rozměrů na čelním kole s přímými zuby:



Obr. 15. Schéma čelního ozubení s přímými zuby [13]

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1 – zub kola            | D – průměr roztečný         |
| 2 – zubová mezera       | $D_a$ – průměr hlavový      |
| 3 – profil zubu         | $D_f$ – průměr patní        |
| 4 – křivka profilu zubu | s – tloušťka zubu           |
| 5 – bok zubu            | $s_u$ – šířka zubové mezery |
| 6 – roztečný válec      | p – rozteč                  |
| 7 – boční křivka        | h – výška zubu              |
|                         | $h_a$ – výška hlavy zubu    |
|                         | $h_f$ – výška paty zubu     |
|                         | b – šířka zubu              |



Vzorce pro výpočet čelního ozubeného kola s přímými zuby:

**ČELNÍ OZUBENÁ KOLA S VNĚJŠÍM PŘÍMÝM OZUBENÍM - NEKORIGOVANÁ**

N - nekorigovaná kola	pastorek - kolo 1	kolo - kolo 2
	$z_1$	$z_2$
	$m, \alpha, h_a^*, c_a^*$	
pro normalizované ozubení	$\alpha = 20^\circ, h_a^* = 1, c_a^* = 0,25$	
$\varnothing$ roztečné kružnice	$d_1 = m \cdot z_1$	$d_2 = m \cdot z_2$
$\varnothing$ základní kružnice	$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha$	$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha$
$\varnothing$ hlavové kružnice	$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m \cdot h_a^*$	$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m \cdot h_a^*$
$\varnothing$ patní kružnice	$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m \cdot (h_a^* + c_a^*)$	$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m \cdot (h_a^* + c_a^*)$
teoretická osová vzdálenost	$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2)$	
rozteč na roztečném $\varnothing$	$p = \pi \cdot m$	
tloušťka zubu na rozteč. $\varnothing$	$s_1 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$	$s_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$
šířka zubové mezery na rozteč. $\varnothing$	$e_1 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$	$e_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$
úhel záběru na obecné kružnici	$\cos \alpha_{y1} = \frac{d_1 \cdot \cos \alpha}{d_{y1}}$	$\cos \alpha_{y2} = \frac{d_2 \cdot \cos \alpha}{d_{y2}}$
tloušťka zubu na obecné $\varnothing$	$s_{y1} = d_{y1} \cdot \left( \frac{s_1}{d_1} + \text{eva} - \text{eva}_{y1} \right)$	$s_{y2} = d_{y2} \cdot \left( \frac{s_2}{d_2} + \text{eva} - \text{eva}_{y2} \right)$
součinitel trvání záběru	$\varepsilon_\alpha = \frac{r_1 \cdot \cos \alpha \cdot (\text{tg } \alpha_{a1} - \text{tg } \alpha) + r_2 \cdot \cos \alpha \cdot (\text{tg } \alpha_{a2} - \text{tg } \alpha)}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha}$	
obvodová rychlost	$v_{oy1} = \omega_1 \cdot r_{y1}$	$v_{oy2} = \omega_2 \cdot r_{y2}$
složka rychlosti ve směru normály	$v_{ny1} = v_{oy1} \cdot \cos \alpha_y$	$v_{ny2} = v_{oy2} \cdot \cos \alpha_y$
složka rychlosti ve směru tečny	$v_{ty1} = v_{oy1} \cdot \sin \alpha_y$	$v_{ty2} = v_{oy2} \cdot \sin \alpha_y$

Obr. 16. Tabulka pro výpočet čelního ozubeného kola s přímými zuby [14]

## 4.2 Kontrola a měření ozubených kol

- zpracováno s pomocí [29], [35]

Ozubená kola jsou důležitou strojní součástí a na jejich přesnosti závisí klidný a nerušený chod stroje a strojních zařízení. Kvalita funkce ozubených kol je dána dodržáním požadovaných kinematických vlastností a potřebného dotyku funkčních ploch zubů k přenosu zatížení. Nepřesnosti ozubení vznikají v průběhu výroby ozubení jako projevy nepřesnosti nástroje a jeho ustavení, nepřesnosti stroje a upnutí na stroji. Výroba i kontrola ozubení je vzhledem k složitému geometrickému tvaru náročná na vybavení měřicími prostředky i čas potřebný k seřízení a kontrole, proto se ozubená kola běžně neměří a nekontrolují. Kontrola probíhá pouze ve výrobním závodě nebo při výrobě náhradního dílu za kolo poničené, pokud není možno koupit nové.

U ozubených kol se měří a kontroluje:

- Průměr hlavové kružnice a její dostřednost
- Tloušťka zubu
- Rozteč
- Tvar boku zubu
- Axiální házení kola
- Jakost povrchu ozubení
- Záběr ozubeného soukolí

### 4.2.1 Měření tloušťky zubu

Měření tloušťky zubů zjišťujeme, zda bude při záběru zubu dodržena stanovená vůle na dané osové vzdálenosti a provádí se speciálním nástrojem – zuboměrem.

#### Měření zuboměrem

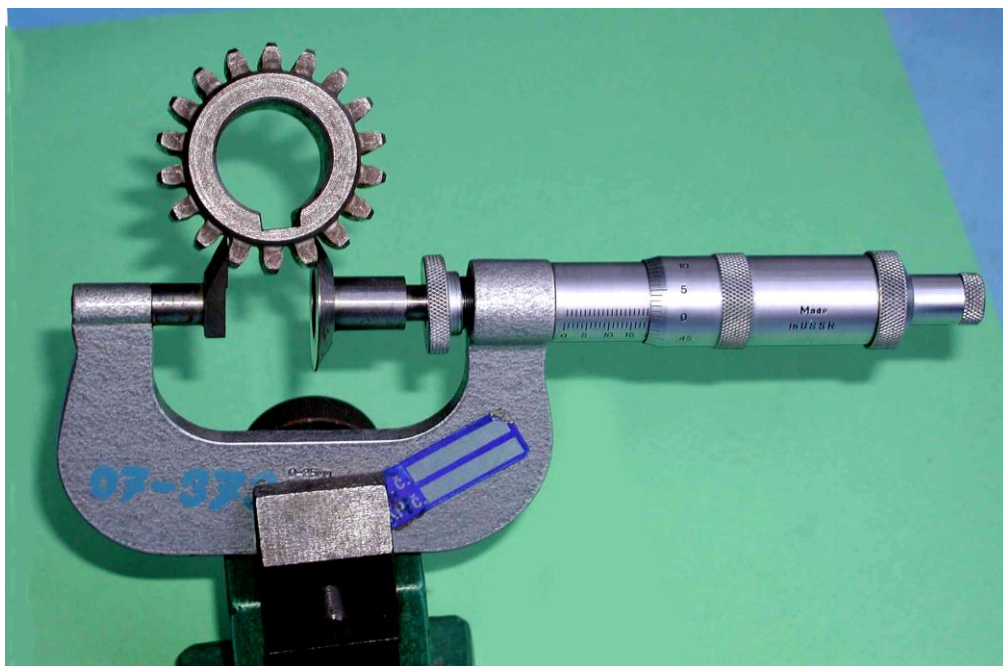
Zuboměr tvoří dvě navzájem kolmá posuvná měřítka. Na svislém měřítku se nastavuje výška, ve které měří vodorovné posuvné měřítko tloušťku zubu.



Obr. 17. Posuvný a digitální zuboměr [15]

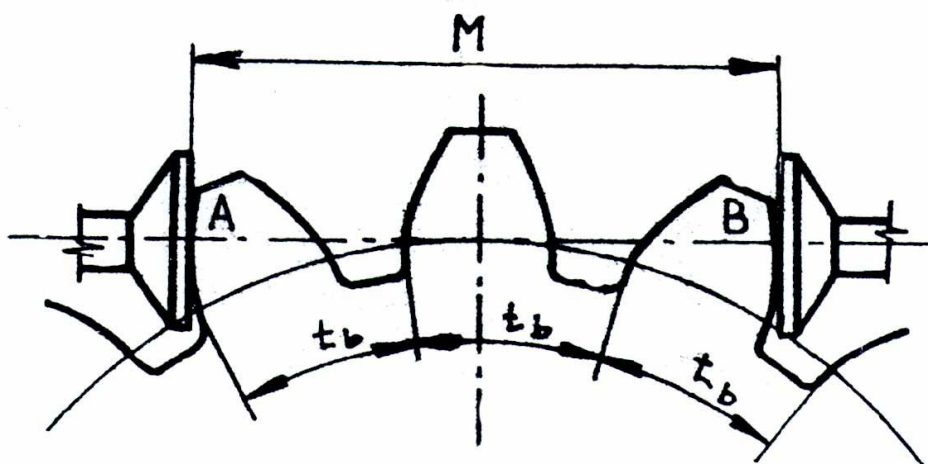
#### Měření ozubení metodou rozměru přes zuby

Dalším způsobem měření tloušťky zubu je měření speciálním talířkovým mikrometrem, a to zjištěním tzv. rozměru přes zuby. Rozměr přes zuby se měří na tečně k základní kružnici. Velikost tohoto rozměru  $M$  a počet zubů (bývá 2, 3 nebo více), přes které se měří, jsou uvedeny v tabulkách. Výhodou tohoto měření je jednoduchost a přesnost.



Obr. 18. Měření tloušťky zubu metodou přes zuby [16]

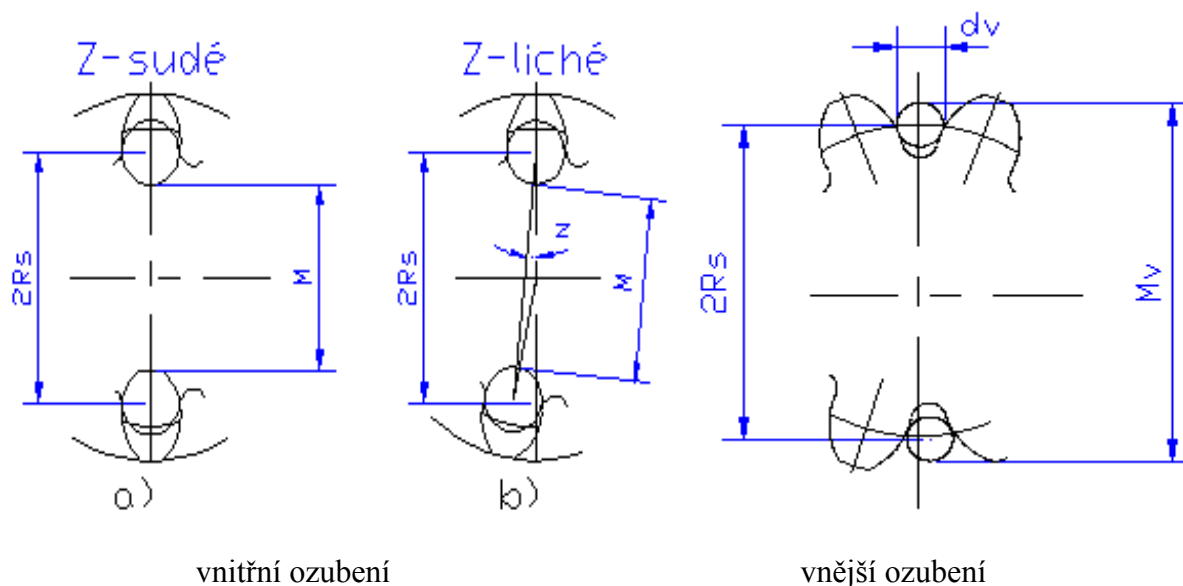




Obr. 19. Schéma měření tloušťky zubu metodou přes zuby [16]

### Měření tloušťky zubu přes válečky nebo kuličky

Tloušťku zubů lze též kontrolovat pomocí válečků nebo kuliček vložených do zubové mezery. Je to zvláště vhodný způsob kontroly vnitřního ozubení. Průměry válečků je nutno volit tak, aby dosedly na boky zubů na roztečné kružnici. Vypočítaný rozměr  $M_v$  (metoda měření přes válečky) se kontroluje délkovými měřidly.



Obr. 20. Schéma měření přes válečky pro vnitřní a vnější ozubení [17]



Obr. 21. Měřidla pro vnitřní a vnější ozubení [18]

#### 4.2.2 Kontrola zubové rozteče

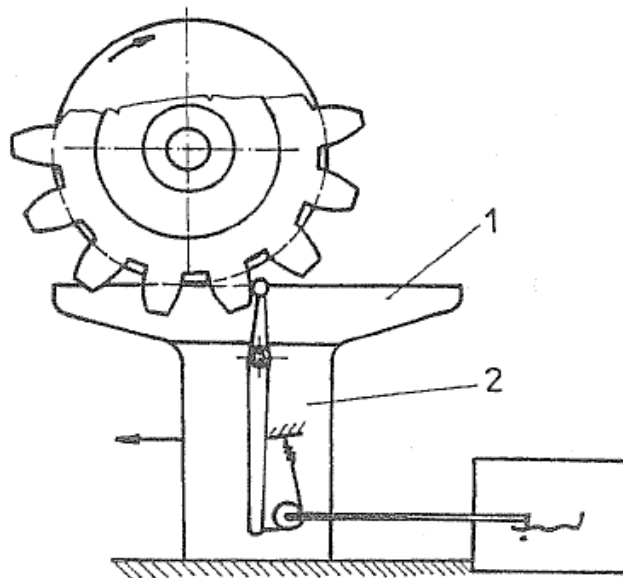
Přesnost zubové rozteče má největší vliv na klidný a správný chod ozubeného kola. Úchytky v rozteči způsobují nárazový záběr zubů a tím hlučný chod a velké opotřebení. Zubovou rozteč lze měřit na roztečné kružnici nebo na záběrové přímce. Záběrová, tj. základní rozteč se měří nezávisle na ose kola, a proto ji lze snadno určit. Na tomto principu je založeno tří-dotykové měřidlo základní zubové rozteče, které se před měřením ozubení nastavuje na přesnou hodnotu rozteče základními měrkami nebo speciálními měrkami.



Obr. 22. Příklad pro kontrolu základní zubové rozteče [19]

#### 4.2.3 Kontrola tvaru boku zubu / evolventa, cykloida /

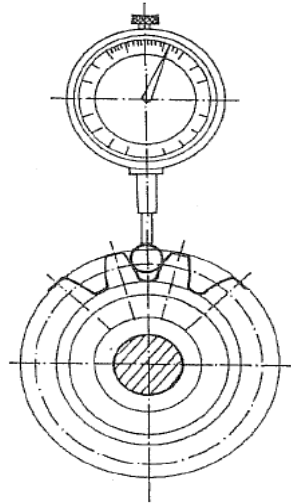
Na přesnosti tvaru zubu závisí výsledky měření ostatních určujících veličin ozubení, a proto je důležitá kontrola správného tvaru evolventy. Přesnost tvaru zubu je podmíněna způsobem obrábění ozubení a závisí na seřízení stroje. Tvar zubu se kontroluje na přístroji, který vytváří přesnou evolventu tím, že odvalujeme měřicí pravítko po kotouči stejného průměru jaký má základní kružnice kontrolovaného profilu ve zvětšeném měřítku na milimetrový papír. Tvar boku zubu se kontroluje na různých místech kola, u širokých kol i na různých místech zubů.



Obr. 23. Kontrola evolventy (1 – pravítko, 2 – saně) [20]

#### 4.2.4 Kontrola soustřednosti, obvodové házení kola

Obvodové házení způsobuje periodickou změnu velikosti osové vzdálenosti ozubeného soukolí. Házivost se kontroluje tak, že se měřené kolo nasune na kontrolní trn a upne se mezi hroty. Do zubové mezery se vloží kontrolní váleček, na který se seřídí číselníkový úchylkoměr. Průměr válečku se volí tak, aby se dotýkal boku zubu na roztečné kružnici. Tak se kontrolují postupně všechny zubové mezery. Pro tuto kontrolu se též používají úchylkoměry s výměnným dotykem ve tvaru zubu, kuličky nebo kužele. Pro urychlení kontroly házivosti se kolo měří na čtyřech místech obvodu, vzájemně pootočených o 90°. Obvodové házení lze též kontrolovat na strojích, na nichž se měří osová vzdálenost odvalem kol.



Obr. 24. Kontrola házení ozubení [20]

#### 4.2.5 Zkoušky záběru ozubení

Kontrola záběru ozubení pracuje na principu odvalování měřeného ozubeného kola se vzorovým kontrolním kolem nebo s protikolem, se kterým bude v provozu v záběru. Tento způsob kontroly je považován za kontrolu všech úchylek ozubení.

##### Záběr se kontroluje:

Jednobokým odvalem – při tomto způsobu jsou kola nastavena na normální provozní vzdálenost, to odpovídá skutečným provozním podmínkám záběru ozubeného soukolí. Úchylky se zaznamenávají do diagramu nebo se měří číselníkovým úchylkoměrem.



Obr. 25. Zařízení pro zkoušku jednobokým odvalem [21]

Dvoubokým odvalem – kola jsou přitlačována do záběru bez vůle. Stýkají se oba boky ozubení, takže vliv všech úchylek se projeví změnou osové vzdálenosti, která se registruje číselníkovým úchylkoměrem.



Obr. 26. Zařízení pro zkoušku dvoubokým odvalem [21]

Nevýhodou tohoto způsobu kontroly je, že neodpovídá normálním podmínkám provozu. Úchylky obou boků zubů se zaznamenávají společně do jednoho grafu a nelze určit velikost každé úchylky zvlášť a jejich vzdálenosti. Při této kontrole lze zjistit současně sklon zubů tím, že se boky zubů vzorového kola natřou tupírovací barvou. Při protočení soukolí lze sledovat otisk barvy na ploše boku zubu kontrolovaného kola.

#### 4.2.6 Kontrola jiných druhů ozubených kol

Kontrola šikmých, šípových a šroubových kol je shodná s kontrolou čelních kol s přímými zuby. Z praktických důvodů se měří jen jeden zub zuboměrem. Úhel zubu se kontroluje optickým měřidlem nebo na univerzálním přístroji protáčením se vzorovým kolem. Ozubená kuželová kola se měří v nejširší části zubu zuboměrem v poloze kolmé k roztečnému kužely. Souhrnná kontrola kuželových kol se provádí na univerzálním přístroji se vzorovým kolem a je nejspolehlivější.

## 5 Výroba ozubení obrážením a hoblováním

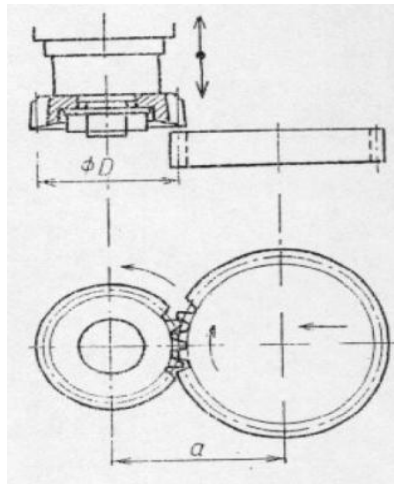
- zpracováno s pomocí [24], [25], [32]

### 5.1 Obrázení čelních ozubených kol

Obrázení čelních ozubených kol se provádí buď kotoučovým nožem, nebo hřebenovým nožem. Oba způsoby jsou založeny na odvalování zubů nástroje po obrobku, kde se řezným pohybem nástroje vytváří postupně ozubení.

#### 5.1.1 Obrázení kotoučovým nožem (Fellows)

Obrázeční kotoučový nůž je přesně vyrobené spojitě korigované ozubené kolo stejného modulu jako kolo, které obrábíme. Řezné úhly jsou na něm vytvořeny sbroušením hlavy a boků zubů pod úhlem alfa. Úhel čela je vytvořen vybroušením čelní plochy nástroje do kužele. Protože při otupení se nástroj brousí na čele, a tím se zmenšuje postupně průměr nástroje, má nový nástroj větší průměr. Správného profilu dosáhne až po několikerém přeastření, při dalším používání má již menší rozměry než jmenovité. Nástroj je nutno vyřadit, pokud je sbroušen natolik, že je porušena jeho tuhost nebo tvar zubů a jakost ostří. Obrázečním kotoučovým nožem se ozubená kola obrábějí na speciálních obrázečkách. Obrázeční nůž je upnut ve smykadle, kterému uděluje vratný pohyb klikový mechanismus pomocí táhla a ozubeného segmentu. Délka zdvihu smykadla se nastavuje podle šířky ozubeného kola přestavěním výstřednosti klikového mechanismu. Nástroj a obrobek se vzájemně proti sobě otáčejí. V počáteční fázi pracovního cyklu se musí obrázeční kotoučový nůž zaříznout do obrobku. Radiální přísuv nástroje je vyvozen vačkou v horní úvratí smykadla. K vačce je přitlačována pružinou nebo závažím kladka, spojená táhlem se saněmi, které se posouvají vodorovně ve stojanu stroje a v nichž je uloženo smykadlo. Při otáčení vačky o úhel alfa se osy nástroje a obrobku přiblíží o určitou hodnotu. Při dalším otáčení vačky o úhel beta se zuby obrázejí s přídavkem. Při otáčení vačky o úhel gama se odebere přídavek a zuby se obrobí na čisto. Za jednu otáčku vačky je ozubení obrobno. Obrobek za tuto dobu vykoná 1,5 až 3 otáčky. Kromě těchto pracovních pohybů koná pracovní stůl u menších a středních strojů další pohyb. U větších strojů mají tento pohyb saně se smykadlem. V okamžiku, kdy je nástroj v nejnižší poloze, oddálí se osy pracovního stolu a smykadla, aby se břity nástroje při zpětném pohybu netřely o obráběnou plochu zubů. Tento pohyb řídí vačka, která přes táhlo a kladku odtlačuje pracovní stůl.



Obr. 27. Schéma technologie Fellows [36]

Kotoučovým nožem se obrábějí čelní kola s přímými, šikmými a šípovými zuby. Je možno jím obrábět vnější i vnitřní ozubení. Vnitřní ozubení se obrábí stejným nástrojem jako vnější ozubení, rozdíl je v tom, že smysl otáčení obrobku a nástroje je souhlasný. Kotoučový obrážecí nůž pro šikmé ozubení má šikmé zuby ve šroubovici stejného stoupání a stejného normálního modulu jako obrobek. Na rozdíl od obrázení přímých zubů se musí smykadlo s nástrojem při pracovním zdvihu pootočit vzhledem k obrobku v úhlu stoupání šroubovice ozubení. Tento pohyb uděluje vodítko se šroubovou plochou, které je upevněno na konci vřetena smykadla. Vnější a vnitřní šípová ozubení se obrábějí kotoučovými obrážecími noži na speciálních strojích se dvěma protiběžnými suporty, z nichž každý má své smykadlo s obrážecím nástrojem. Obrobek je ve vodorovné poloze, smykadla pracují jedno po druhém a vykonávají podobně jako při obrázení šikmých zubů přídavný točivý pohyb. Střední řezná rychlost obrážecích kotoučů při obrázení obrobku z oceli se volí v rozmezí 7 až 40 m/min, litiny 16 až 20 m/min, pro bronzová kola 30 až 40 m/min. Posuv se volí 0,1 až 0,3 mm na dvojzdvih, radiální přísuv přibližně 0,03 mm na dvojzdvih. Obrázení kotoučovým nožem je produktivní metoda výroby ozubení, při použití rychloběžných obrážecích strojů může být dosaženo stejné produktivity jako při frézování odvalem.

Obrážecí stroje na výrobu ozubení kotoučovým nožem se u nás vyrábějí pro moduly až do  $m = 15$  mm a s maximálním průměrem kol 2 400 mm. Jejich velikost je určena maximálním modulem kola, popřípadě jeho průměrem, které lze ještě na stroji obrábět. Výhodou této metody oproti metodě obrázení hřebenovým nožem je, že lze obrážet i vnitřní ozubení a je univerzálnější. Uvedený způsob obrábění je v provozních podmínkách označován jako systém Fellows.



Obr. 28. Obrážecí kotoučové nože [5]



Největší průměr kola	500 mm
Největší šířka kola	90 mm
Výkon stroje	4 kW
Otáčky stroje	1435 ot/min
Půdorysná plocha stroje	1000 x 2100 mm
Výška stroje	2100 mm
Váha stroje	3500 kg
Počet zdvihů za minutu	50 - 315 1/min

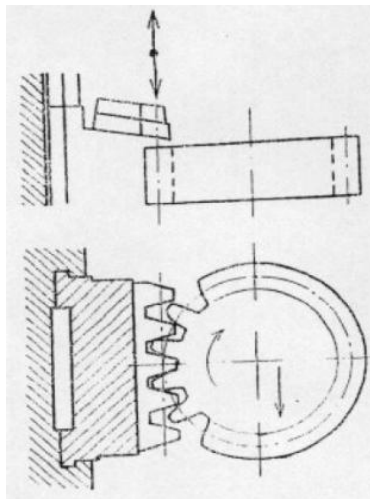
Obr. 29. Obrážecí stroj Fellows s parametry [22]



### 5.1.2 Obrázení ozubeným hřebenem (Maag)

Hřebenový nůž má tvar ozubeného hřebenu s osmi až deseti zuby stejného modulu jako obrázené kolo. Řezné úhly hřebenu jsou vytvořeny stejně jako u kotoučového nože sbroušením hlavy zubů o úhel  $\alpha_0 = 15^\circ$  a jejich boků o úhel  $\alpha_1 = 8^\circ$ . Nástrojový úhel čela  $\gamma_0$  je zpravidla nulový, úhel čela  $\gamma$  se vytvoří vybroušením plochy čela do oblouku.

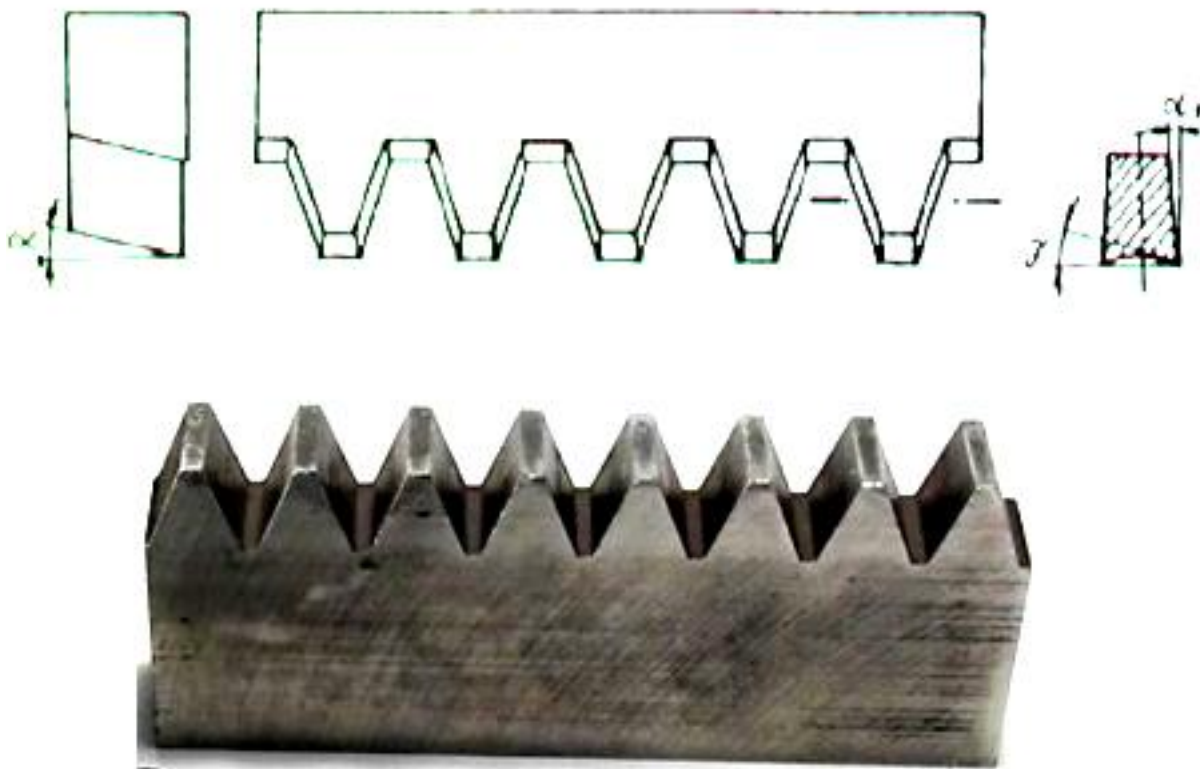
Princip výroby ozubení obrázcím hřebenovým nožem je založen na odvalu ozubeného hřebene s vytvářejícími se zuby na obrobku. K tomuto odvalu dochází vzájemným relativním pohybem obrobku, který se otáčí a současně posouvá proti nástroji, který koná přímočarý hlavní pohyb vratný ve směru sklonu zubů. Řeže při pohybu směrem dolů, při zpětném zdvihu se nástroj odklání od obrobku. Pracovní cyklus hřebenového nože je přerušovaný, poněvadž délka obrázcího nože je omezena a nůž by po určité době vyšel ze záběru.



Obr. 30. Schéma technologie Maag [36]

Před začátkem práce se nástroj nastaví proti obrobku na výšku zubu  $h$ . V první fázi se nástroj vřezává do obrobku. Smykadlo s nástrojem přitom koná svislý pohyb vratný. Obrobek se vždy v okamžiku, kdy je nástroj v horní poloze, pootočí o hodnotu kruhového posuvu a současně se o stejnou hodnotu posune v podélném směru. Tímto podélným pohybem je nahrazen pohyb, který by měl vykonat nástroj při pootočení obrobku. Po obrobení jedné nebo několika zubových mezer se otáčení obrobku i vratný pohyb smykadla zastaví, a to v okamžiku, kdy je smykadlo v horní poloze. Stůl se radiálně odsune od nástroje a pootočí se zpět o jednu nebo více roztečí a přesune se současně zpět do výchozí polohy. Toto pootočení a přesunutí stolu nahrazuje zpětný pohyb ozubeného hřebene do jeho výchozí polohy. Stůl se

přítom pootočí o určitý přeběh a vrátí se o stejnou hodnotu zpět. Tím se vymezí vůle v mechanismu. V další části pracovního cyklu se stůl opět přiblíží k nástroji na odpovídající hloubku záběru a začne nový pracovní cyklus. Hřebenovým obrážecím nožem se obrážejí čelní vnější ozubená kola s přímými, šikmými a šípovými zuby. Při obrázení šikmého ozubení má obrážecí nůž šikmé zuby a smykadlo se vykloní o úhel sklonu zubu. Šípové ozubení se obrábí hřebenovým nožem na speciálních obrážecích strojích, vybavených dvěma protiběžnými smykadly. Dosahovaná přesnost ozubení vyrobeného obrážecím hřebenovým nožem je vzhledem k jednoduššímu nástroji poněkud vyšší než u obrážecích kotoučových nožů. Obrábí se kola do modulu  $m = 50$  mm s maximálním průměrem 10 000 mm. Produktivita tohoto způsobu je však menší, ale při výrobě velkých kol s velkými moduly se dosahuje velké produktivity. Nevýhodou tohoto způsobu je, že se používá pouze pro vnější ozubení. Uvedený způsob obrábění je v provozních podmínkách označován jako systém Maag.



Obr. 31. Ozubený hřebenový nůž [14]



Maximální průměr kola	750 mm
Max. délka obrobku	300 mm
Výkon hlavního motoru	11 kW
Rozměry d x š x v	2020x1645x1910
Hmotnost stroje	3450 kg
Průměr stolu	460 mm
Maximální zatížení stolu	800 kg
Maximální modul	10 mm
Minimální modul	1 mm
Minimální počet zubů	2
Maximální sklon zubů	60°
Maximální zdvih smykadla	240 mm
Minimální zdvih smykadla	15 mm
Počet zdvihů	42 – 100 1/min

Obr. 32. Svislá obrázečka Maag s parametry [22]

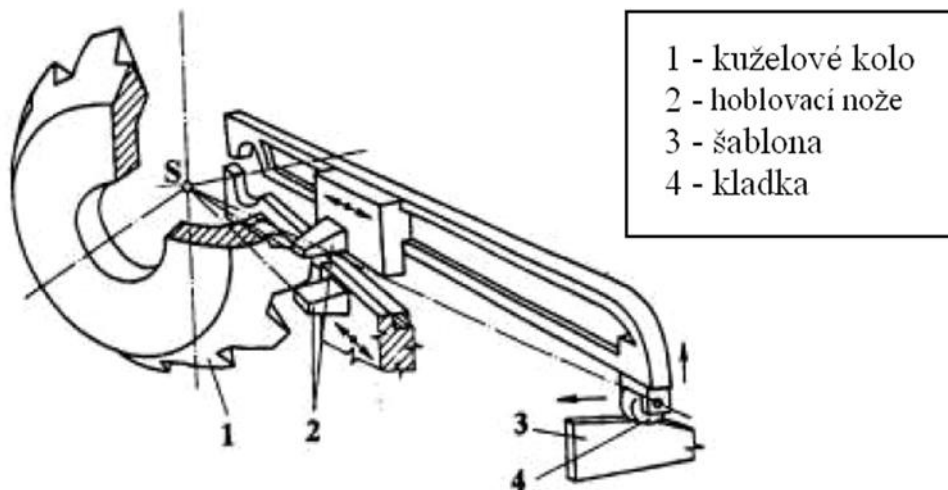
## 5.2 Hoblování ozubených kol

Metodou hoblování se obrábí kuželová kola s přímými a šikmými zuby. Při hoblování kuželových kol s přímými zuby, prochází směr každého řezu vrcholem roztečného kužele vyráběného kola. Výroba se provádí hoblováním podle šablony a hoblováním odvalovacím způsobem. Obrábění kuželových kol se šikmými zuby se provádí šikmým řezem nástroje, a to tečně ke kružnici s daným průměrem (směry řezů nástroje nesměřují do vrcholu kužele).

### 5.2.1 Hoblování ozubení podle šablony

Je to nejstarší způsob výroby kuželových kol. Použití této metody je u kol velkých průměrů a modulů. Výhodou je jednoduchost seřízení nástroje. Dělicím způsobem podle šablony lze vyrobit jakýkoliv profil zubu. Šablona má tvar boku zubu na doplňkovém kuželu. Přesnost ozubení je závislá na přesnosti šablony. Velikost šablony je dána její vzdáleností od vrcholu. Hobluje se špičkami nástroje, a proto tato metoda nedosahuje vysoké jakosti povrchu. Pro daný počet zubů a modulu musí být jiná šablona, ale kuželová kola se stejným počtem zubů s různými moduly lze obrábět jednou šablonou. Obrábí se kola modulu až  $m = 30$  mm a až do průměru 5000 mm. Nevýhodou je malý výkon stroje kvůli velkým řezným odporům.

Postup pohybu nástroje: Nástroj se pohybuje v pouzdře po vodícím čepu do vrcholu roztečného kužele. Na konci vedení je v držáku kladka, která sleduje šablonu (kladka se po šabloně pohybuje a udává polohu obráběcích nožů upevněných na smykadlech). Po každém dvojzdvihu se posune vedení i s nožem po šabloně. Současně se vedení s nožem natáčí kolem dvou kolmých os. Kolo je pevně upnuto na trnu. Trn se pootáčí o rozteč po každém obrobení jednoho zubu.



Obr. 33. Hoblování ozubených kuželových kol podle šablony [23]

### 5.2.2 Odvalovací způsob výroby

Při odvalovacím způsobu výroby dochází k vzájemnému pohybu obrobku a nástroje, při kterém se odvaluje základní kužel ozubeného kola po rovině a natáčí se zuby kola vůči nástroji. Osa otáčení je ve vrcholu kužele obráběného kola. Nástroj má boky skloněny pod úhlem tvořící přímky a představuje zub myšleného ozubeného kola. Na malém průměru kužele musí být nástroj užší než zubová mezera. Pracovní postup probíhá vyhrubováním zubové mezery, potom se obrobí na čisto jeden bok zubů a následně druhý.

Podle odvalovacího pohybu mezi myšleným rovinným kolem a obráběným kolem, rozdělujeme výrobu kuželových ozubených kol do dvou skupin podle typů stroje:

- A) Nástroj koná řezný pohyb, myšlené rovinné kolo se nepohybuje a obráběné kolo se odvaluje proti nástroji. Osa kola se pohybuje v prostoru.
- B) Nástroj a obráběné kolo se mezi sebou vzájemně pohybují. Osa obrobku a rovinného kola je stálá, jenom se otáčí.

Použití dvou hoblovacích nožů. Tento způsob se používá u strojů Heidenreich – Harbeck a Gleason. Odvalovací pohyb vykonává obrobek i smykadlo, ve kterých se pohybují hoblovací nože. Vzájemné nastavení obrobku a nástrojů je na obrázku 34. Lichoběžníkový profil nožů upnutých v otočné hlavě tvoří řezný pohyb ve směru povrchových řezných přímek boků zubů. Za současného natáčení nožové hlavy a obráběného kola vytváří břity nožů pracovním pohybem boky zubů ve tvaru evolventy.

Vnitřní ostří hoblovacích nožů představují boky zubu myšleného rovinného kola a vytváří jeden zub, který by při záběru těchto kol ležel v zubové mezeře. Vnější ostří hoblovacích nožů jsou v záběru pouze při načinání prvního zubu vyráběného kola. Obrobek se začne odvalovat a do jeho věnce začne zabírat nejdříve spodní nůž. Při dalším pohybu zabírá do věnce horní nůž. Zub kola je zhotoven po proběhnutí odvalovací délky. Po dokončení obrobení jednoho zubu se hlava s obráběcími noži natočí do počáteční polohy rychloposuvem. Obrobek se současně pootočí o další rozteč. Pracovní chod stroje s hoblovacími noži je automatický. Cyklus hoblování se opakuje, až je obrobek dokončen. Touto metodou se kuželová ozubená kola hrubují a dokončují do průměru 1200 mm a modulu 12 mm. Na některých strojích lze vyrábět šikmé ozubení s výškovým a podélným nastavením profilu.

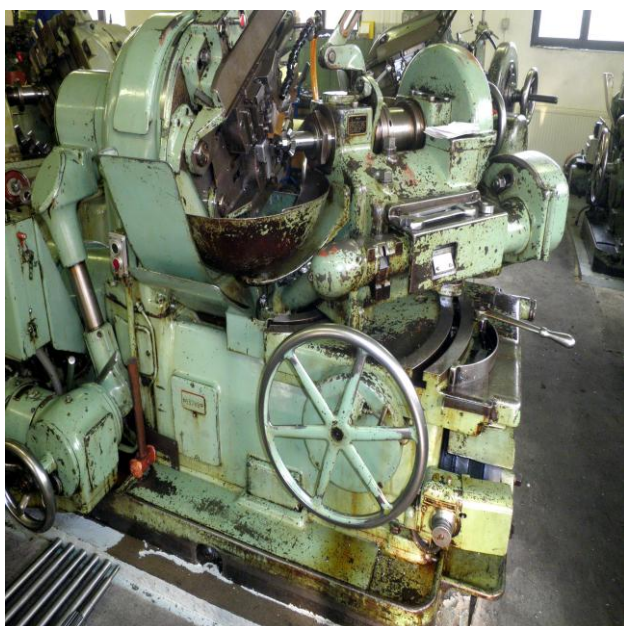


Obr. 34. Hoblování ozubených kuželových kol dvěma noži [22]





Obr. 35. Hoblovací nože [22]



Maximální průměr	1200 mm
Modul	do 12 mm
Ostatní parametry	
Max. délka obrobku	300 mm
Výkon hlavního	8 kW
Rozměry d x š x v	1710x1420x1220
Hmotnost stroje	3500 kg

Obr. 36. Hoblovací stroj s parametry [22]

Hoblování ozubených kol je v dnešní době zastaralá metoda a dnes už se nepoužívá. Řezné podmínky pro výrobu ozubených kol jsou pro každou metodu různé, závisejí na obráběné součásti a nejsou tedy přesně definované.

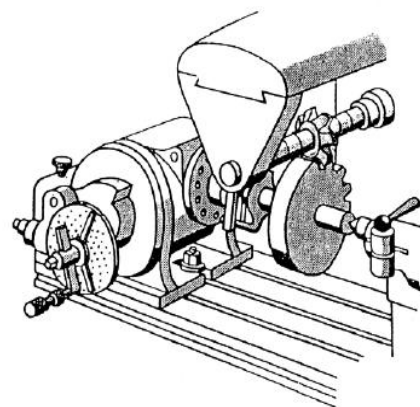
## 6 Další technologie výroby ozubených kol

- zpracováno s pomocí [23], [25], [36]

### 6.1 Frézování dělicím a odvalovacím způsobem

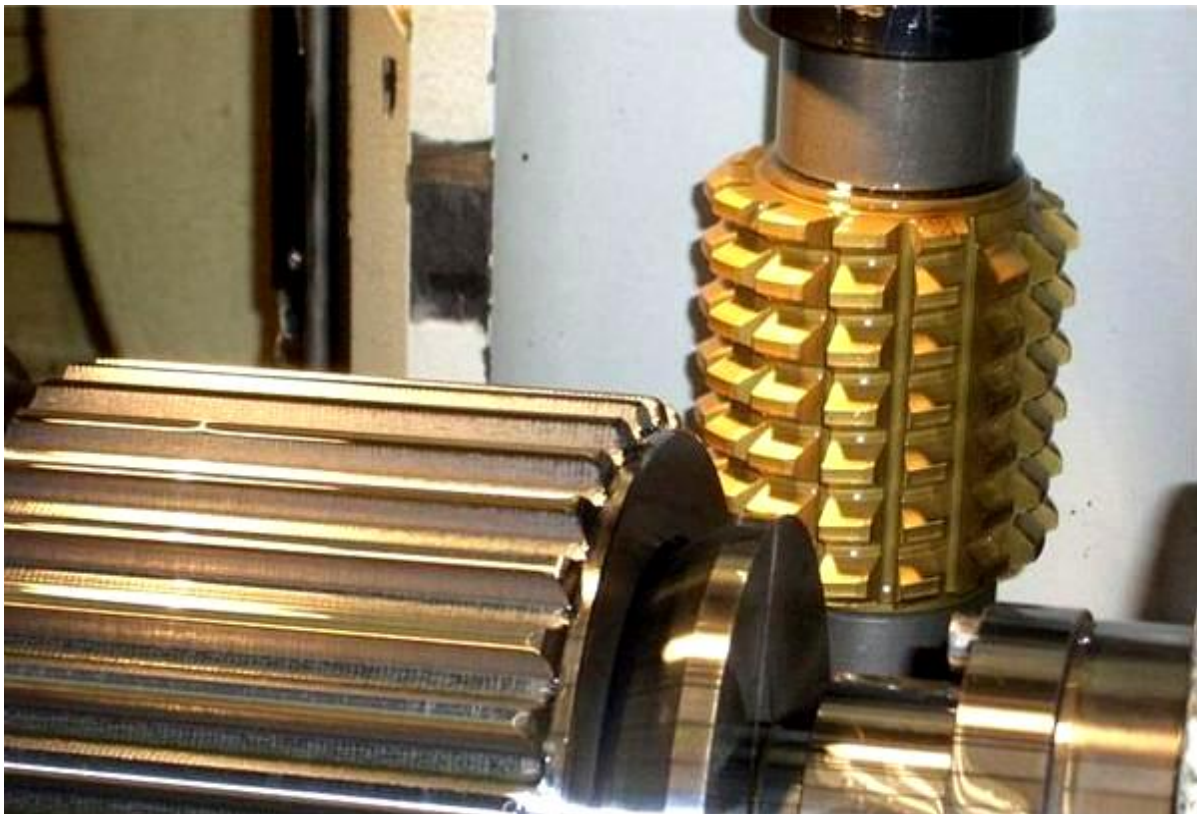
Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho fréza, vedlejší pohyb je přímočarý a vykonává ho obrobek.

Dělicím způsobem frézujeme čelní ozubená kola tvarovými frézami postupně. Po vyfrézování zubové mezery se obrobek upnutý v dělicím přístroji pootočí o jednu rozteč. Profil frézy odpovídá tvaru zubové mezery. Používají se kotoučové a čepové frézy. K zhospodárnění tohoto způsobu se používá jedna fréza vždy pro určitý rozsah počtu zubů, čili pro každý modul je sada fréz, která prakticky obsáhne příslušné počty zubů. Podle požadované přesnosti mají sady 8 až 26 fréz.



Obr. 37. Frézování dělicím způsobem [38]

Odvalovací frézování je založeno na principu záběru válcového šneku s ozubeným kolem. Nástrojem je odvalovací fréza, která má tvar evolventního šneku a jejíž profil je v normální rovině tvořen základním hřebenem. Řezný pohyb je dán otáčením frézy a obrobku, čímž se plynule frézují zuby. Za jednu otáčku frézy se obrobek pootočí o jednu rozteč. Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje. Obráběné kolo je upnuto na vodorovném nebo svislém trnu podle druhu stroje a má točivý pohyb. Pro jakýkoli počet zubů stačí jedna fréza a lze s ní zhotovit normální i korigované ozubení.



Obr. 38. Frézování odvalovacím způsobem [38]



## 6.2 Protahování ozubených kol

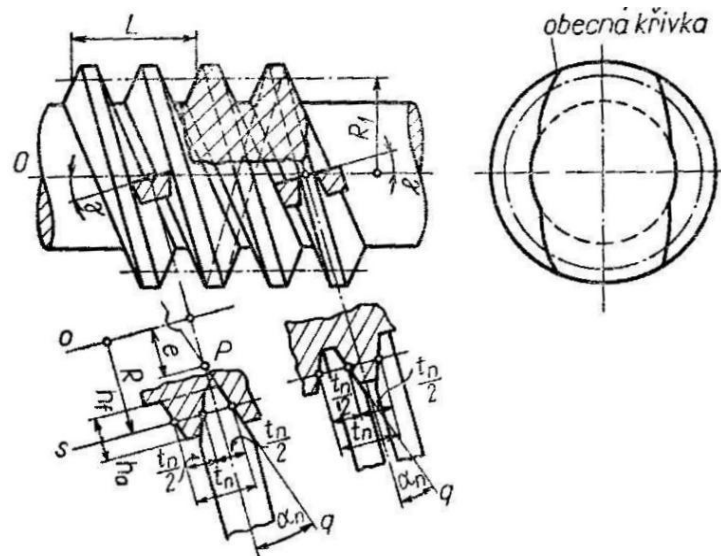
Nástrojem je protahovací trn, který je zpravidla monolitní, pro větší moduly skládaný. Kalibrovací část protahovacího nástroje má přesný tvar zubové mezery vyráběného kola. Protahovací trn se používá pro vnitřní ozubení. Protahovací nástroj může mít uspořádání břitů do kruhu, kdy výškově odstupňované zuby odřezávají při otáčení určitou vrstvu materiálu v zubové mezeře kola. Obalová křivka hlav jednotlivých zubů protahováku je spirála, obalová křivka pat jednotlivých zubů je kružnice. Po protažení jedné zubové mezery se pootočí dělicím přístrojem o jednu zubovou rozteč a cyklus se opakuje. Tento kotoučový protahovák se používá pro obrábění čelních ozubených kol. Dalším protahovacím nástrojem je takzvaný Shear Speed. Je to ocelový kruh, v němž jsou radiálně uloženy nože ve tvaru zubové mezery, a to ve stejném počtu jako je zubových mezer. Na začátku protahování mají nože maximální vzdálenost od středu, rovnou poloměru hlavové kružnice ozubeného kola. Po každém zdvihu na hydraulickém lisu se nože přisunou ke středu o hodnotu radiálního posuvu. Je to vlastně protlačování.



Obr. 39. Svislá protahovačka a protahovací trny [39]

### 6.3 Soustružení ozubených kol

Obrobek je upnut a koná hlavní řezný pohyb, který je rotační. Vedlejší pohyb je přímočarý a koná ho tvarový soustružnický nůž natočený o úhel stoupání šroubovice. Ozubení, které lze vyrobit technologií soustružením, jsou válcové a globoidní šneky. Výroba šneků se provádí na univerzálních hrotových soustruzích. Výrobu šneků soustružením lze přirovnat k výrobě závitů. Technologie soustružení šneků je určena spíše pro kusovou nebo malosériovou výrobu.



Obr. 40. Princip soustružení šneků [40]



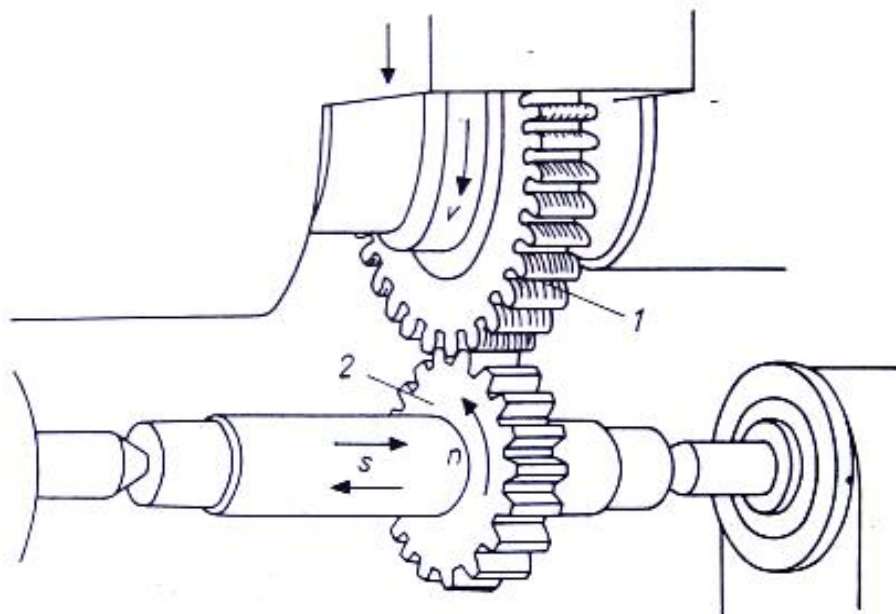
Obr. 41. Univerzální hrotový soustruh [41]

## 7 Dokončovací operace

- zpracováno s pomocí [23], [36]

### 7.1 Švingování

Při švingování zlepšujeme drsnost a odstraňujeme odchylky od geometrického tvaru boku zubů břity švingovacích nástrojů. Při švingování se ubírá tenká vrstva materiálu z pracovní plochy boků zubů, a to ve tvaru vlasových třísek. Nástrojem je buď švingovací kolečko nebo švingovací hřeben. Břity obou těchto švingovacích nástrojů jsou vytvořeny drážkami na bocích zubů. Osa vyráběného kola s osou nástroje svírá úhel 10 až 30°. Přitom nastává mezi boky zubu nástroje a obrobku skluz, za něhož se ubírají jemné třísky. Při obrábění lehkých a středních kol je nástroj poháněn a obrobek unášen, při těžších obrobcích je tomu naopak. Nástroj má rychlost asi 120 m/min, přísuv do řezu 0,02 až 0,08 mm/dvojzdvih a podélný posuv asi 0,3 až 0,5 mm/dvojzdvih. Obrobek vykonává vratný pohyb v rozmezí šířky ozubení kola. Stroje mohou být zařízeny na podélné, příčné a šikmé švingování.



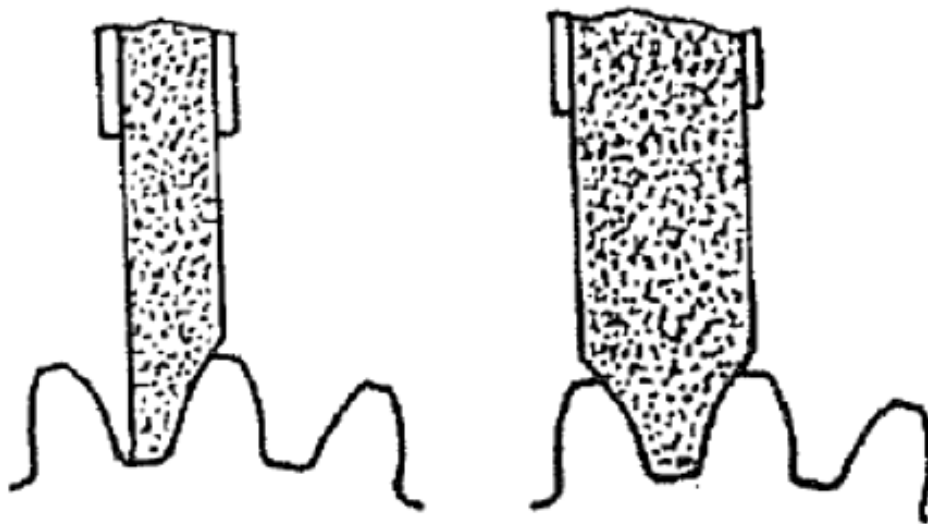
Obr. 42. Princip švingování (1 – švingovací nástroj, 2 – obrobek) [42]

## 7.2 Broušení

Broušením se odstraňují nepřesnosti po předchozím obrábění a deformace po tepelném zpracování ozubených kol. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a broušení odvalovacím způsobem.

### A. Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči

Broušení se provádí brousicími kotouči s tvarem jednoho boku, kterými se brousí odpovídající boky zubů nebo kotoučem s tvarem zubové mezery, který brousí oba boky současně. Po vybroušení boku zubu nebo zubové mezery se obrobkem pootočí dělicím zařízením o jednu rozteč. Brousí se na speciálních strojích. Je to vysoce produktivní způsob, ale méně přesný a nákladný.

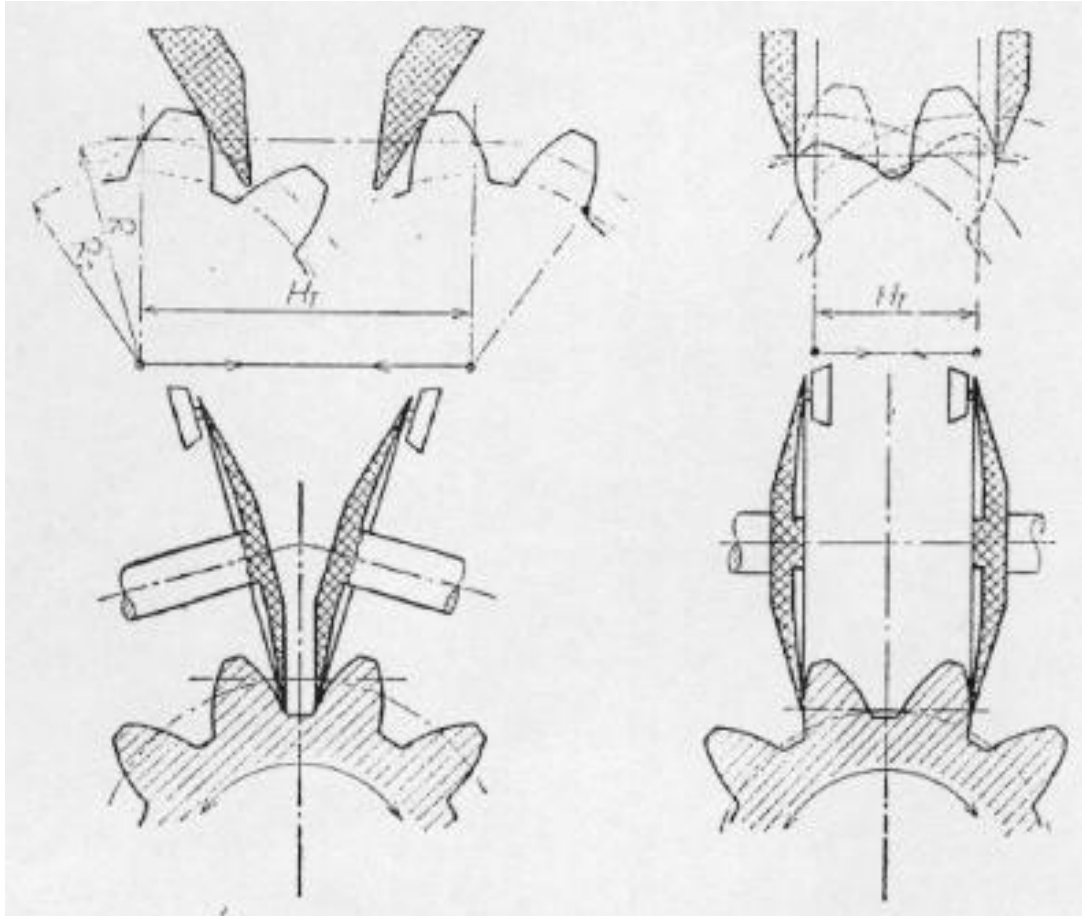


Obr. 43. Broušení ozubení tvarovými kotouči [36]

### B. Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu

Broušení čelního ozubení dělicím způsobem s odvalem boku zubu se v závislosti na konstrukčním uspořádání brusek realizuje pro případ, kdy se broušený zub odvaluje po dvou nebo po jednom brousicím kotouči. Odvalovací pohyb je vytvářen superpozicí příčného a otáčivého pohybu obrobku. Otáčení obrobku se dosahuje odvinováním ocelového pásu po kotouči s průměrem základní kružnice broušeného kola. Střídavým pohybem příčného suportu je zajištěno postupné odvalování a broušení zubové mezery. Kromě toho koná podélný suport pohyb ve směru osy kola, čímž je dosaženo obroušení zubu v celé šířce ozubení. Po dokončení jedné zubové mezery se pootočí kolem o jednu rozteč a cyklus se opakuje.

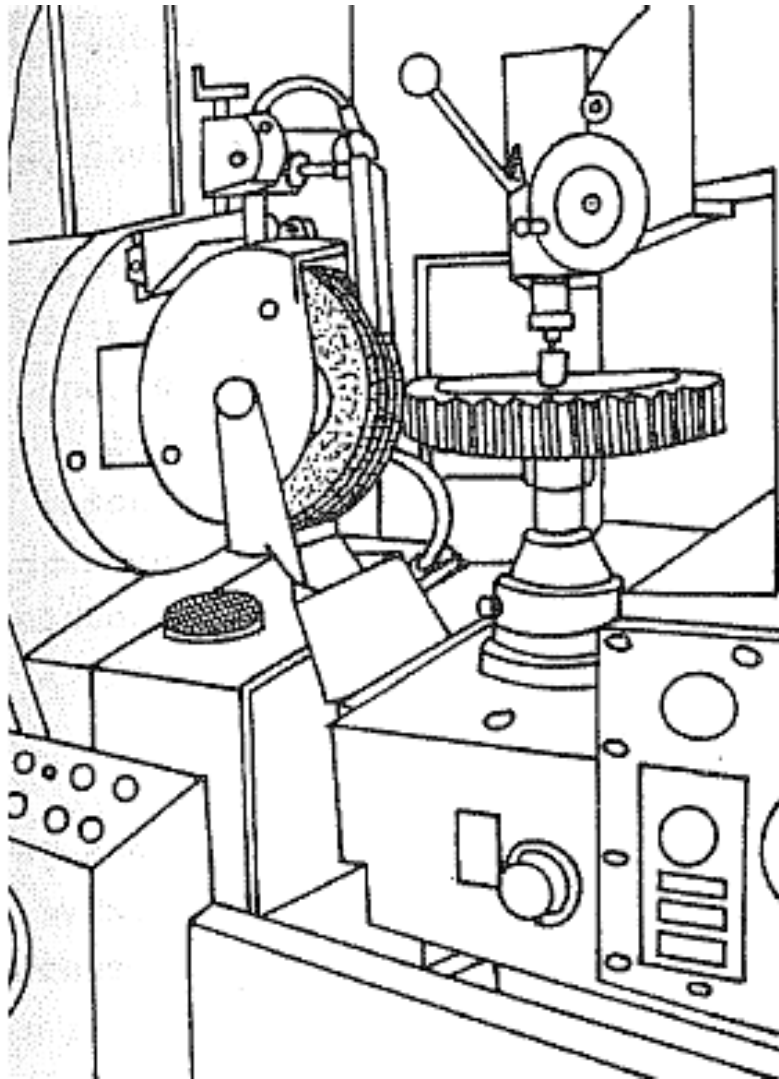
Brousicí kotouče představují boky zubu hřebene a po každém cyklu jsou orovnány a nastaveny do správné polohy. Brousit lze hranou nebo plochou kotouče. Produktivnější je broušení plochou kotouče. Vyšší jakosti lze dosáhnout při broušení hranou kotouče.



Obr. 44. Broušení ozubení s odvalem boku zubu [36]

### C. Broušení odvalovacím způsobem

Největšího výkonu při broušení ozubení se dosahuje odvalovacím broušením brousicím kotoučem ve tvaru šneku. Tento způsob je podobný odvalovacímu frézování. Používá se pro broušení zejména menších modulů, u kol s  $m < 3$  mm je možno brousit do plného materiálu. Základní podmínkou tohoto způsobu je synchronní běh nástroje a obrobku. Tvarování brousicího kotouče z hlediska profilu a stoupání je rozhodujícím faktorem pro parametry přesnosti broušeného ozubení. Brousicí kotouč má průměr 350 až 400 mm a značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážení, jak statickému tak dynamickému.



Obr. 45. Broušení ozubeného kola kotoučem ve tvaru šneku [36]

### 7.3 Lapování

Při lapování je lapované kolo v záběru zpravidla s litinovým kolem stejného modulu. Litinové kolo jako nástroj je hnané, lapované kolo je brzděno a vykonává kmitavý pohyb ve směru osy. Do záběru kol je přiváděna lapovací pasta nebo směs oleje s brusivem. Přídavky na lapování jsou od 0,02 do 0,05 mm a obvodová rychlost je do 1 m/s. Lapováním se zlepšuje drsnost povrchu boků zubů, avšak tvar evolventy se téměř nemění.



## 8 Chemicko-tepelné zpracování ozubených kol

- zpracováno s pomocí [37], [43]

Cílem chemicko-tepelného zpracování je získat ozubení, kdy jádro zubu je houževnaté s vysokou pevností a bok zubu tvrdý. Dále trvanlivost, oděruvzdornost, povrchovou tvrdost, aj. Nutnou podmínkou je znalost chemického složení a struktury materiálu. Díky tomu, je možno přesně aplikovat tepelný a chemicko – tepelný postup.

U tepelného zpracování ozubených kol jsou základními operacemi povrchové kalení a zušlechťování. Při povrchovém kalení je cílem dosáhnout tvrdého povrchu zubů a současně houževnatého jádra. Ozubená kola jsou ohřívána na kalící teplotu a následně ochlazena kalícím médiem. Při kalení dochází k pnutí a deformacím, proto je nutné počítat s přídavkem na broušení při výrobě ozubených kol. Při zušlechťování je cílem dosáhnout vysoké meze kluzu, pevnosti a dynamické únosnosti. Ozubená kola se zakalí a následuje popouštění na vysoké teploty.

V současné době nejpoužívanější technologií chemicko – tepelného zpracování ozubených součástí je kombinace cementace v plynu s následným kalením do oleje. Následuje praní součástí a nízkoteplotní popouštění při teplotách 150 – 200 °C. Výsledkem tohoto procesu je tvrdost povrchu cca 700 HV a jádra v závislosti na použitém materiálu v rozmezí 300 – 450 HV. V průmyslové praxi se však stále častěji využívá jiného technologického směru, a to vakuové (nízkotlaké) cementace s následným kalením inertním plynem (dusík, hélium), ale rovněž vzduchem, o vysokém tlaku. Principiálně lze touto technologií proces zpracování značně urychlit, protože pro sycení lze použít značně vyšších teplot (až kolem 1000 °C), než pro cementaci v plynu. Při nitridování se sytí povrch ozubených kol dusíkem. Nitridační vrstva je velmi tenká, proto se používá u kol s menším namáháním než u cementovaných kol. Tento povrch se už nebrousí a používá se u zubů, které nelze brousit.

Další technologický proces, který se dnes používá je, že se polotovar chemicko-tepelně zpracuje a až poté obrobí. Tento proces se používá pouze v hromadné výrobě z důvodu vysokých investičních nákladů na nástroje.

### **A. Cementování**

Cementování je sycení povrchu uhlíkem v kapalném, plynném nebo tuhém prostředí. Cementační teploty se pohybují v rozmezí 850 až 1050°C. Tvrdost HRC = 58 až 63. Po cementaci následuje kalení.

### **B. Nitridování**

Nitridování je sycení povrchu dusíkem v plynném nebo kapalném prostředí. Na rozdíl od cementování se požadovaných vlastností dosahuje během sycení dusíkem. Nitridační teploty se pohybují v rozmezí 470 až 580°C. Tvrdost HRC 60 až 65.

### **C. Iontová nitridace**

Při iontové nitridaci je sycení povrchu výrobků dusíkem využíváno částečně ionizovaného plazmatu, který obsahuje kromě iontů a elektronů i značné množství neutrálních částic. Tvrdost HRC 58 až 63.

### **D. Povrchové kalení**

Účelem povrchového kalení je zvýšit tvrdost pouze povrchové vrstvy a zachovat měkké a houževnaté jádro výrobku. Tvrdost HRC 45 až 55.



## 9 Materiály a polotovary pro výrobu ozubených kol

- zpracováno s pomocí [37], [14]

Volba materiálu i polotovaru je závislá na provozních podmínkách ozubených kol. V současnosti existuje celá řada materiálů pro výrobu ozubených kol. Důležitými kritérii pro výběr materiálu jsou například povrchová tvrdost, otěruvzdornost, přenášené zatížení, trvanlivost a zároveň je nutné brát ohled na obrobitelnost a také cenu. Dalším důležitým faktorem je kinematický poměr ozubených kol a je nutné věnovat pozornost chemicko – tepelnému zpracování, abychom dosáhli požadovaných vlastností ozubení. Níže jsou uvedeny příklady polotovarů a materiálů pro výrobu ozubených kol.

### A. Polotovary pro výrobu ozubených kol

- Válcovaný materiál – tyče
- Výkovky
- Svařence
- Odlitky

### B. Materiály pro výrobu ozubených kol

- Ocel - tvářená ČSN 11523, 11600, 12050, 14220, 15330  
- na odlitky ČSN 422660, 422715, 422726, 422750
- Litina - tvárná ČSN 422306, 422307  
- šedá 422425
- Neželezné slitiny - mědi, hliníku
- Plasty

## 10 Technicko-ekonomické zhodnocení

Níže je uvedena přehledná tabulka, která zobrazuje podrobné technicko – ekonomické zhodnocení technologie výroby ozubení obrážením, hoblováním a jejich vzájemné srovnání. Z tabulky plyne, že technologie obrážení je produktivnější a stále používaná oproti technologii hoblování. V kapitole 11 je podrobně popsána a rozvedena tato tabulka.

	Ozubená kola	Zuby	Typ ozubení	Přesnost ozubení	Produktivita	Výroba
<b>Obrážení</b>						
<i>Fellows</i>	čelní	přímé, šikmé, šípové	vnější, vnitřní	●●	●●●	série
<i>Maag</i>	čelní	přímé, šikmé, šípové	vnější	●●●	●●	série
<b>Hoblování</b>						
<i>Šablona</i>	kuželové	přímé	vnější	●●	●●	série
<i>Odvalovací způsob dvěma noži</i>	kuželové	přímé	vnější	●●●	●●●	série
<b>Celkové zhodnocení technologie obrážení a hoblování</b>						
	Výroba		Produktivita		Použití	
<b>Obrážení</b>	série		●●●		stále současné	
<b>Hoblování</b>	série		●●		zastaralé	

● špatný, ●● lepší, ●●● dobrý, ●●●● výborný

Tab. 1. Technicko-ekonomické zhodnocení technologie výroby ozubení obrážením a hoblováním

## 11 Závěr

Závěrem této bakalářské práce je možno konstatovat, že byly splněny všechny na počátku definované cíle.

V průběhu získávání informací pro vypracování této bakalářské práce bylo nutné navázat kontakty s jednotlivými firmami a osobně je navštívit. Celkem bylo osloveno osm firem. Velmi sdílné na informace byly tři firmy, kterým patří poděkování uvedené na začátku této práce.

První navštívenou firmou byla firma Wikov Gear s.r.o. sídlící v Plzni. Zde proběhla kompletní prohlídka výrobní haly. Zde byly k vidění technologie výroby ozubených kol frézováním, obrážením, NC centra a další. Dále výroba ozubených kol a pastorků různých průměrů, montáž obří převodovky pro důlní průmysl, NC stroj na kontrolu ozubení, zabíhávání ozubení, tepelné zpracování ozubení, dokončovací operace, atd.

Další navštívenou firmou byla firma SG strojírna s.r.o. sídlící též v Plzni, ale výrobní závod byl v Sušici. V Plzni proběhla několikrát schůzka se zástupci SG strojírny a získané informace jsou uvedeny v této práci.

Poslední navštívenou firmou byla firma pana Bohumila Suchého sídlící v Losině u Plzně. Zde byly viděny technologie výroby ozubení obrážením, hoblováním, frézováním, soustružením, dokončovací operace a zabíhávání ozubení. Dále bylo nutné se ponořit do odborné technické literatury a v poslední řadě vyhledávání na internetu.

Po získání a zpracování informací bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení technologie výroby ozubení obrážením a hoblováním viz tab. 1. Technologie výroby ozubení obážením metodou Fellows se používá dodnes a spousta firem ji stále využívá. Je určena především pro sériovou výrobu. Hlavními výhodami jsou poměrně velká produktivita při malých obrážených modulech a výroba vnitřního ozubení. Nevýhodou je malá přesnost ozubení. Metoda Maag je též určena pro sériovou výrobu a používá se jen ojediněle. Protože nástroj má určitou délku a jen několik zubů, je proces obrážení v určité chvíli přerušen a obrobek se musí vrátit zpět na začátek nástroje, aby se mohly vytvořit zbývající zuby. Z tohoto důvodu je tato metoda málo produktivní a je určena jen pro výrobu vnějšího ozubení. Naproti tomu je dosahována velmi dobrá přesnost ozubení než u metody Fellows. Technologie výroby ozubení hoblováním pomocí šablony je nejstarší způsob výroby kuželových kol. Přesnost ozubení je závislá na přesnosti šablony. Výhodou je jednoduchost

seřízení nástroje. Nevýhodou je malý výkon stroje kvůli velkým řezným odporům a malá produktivita. Technologie hoblování ozubení metodou odvalovací způsob dvěma noži je určena pro sériovou výrobu. Oproti metodě hoblování ozubení pomocí šablony je produktivnější a přesnější. Technologie výroby ozubení obrážením se stále používá, je určena pro sériovou výrobu a je poměrně produktivní v porovnání s technologií hoblování, která se dnes nepoužívá z důvodu malé produktivity a nabrala směr zániku.

Přímé, šikmé a šípové ozubení se vyrábí na univerzálních strojích, jako jsou univerzální frézky, obrážečky nebo protahovačky. Není tedy třeba použít speciální stroje a nástroje, protože by byla výroba velmi drahá. Dále se jedná o jednoduchá ozubená kola se zuby ve tvaru evolventy. Naopak při výrobě ozubených kol se zakřivenými zuby je nutné vždy použít speciální stroj a nástroj. Výroba těchto strojů a nástrojů je především doménou výrobců Gleason-Pfauter a Klingelberg. Na přesnost, kvalitu a produktivitu jsou dnes kladeny velké požadavky. To si vyžaduje neustálou inovaci a zdokonalování dosud spolehlivě pracujících strojů. Proto jsou široce užívána obráběcí NC centra a to spíše u velkých firem z důvodu vysokých investičních a servisních nákladů. Okamžik, kdy se vyplatí pořídit NC stroj, tkví v rozsáhlejší úvaze a výpočtu. Je potřeba spočítat kolik čeho a za jakou dobu se vyprodukuje na daném konvenčním stroji a to samé spočítat pro stejné výrobky, ale s tou změnou, že to bude vyrobeno na NC stroji, který má samozřejmě vyšší produktivitu práce. Pokud směnnová vytíženost daného stroje bude dostatečná, tzn., bude mít takovou zakázkovou náplň, že nebude mít zbytečné prostoje, lze spočítat i návratnost této investice. Pro toto posouzení je potřeba znát konkrétní vstupní informace. Tyto NC centra dokážou dnešní požadovanou přesnost ozubení, kvalitu a produktivitu výroby pokrýt. Jsou schopny pracovat ve velmi přesných tolerancích díky speciálním pohonům a odměřovací technice. Například u NC odvalovací frézky jsou jednotlivé úseky pohybu realizovány pomocí samostatných pohybových motorů – servo pohonů. Díky tomu nemusí stroj obsahovat centrální motor se složitou převodovkou a tím odpadá i velká kinematická složitost stroje. Pro výměnu nástrojů u NC strojů je vytvořen zásobník nástrojů a výměna probíhá téměř vždy automaticky. Některé stroje disponují automatickou výměnou obrobků. Mezi hlavní výhody patří: zkracování výrobních časů, snižování zmetkovitosti, menší nároky na kontrolu a upínací systémy a další.

## 12 Literatura

[1] *Čelní ozubená kola*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?q=ozubene+kolo&hl=cs&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=6K8QTYnTMsSs8gOD0eWEBw&sa=X&oi=mode\\_link&ct=mode&ved=0CBsQ\\_AU&biw=1272&bih=792](http://www.google.cz/images?q=ozubene+kolo&hl=cs&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=6K8QTYnTMsSs8gOD0eWEBw&sa=X&oi=mode_link&ct=mode&ved=0CBsQ_AU&biw=1272&bih=792)>

[2] *Cykloida*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=998&bih=724&tbs=isch%3A1&sa=1&q=cykloida&aq=f&aqi=g10&aql=&oq=&gs\\_rfai=>](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=998&bih=724&tbs=isch%3A1&sa=1&q=cykloida&aq=f&aqi=g10&aql=&oq=&gs_rfai=>)

[3] *Evolventa*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=998&bih=724&tbs=isch%3A1&sa=1&q=evolventa&aq=f&aqi=g1&aql=&oq=&gs\\_rfai=>](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=998&bih=724&tbs=isch%3A1&sa=1&q=evolventa&aq=f&aqi=g1&aql=&oq=&gs_rfai=>)

[4] *Historie a současnost výroby ozubených kol*, dostupné z:

<<http://www.geardesign.com.au/gear-gallery.html>>,  
<[http://www.google.cz/images?q=obra%C5%BEE%C4%8Dka&hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=fi9tTYvDIcO7hAefi4WPDA&sa=X&oi=mode\\_link&ct=mode&cd=2&sqi=2&ved=0CBIQ\\_AUoAQ&biw=1022&bih=791](http://www.google.cz/images?q=obra%C5%BEE%C4%8Dka&hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=fi9tTYvDIcO7hAefi4WPDA&sa=X&oi=mode_link&ct=mode&cd=2&sqi=2&ved=0CBIQ_AUoAQ&biw=1022&bih=791)>

[5] *Nástroje pro výrobu ozubených kol*, dostupné z:

<<http://www.mishalle.be/NL/producten.php?pr=5>>,  
<[http://www.google.cz/images?q=n%C3%A1stroje+na+ozuben%C3%AD&hl=cs&rls=com.microsoft:cs:IESearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=MdoQTe2IC8a28QPH7uiEBw&sa=X&oi=mode\\_link&ct=mode&ved=0CBYQ\\_AU&biw=998&bih=724](http://www.google.cz/images?q=n%C3%A1stroje+na+ozuben%C3%AD&hl=cs&rls=com.microsoft:cs:IESearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&prmd=ivns&source=lnms&tbs=isch:1&ei=MdoQTe2IC8a28QPH7uiEBw&sa=X&oi=mode_link&ct=mode&ved=0CBYQ_AU&biw=998&bih=724)>

[6] *Čelní vnější ozubené kolo se šípovými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&tbs=isch:1&&sa=X&ei=53fyTKmxE4WdOuXPgYQK&ved=0CCMQBSgA&q=%C4%8Deln%C3%AD+ozuben%C3%A9+kolo+se+%C5%A1%C3%ADpov%C3%BDmi+zuby&spell=1&biw=1004&bih=763](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&tbs=isch:1&&sa=X&ei=53fyTKmxE4WdOuXPgYQK&ved=0CCMQBSgA&q=%C4%8Deln%C3%AD+ozuben%C3%A9+kolo+se+%C5%A1%C3%ADpov%C3%BDmi+zuby&spell=1&biw=1004&bih=763)>

[7] *Čelní vnitřní ozubené kolo s přímými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kolo+s+vnit%C5%99n%C3%ADm+ozuben%C3%ADm&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kolo+s+vnit%C5%99n%C3%ADm+ozuben%C3%ADm&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>

[8] *Kuželové ozubené kolo s přímými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1015&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=ku%C5%BEelov%C3%A1+kola&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai=>](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1015&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=ku%C5%BEelov%C3%A1+kola&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=>)

[9] *Kuželové ozubené kolo se šikmými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1015&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kuzelova+kola+se+sikmy+izuby&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai=>](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1015&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kuzelova+kola+se+sikmy+izuby&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=>)

[10] *Kuželové ozubené kolo se zakřivenými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=ku%C5%BEelov%C3%A1+ozuben%C3%AD+se+zak%C5%99iven%C3%BDmi+zuby&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=ku%C5%BEelov%C3%A1+ozuben%C3%AD+se+zak%C5%99iven%C3%BDmi+zuby&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>

[11] *Šroubové ozubené kolo*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?q=%C5%A1roubov%C3%A1+ozuben%C3%A1+kola&hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&prmd=iv&source=lnms&tbs=isch:1&ei=FYPyTKzwG8aUswaljfmKCw&sa=X&oi=mode\\_link&ct=mode&sqi=2&ved=0CUBUQ\\_AU&biw=1004&bih=763](http://www.google.cz/images?q=%C5%A1roubov%C3%A1+ozuben%C3%A1+kola&hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&prmd=iv&source=lnms&tbs=isch:1&ei=FYPyTKzwG8aUswaljfmKCw&sa=X&oi=mode_link&ct=mode&sqi=2&ved=0CUBUQ_AU&biw=1004&bih=763)>

[12] *Šnekové ozubené kolo*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=%C5%A1nekov%C3%A9+kolo&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=%C5%A1nekov%C3%A9+kolo&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>

[13] *Schéma čelního ozubení s přímými zuby*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=16&ved=0CDkQFjAFOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.spsko.cz%2Fdocuments%2FSPS\\_prazak%2F9.%2520P%25C5%2598EVODY%2520S%2520OZUBEN%25C3%259DMI%2520KOLY.doc&rct=j&q=prevody%20ozubenymi%20koly&ei=RUH1TNiWAcPqOb-V7b0I&usg=AFQjCNHT7nmUn5n3XbYxkQhiOOEr64-Ceg](http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=16&ved=0CDkQFjAFOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.spsko.cz%2Fdocuments%2FSPS_prazak%2F9.%2520P%25C5%2598EVODY%2520S%2520OZUBEN%25C3%259DMI%2520KOLY.doc&rct=j&q=prevody%20ozubenymi%20koly&ei=RUH1TNiWAcPqOb-V7b0I&usg=AFQjCNHT7nmUn5n3XbYxkQhiOOEr64-Ceg)>

- [14] KRÁTKÝ, J., KRÓNEROVÁ, E. *Přednášky z částí a mechanismů strojů*.
- [15] *Posuvný a digitální zuboměr*, dostupné z:  
<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=tlou%C5%A1%C5%A5ka+zubu&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=tlou%C5%A1%C5%A5ka+zubu&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>
- [16] *Měření tloušťky zubu metodou přes zuby*, dostupné z:  
<[http://www.google.cz/search?q=kontrola+rozmeru+ozubenych+kol+talirkovym+mikrometrem&rls=com.microsoft:cs:IE-SearchBox&ie=UTF-8&oe=UTF-8&sourceid=ie7&rlz=1I7ADSA\\_cs&redir\\_esc=&ei=c0X1TMn6LlzpOb\\_AvIqI](http://www.google.cz/search?q=kontrola+rozmeru+ozubenych+kol+talirkovym+mikrometrem&rls=com.microsoft:cs:IE-SearchBox&ie=UTF-8&oe=UTF-8&sourceid=ie7&rlz=1I7ADSA_cs&redir_esc=&ei=c0X1TMn6LlzpOb_AvIqI)>
- [17] *Schéma měření přes válečky pro vnitřní a vnější ozubení*, dostupné z:  
<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=m%C3%ADra+p%C5%99es+v%C3%A1le%C4%8Dky&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=m%C3%ADra+p%C5%99es+v%C3%A1le%C4%8Dky&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>
- [18] *Měřidla pro vnitřní a vnější ozubení*, dostupné z:  
<<http://www.dill.cz/vyrobky/?nabidka=2&zpusob=1>>
- [19] *Přístroj pro kontrolu základní zubové rozteče*, dostupné z:  
<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=zubov%C3%A1+rozte%C4%8D&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1004&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=zubov%C3%A1+rozte%C4%8D&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>
- [20] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň: 1989
- [21] *Zařízení pro zkoušku odvalem*, dostupné z:  
<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA\\_cs&biw=1021&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kontrola+odvalem+ozuben%C3%AD&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai](http://www.google.cz/images?hl=cs&rls=com.microsoft%3Acs%3AIE-SearchBox&rlz=1I7ADSA_cs&biw=1021&bih=763&tbs=isch%3A1&sa=1&q=kontrola+odvalem+ozuben%C3%AD&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai)>
- [22] SUCHÝ, B. *Výroba ozubených kol*. Losiná: 2010
- [23] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: 2001
- [24] VLACH, B. *Technologie obrábění*. Praha 1: 1986
- [25] PŘÍKRYL, Z. a kol. *Technologie obrábění*. Praha: SNTL, 1967

[26] *Převody ozubenými koly*, dostupné z:

<[http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str16\\_0\\_prevodyozubenykoly\\_zakladnipojmy.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str16_0_prevodyozubenykoly_zakladnipojmy.pdf)>

<[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=33484](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33484)>

[27] *Výroba ozubených kol*, dostupné z:

<<http://sosi.cz/servis-a-opravy-cviceni/vyroba-ozubenych-kol.pdf>>

[28] *Výroba ozubených kol*, dostupné z:

<[http://www.spsko.cz/documents/STT\\_obeslova/V%C3%BDroba%20ozuben%C3%BDch%20kol.pdf](http://www.spsko.cz/documents/STT_obeslova/V%C3%BDroba%20ozuben%C3%BDch%20kol.pdf)>

[29] *Jak na ozubená kola*, dostupné z:

<<http://www.quido.cz/mereni/kola.htm>>

[30] *Ozubené kolo*, dostupné z:

<[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9\\_kolo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo)>

[31] *Výroba ozubených kol*, dostupné z:

<[http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDroba\\_ozuben%C3%BDch\\_kol](http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BDroba_ozuben%C3%BDch_kol)>

[32] *Výroba ozubení*, dostupné z:

<<http://jhamernik.sweb.cz/Ozubeni.htm>>

[33] *Průmyslové spektrum*, dostupné z:

<<http://www.mmspektrum.com/clanky-nomenklatura/obrabeci-stroje-a-technologie>>

[34] *Stroje na ozubení*, dostupné z:

<[http://www.rcmt.cvut.cz/actions/20100225\\_emo2009/06\\_stroje\\_na\\_ozubeni.pdf](http://www.rcmt.cvut.cz/actions/20100225_emo2009/06_stroje_na_ozubeni.pdf)>

[35] *Měření ozubení*, dostupné z:

<[http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=696](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=696)>

[36] ŘEHOŘ, J. *Přednášky ze strojírenské technologie obrábění*.

[37] KŘÍŽ, A. *Přednášky ze strojírenských materiálů*.

[38] *Frézování ozubených kol*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&tbs=isch:1&&sa=X&ei=FIZtTc2RCYG88gbctsGPDQ&ved=0CDIQBSgA&q=frezovani+ozubenych+kol&spell=1&biw=1022&bih=791](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&tbs=isch:1&&sa=X&ei=FIZtTc2RCYG88gbctsGPDQ&ved=0CDIQBSgA&q=frezovani+ozubenych+kol&spell=1&biw=1022&bih=791)>



[39] *Protahování ozubených kol*, dostupné z:

<[http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA\\_csCZ387&biw=1022&bih=791&bs=isch%3A1&sa=1&q=protahovani+ozubeni&aq=f&aqi=&aql=&oq](http://www.google.cz/images?hl=cs&rlz=1R2ADSA_csCZ387&biw=1022&bih=791&bs=isch%3A1&sa=1&q=protahovani+ozubeni&aq=f&aqi=&aql=&oq)>

[40] ČERNOCH, Svatopluk, *Strojně technická příručka 1. a 2. díl*. 12. přepracované vydání.

Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1968. 2412s. L 13-El-IV-51/22 127/IX

[41] *Obráběcí a tvářecí stroje*, dostupné z:

<<http://www.bow.cz/produkt/3401150-soustruh-opti-d-360-x-1000/>>

[42] *Ševingování*, dostupné z:

<[http://www.tch2.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/sevingovani/img\\_2159.jpg.html](http://www.tch2.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/sevingovani/img_2159.jpg.html)>

[43] *Pokrokové trendy ve zpracování ozubených součástí*, dostupné z:

<<http://www.nanocon.cz/data/metal2005/sbornik/papers/135.pdf>>

[44] NEPAUER, J. *Výroba kuželových ozubených kol*.