

Stredná priemyselná škola techniky a dizajnu

Mnoheľova 828, 05846 Poprad

Planétové prevody

Strojár inovátor TUKE

# OBSAH

1 Úvod.....	8
2 Ciele práce.....	9
3 Teoretická časť.....	10
2.1 Technické výkresy.....	10
2.1.1 Druhy výkresov.....	10
2.1.2 Rozmery výkresov.....	11
2.1.3 Archivácia výkresov.....	11
2.1.4 Druhy čiar.....	12
2.2 Prevodovky.....	13
2.1.5 Prevody ozubenými kolesami.....	14
2.1.6 Rozdelenie ozubených prevodov.....	16
2.1.7 Základné parametre.....	17
2.3 PLANÉTVÉ OZUBENÉ PREVODY.....	20
2.1.1 Základné pojmy.....	21
2.1.2 Konštrukčné geometrické podmienky.....	22
2.1.3 Výhody a nevýhody planétových prevodov.....	24
4 Praktická časť.....	25
5 Výsledky práce a diskusia.....	30
6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	31
ZOZNAM PRÍLOH.....	7

# ZOZNAM TABULIEK, GRAFOV, ILUSTRÁCIÍ

## Tabuľky

Tabuľka 1 Formáty výkresov (Teória_ technické kreslenie str.8).....	11
Tabuľka 2 Druhy čiar (Teória_ technické kreslenie str.12).....	12
Tabuľka 3 Moduly čelných ozubených kolies STN 01 4608 (bak. práca V. Sukeník 2009 str.25) .....	19

## Obrázky

Obrázok 1 Skladanie výkresov ( <a href="#">Teória_ technické kreslenie str.9</a> ).....	11
Obrázok 2 Zmysel otáčania ozubených kolies ( <a href="#">bak. práca V. Sukeník 2009 str.14</a> ).....	15
Obrázok 3 Ozubený veniec ( <a href="#">bak. práca V. Sukeník 2009 str.15</a> ).....	16
Obrázok 4 Základné parametre ozubeného kolesa ( <a href="#">bak. práca V. Sukeník 2009 str.24</a> )...	18
Obrázok 5 Planétové ozubené prevody ( <a href="#">bak. práca V. Sukeník 2009 str.33</a> ).....	20
Obrázok 6 Prehľad ozubených prevodoviek ( <a href="#">bak. práca V. Sukeník 2009 str.35</a> ).....	22
Obrázok 7 Minimálna hrúbka materiálu ( <a href="#">bak. práca Vladimír Sukeník 2009 str.38</a> ).....	23
Obrázok 8 Planétové ozubenie ( <a href="#">techsoft.sk</a> ).....	26
Obrázok 9 Model planétovej prevodovky.....	30

# 1 Úvod

Cieľom mojej práce je vytvoriť planétovú prevodovku a aj príslušnú dokumentáciu. Práve kvôli tvorbe dokumentácie k planétovej prevodovke je pre mňa dôležité si čo to povedať aj o technickej dokumentácii ako sú výkresy, čiary, mierky. Aby sme si mohli priblížiť planétové prevody najprv sa musíme zoznámiť s prevodovkami a prevodmi. Oboznámiť sa so základnými parametrami, označeniami a vzťahmi. Následne sa bližšie zoznámime s planétovými prevodovkami a s ich použitým a s typmi.

Túto prácu som si vybral preto, že ma táto téma zaujala a nestretával som sa s týmto typom prevodu bežne. Páčil sa mi zložitosť mechanizmu a nevedel som si predstaviť samostatnú funkčnosť tohto prevodu. Keďže ovládam spôsob tvorby modelov v grafických programoch ako je Solid EDGE a AutoCAD. Tak som sa rozhodol, prepočítať, navrhnuť v grafickom programe tento prevod a vytvoriť technickú dokumentáciu.

## **2 Ciele práce**

Hlavným cieľom práce je vyhotoviť technickú dokumentáciu k navrhutej planétovej prevodovke. Vypočítať hlavné parametre ozubených kolies. Vyhotoviť animáciu k danej planétovej prevodovky a vyhotoviť jedno ozubené koleso.

## 3 Teoretická časť

### 2.1 Technické výkresy

Výkres je dôležitým dorozumievacím prostriedkom medzi konštrukciou a dielňou. Aby sa dal jednoznačne čítať, musí byť vyhotovený podľa určitých zásad, pravidiel, ktoré stanovujú normy.

#### 2.1.1 Druhy výkresov

- Podľa spôsobu vyhotovenia rozlišujeme:
- **Náčrt** – zobrazuje technické objekty, kreslíme ho voľnou rukou.
- **Originál** – je výkres, ktorý kreslíme pomocou kresliacich pomôcok (ručne alebo pomocou PC) v normalizovanej mierke. Vyhotovujeme ich na priehľadné alebo nepriehľadné materiály za účelom reprodukcie z originálu.
- **Kópia** – získame ju rôznou reprodukciou z originálu.

Každý výkres musí mať:

- **Rámik** – tvorí lem okolo plochy na kreslenie a má byť na ľavej strane široký 20 mm a na ostatných troch stranách 10 mm.
- **Strediacie značky** – v osiach súmernosti orezaného listu hrúbky 0,7 mm, ktoré zasahujú do plochy na kreslenie.
- **Orezávacie značky** – v štyroch rohoch ohraničenia normalizovaného formátu v tvare uholníka s dĺžkou ramien 10 mm hrúbkou 5 mm.
- **Orientačnú mriežku** – s dĺžkami úsekov 50 mm meraných vždy na každú stranu od strediacich značiek. Lem a deliace čiary úsekov sa robia čiarou s hrúbkou 0,35 mm. Jednotlivé úseky sa označujú zhora nadol a zľava doprava (pri formáte A4 sa označenie úsekov uvádza len na hornej a pravej strane).
- **Označenie formátu výkresu** – v pravom rohu spodného lemu (napr. A3).
- **Titulný blok** – v minimalizovanej forme určuje norma STN EN ISO 7200. [8]

### 2.1.2 Rozmery výkresov

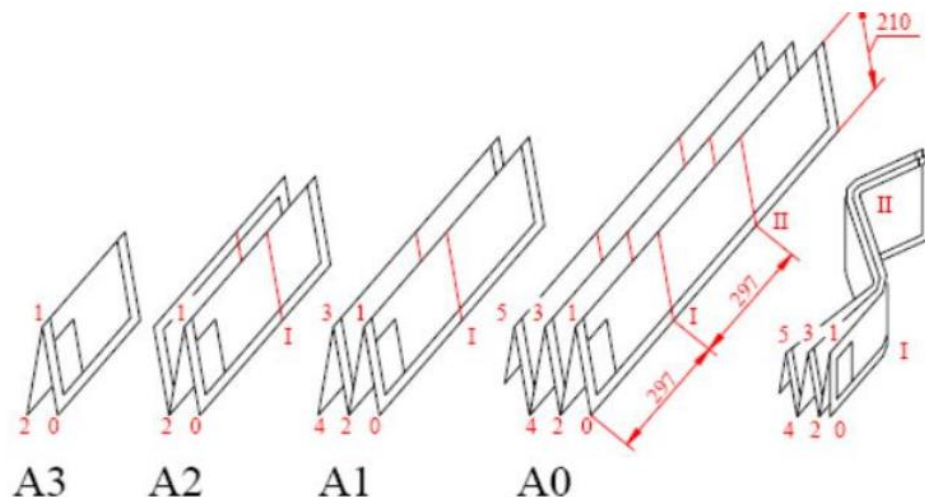
Základný formát, z ktorého sa odvodzujú ďalšie, je A0 s plochou 1m<sup>2</sup> a s pomerom strán 1:√2 s rozmermi 841 x 1189 mm. Menšie formáty sa získavajú delením dlhšej strany formátu (obr.2.1), rozmery orezaných a neorezaných listov a plochy na kreslenie (obr.1).

Tabuľka 1 Formáty výkresov ([Teória technické kreslenie str.8](#))

Označenie	Orezaný výkresový list	Plocha na kreslenie	Neorezaný výkresový list
A0	841 x 1189	821 x 1159	880 x 1230
A1	594 x 841	574 x 811	625 x 880
A2	420 x 594	400 x 564	450 x 625
A3	297 x 420	277 x 390	330 x 450
A4	210 x 297	180 x 277	240 x 330

### 2.1.3 Archivácia výkresov

Originály sa majú uskladňovať nezložené v archíve výkresov. Kópie výkresov sú súčasťou technickej dokumentácie výrobku. Výkresy väčšieho formátu ako A4 sa skladajú na formát A4 s titulným blokom vpredu. Skladajú sa harmonikovým spôsobom. [8]



Obrázok 10 Skladanie výkresov ([Teória technické kreslenie str.9](#))










## 2.1.4 Druhy čiar

Tvar výrobku ako aj prvky pre kótovanie sa znázorňujú na technických výkresoch pomocou čiar. Pravidlá pre zobrazovanie čiar určuje norma STN ISO 128-20. [8]

Hrúbka čiar „d“ je stanovená nasledovne 0,13; 0,18; 0,25; 0,35; 0,5; 0,7; 1; 1,4; 2. Pomer hrúbok veľmi hrubej, hrubej a tenkej čiary je 4:2:1.

Norma STN ISO 128-24 upresňuje použitie jednotlivých typov čiar na výkresoch. Typy čiar ako aj ich použitie sú uvedené na obrázku. [8]

Tabuľka 2 Druhy čiar ([Teória technické kreslenie str.12](#))

číslo	čiara	použitie
01.1	súvislá tenká čiara 	.1 imaginárne čiary prieniku .2 kótovacie čiary .3 predĺžovacie čiary .4 zastávky a odkazové čiary .5 šrafovanie .6 obrysy otočených prierezov .7 krátke osi .8 dná závitov .9 zakončenia kótovacích čiar .10 uhlopriečky rovín .11 čiary ohybov .12 orámovanie podrobností .13 opakujúce sa podrobnosti .14 priečny rez kuželov .15 poloha vrstiev .16 premietajúce lúče .17 čiary mriežok
	Súvislá tenká od ruky 	.18 zakončenie čiastoč. pohľadov
	Súvislá tenká so zalomeninami 	.19 zakončenie čiastoč. pohľadov
01.2	Súvislá hrubá 	.1 viditeľné hrany .2 viditeľné obrysy .3 chrbty závitov .4 hranice užit. dĺžky závitov .5 hlavné čiary grafov, map... .6 osové dĺžky priečok .7 deliace čiary výkrovkov .8 čiary šípok rezov a prierezov
02.1	Čiarkovaná tenká 	.1 zakryté hrany .2 zakryté obrysy
02.2	Čiarkovaná hrubá 	.1 povrchové spracovanie
04.1	Bodkočiarkovaná tenká s dlhou čiarkou 	.1 osi .2 čiary súmernosti .3 rozstupové kružnice ozubení .4 rozstupové kružnice dier
04.2	Bodkočiarkovaná hrubá s dlhou čiarkou 	.1 plochy s tepel. a inou úpravou .2 poloha roviny rezov
05.1	Bodkočiarkovaná tenká s dlhou čiarkou a dvoma bodkami 	.1 obrysy príslušných častí .2 krajné polohy pohyb. častí .3 ťažiskové čiary .4 východiskové obrysy .5 časti pred rovinou rezu .6 obrysy alternatív. vyhotovení .7 obrysy konečného tvaru .8 plochy s osobitným určením .9 posunutá tolerančná zóna

Pri kreslení sa riadime nasledujúcimi pravidlami:

- Najmenšia medzera medzi dvoma rovnobežnými čiarami je 0,7 mm
- Dĺžky čiar je nutné dodržiavať podľa priloženej tabuľky
- Základné typy čiar sa prednostne dotýkajú a pretínajú v čiarkach
- Čiary sa musia začínať v mieste pripojenia alebo v úplnom prípadne čiastočnom kríži tvoreným čiarkami
- Bodkočiarkovaná čiara sa začína a končí čiarkou



- Rovnobežné prerušované čiary sa pri sebe kreslia striedavo

## 2.2 Prevodovky

Prevodový mechanizmus prenáša a prípadne rozdeľuje energiu privádzanú z hnacieho stroja na pracovný stroj. Tvorí teda spojovací článok medzi časťami strojného mechanizmu. Prevažná väčšina strojných zariadení pracuje s prevodmi. Stále častejšie sa objavujú doposiaľ menej používané druhy prevodov. Vzrastajú požiadavky na vetvený rozvod energie s prenosom pohybu na viac výkonných orgánov s rozdielnymi parametrami, na kontrolný, riadiace a regulačné mechanizmy, na blokovacie a synchronizačné zariadenia i prístroje pre optimalizáciu technologických procesov. Preto nielen v súčasnej dobe, ale aj v dlhodobej perspektíve, sú prevody dôležitým prvkom pri stavbe strojov a zariadení.

Hlavným dôvodom, pre ktoré sa prevody používajú ako spojovacie články v konštrukcii strojných zariadení je, že rýchlosti potrebné pre funkciu pracovného stroja a nástroja, prípadne automatizačného prvku, obyčajne nesúhlasí s rýchlosťami hnacieho stroja; obvykle majú hnacie stroje vyššie otáčkové frekvencie. V súčasnej dobe nespĺňujú pomalobežné stroje požiadavky optimálnej hmotnosti a výrobných nákladov.

V rade prípadov, ako u dopravných strojoch, napr. automobilov, sa v prevádzke mení nielen rýchlosť, ale aj smer pohybu. V stúpaní sa vyžaduje na hnacích kolesách automobilu väčší krútiaci moment, ale pritom automobilový motor sám o sebe umožňuje len malú zmenu krútiaceho momentu a frekvencie otáčok.

Klasifikácia prevodov je znázornená ( Obr. 1 ). Pri optimalizácii konštrukcií sa ukazuje ako výhodné vedľa mechanických prevodov používať tiež prevody elektrické, hydraulické, pneumatické a iné. V niektorých zariadeniach je účelné spájať mechanické prevody s inými druhmi prevodov tak, aby sa využili výhody jednotlivých typov (elektromechanické, hydromechanické a pod.).

Sila a pohyb sa môžu prenášať z hnacieho člena na hnaný rôznym spôsobom (trečia väzba, so sklzom), záberom zubov (tvarová väzba, bez sklzu), elektricky, hydraulicky či pneumaticky. Prevody majú podľa určenia buď stály alebo meniteľný prevodový pomer.

Keďže v bežnom živote najmä v strojárstve či v našom prípade v hlbinnom dobývaní sa najčastejšie používajú mechanické prevody ozubenými kolesami, budeme sa im v ďalšej časti venovať podrobnejšie. [2]

### 2.1.5 Prevody ozubenými kolesami

Charakteristika rozdelenie ozubených prevodov

Ozubené prevody predstavujú najvýznamnejší a najrozšírenejší druh prevodových mechanizmov; pracujú na princípe záberu (prenos síl tlakom) s bezprostredným dotykom spolu zaberajúcich členov. Ich najjednoduchšou formou a základnou stavebnou jednotkou je dvojica ozubených kolies – súkolesie, pozostávajúce z hnacieho a hnaného kolesa; menšie sa označuje ako pastorok, väčšie ako koleso. Úlohou tejto dvojice je vytvorenie kinematickej a silovej väzby medzi relatívne blízkymi hriadeľmi pri požadovanej transformácii uhlovej rýchlosti  $\omega$  a točivého momentu  $M_k$  a pri čo najvyššej mechanickej účinnosti  $\eta$ .

Zmena otáčavého pohybu dvomi hriadeľmi charakterizuje prevodový pomer  $i$ , ktorý pri číselnom značení spolu zaberajúcich členov (napr. hnacieho kolesa 1 a hnaného kolesa 2) je kinematicky definovaný vzťahom:

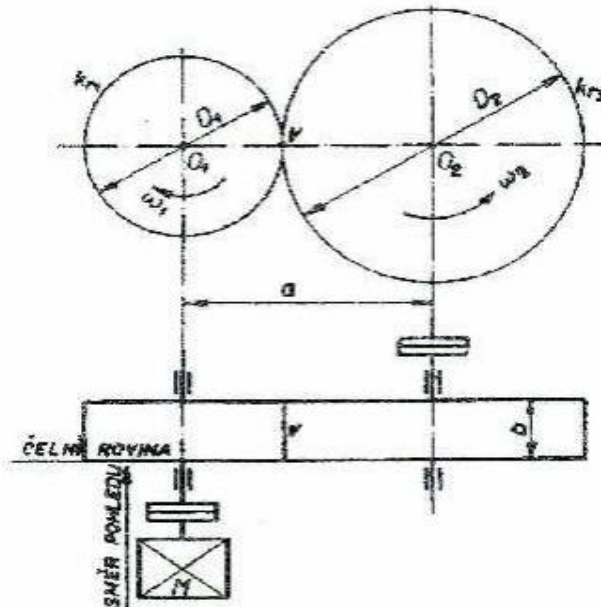
$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Veľkosť pomeru  $i$  sa spravidla chápe ako absolútna hodnota; hodnoty  $i > 1$  odpovedajú prevodom do pomala (redukcia), hodnoty  $i < 1$  charakterizujú prevody do rýchla (multiplikácia). Len u zložitejších mechanizmov sa uhlové rýchlosti uvažujú ako vektory a okrem veľkostí sa udávajú aj ich zmysly. [3]

Základné pojmy

Rozstupové valce pretínajú čelnú rovinu (kolmo k osám hriadeľov  $O_1, O_2$ ) vo valivých kružniciach  $kr_1, kr_2$  ( Obr. 2 ). Styková priamka u rozstupových valcov pretína čelnú rovinu vo valivom bode  $V$ . menšie koleso súkolesia sa nazýva pastorok a všetky jeho veličiny majú index 1. obvodová rýchlosť na rozstupových kružniciach je rovnaká. [1]

Zmysel otáčania ozubených kolies závisí na zmluvnom smere pohľadu zo strany výkonu, tzn. od motoru. Pričom otáčanie v smere hodinových ručičiek označujeme ako pravé, proti smeru hodinových ručičiek ako ľavé. [4]



Obrázok 11 Zmysel otáčania ozubených kolies ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.14](#))

Z uvedeného môžeme vyjadriť prevodový pomer:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$n_1, n_2$  – otáčky hriadeľov  $O_1, O_2$  [1/min]

$\omega_1, \omega_2$  – uhlové rýchlosti hriadeľov  $O_1, O_2$  [m/rad]

$z_1, z_2$  – počty zubov pastorku a kolesa

$D_1, D_2$  – priemery rozstupových kružníc [mm]

$a$  – osová vzdialenosť

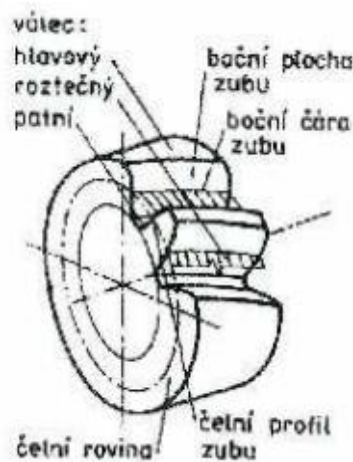
$b$  – šírka ozubenia kolies

## 2.1.6 Rozdelenie ozubených prevodov

Ozubené koleso sa skladá z tela a ozubeného venca. Tvar venca je určený rozstupovou plochou. Podľa tvaru rozstupovej plochy sú kolesá:

- valcové
- kužeľové
- hyperboloidné (z výrobných dôvodov sa nahrádzajú valcovými, kužeľovými, alebo globuidnými) [3]

Ozubený veniec je tvorený zubmi, rovnomerne rozloženými po obvode kolesa a geometricky určenými predovšetkým tzv. bočnými plochami ( Obr. 3 ).



Obrázok 12 Ozubený veniec ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.15](#))

Ozubený veniec je radiálne vymedzený hlavovou plochou a pätnou plochou, ktoré sú súosové a rovnakého typu s rozstupovou plochou. Podľa vzájomnej polohy hlavovej a pätnéj plochy rozoznávame:

- kolesá s vonkajším ozubením
- kolesá s vnútorným ozubením

V axiálnom smere je ozubený veniec vymedzený dvomi čelnými plochami, ktorých vzdialenosť určuje šírku ozubeného venca. Prieniková čiara bočnej plochy zuby s plochou čelnou určuje čelný profil zuby. [3]

Výhody ozubených mechanizmov:

- a) relatívne malé rozmery a kompaktnosť
- b) dobrá spoľahlivosť a životnosť
- c) dobrá mechanická účinnosť
- d) presnosť dodržania prevodového pomeru
- e) schopnosť prenosu veľkých výkonov (50 až 100 MW) pri obvodových rýchlostiach až 150 m.s-1
- f) schopnosť dosiahnutia vysokých prevodových pomerov
- g) pomerne malá náročnosť na údržbu
- h) krátkodobé preťaženie

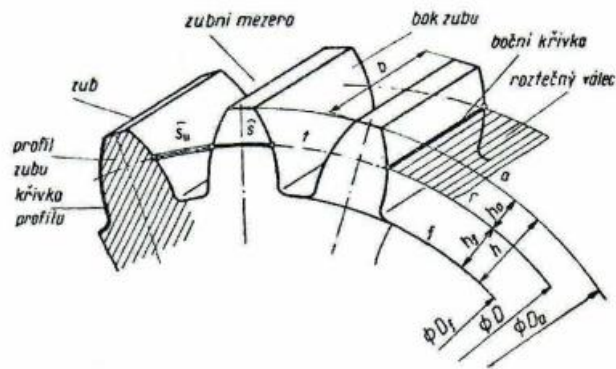
Nevýhody ozubených mechanizmov:

- a) zložitejšia a finančne nákladnejšia
- c) tuhá väzba členov, neumožňujúca tlmenie rázov a dynamického zaťaženia
- d) nemožnosť dosiahnutia ľubovoľného prevodového pomeru (počet zubov musí byť celé číslo) [3]

### 2.1.7 Základné parametre

Veniec má na svojom obvode zuby (obr.14). Priestory medzi zubami sú zubové medzery. Čelný tvar zubu nazývame profil zubu. Krivka profilu je priesečnicou boku zubu s čelnou rovinou. Hlavová kružnica  $D_a$  je kružnica, ktorá ohraničuje hlavy zubov, pätná kružnica  $D_f$  ohraničuje päty zubov.

Výška zubu  $h$  je radiálna vzdialenosť hlavovej a pätnéj kružnice. Výška hlavy  $h_a$  a výška päty  $h_f$  sa meria od rozstupovej kružnice  $r$ .  $D$  je priemer rozstupovej kružnice  $r$ . Vzdialenosť susedných rovnako ľahkých kriviek profilov, meranou ako oblúk na rozstupovej kružnici  $r$ , nazývame rozstupom  $t$ . Preto sa táto kružnica nazýva rozstupová kružnica. [5]



Obrázok 13 Základné parametre ozubeného kolesa ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.24](#)) [7]

$D_a$  – priemer hlavovej kružnice

$D_f$  – priemer päťnej kružnice

$s$  – hrúbka zubu, meraná ako oblúk na rozstupovej kružnici  $r$   $s_u$  – šírka zubovej medzery

$b$  – šírka ozubenia

Dôležitou veličinou u ozubenia je modul  $m$ , čo je časť priemeru rozstupovej kružnice pripadajúcej na jeden zub kolesa. Ak je počet zubov kolesa  $z$ , rozstup zubov  $t$ , je obvod rozstupovej kružnice:

$$o = \pi \cdot d = z \cdot t$$

a priemer rozstupovej kružnice:

$$d = z \cdot \frac{t}{\pi} = z \cdot m$$

kde modul  $m = \frac{t}{\pi}$

Všetky rozmery ozubení sú násobkom modulu, ktorý je normalizovaný a odstupňovaný v rade podľa STN 01 4608. [6]

Tabuľka 3 Moduly čelných ozubených kolies STN 01 4608 ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.25](#))

0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	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	13	14	15	16	18	20	22	24
27	30	33	36	39	42	45	50	55	60	65	70	75

Hrúbka zubu  $s_z$  je dĺžka oblúka na rozstupovej kružnici medzi oboma bokmi toho istého zubu. Šírka zubovej medzery  $s_m$  je dĺžka oblúka rozstupovej kružnice medzi ľavým a pravým bokom dvoch susediacich zubov.

Pri výpočte ozubených súkolesí počítame, že:

$$s_z = s_m = \frac{t}{2}$$

Vzhľadom k výrobným nepresnostiam ozubenia, nepresnej montáži a ohrievaní zubov počas prevádzky, sú potrebné určité bočné vôľe  $v_b$  medzi bokmi zubov spolu zaberajúcich kolies. Bočná vôľa  $v_b$  sa meria v pracovnom postavení súkolesia v smere záberovej čiary. U neopracovaných zubov pre  $m < 2,5$  závisí bočná vôľa na spôsobe prevádzky (najmenej  $0,03 \cdot m$ ; najviac  $0,05 \cdot m$ ). pre moduly  $m > 2,5$  bývajú vôľe až o 50 % väčšie. [1]

Z empirických vzťahov sa prevádza výpočtom ozubeného kola:

$$\text{Výška hlavy zubu: } h_a = m$$

$$\text{Výška päty zubu: } h_f = m + v_h$$

Kde  $v_h$  je hlavová vôľa. Je to vzdialenosť medzi hlavovou kružnicou jedného a pätnou kružnicou druhého kola.

$$v_h = h_f - h_a = (0,1 \div 0,3) \cdot m$$

Obvykle býva:

$$V_h = \frac{1}{6} \cdot m$$

Priemerové rozmery čelných ozubených kolies s priamymi zubmi sú:

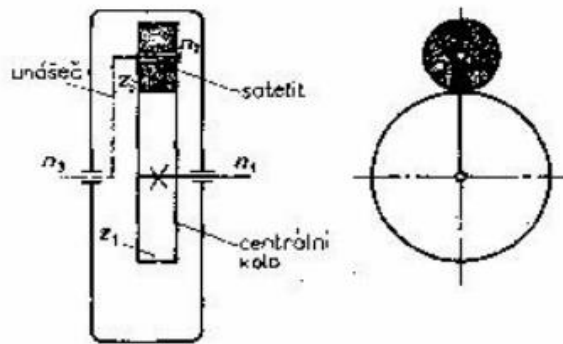
Priemer rozstupovej kružnice:  $D = m \cdot z$

Priemer hlavovej kružnice:  $D_a = D + 2h_a = D + 2m$

Priemer pätnjej kružnice:  $D_f = D - 2h_f = D - 2m$

### 2.3 PLANÉTVÉ OZUBENÉ PREVODY

Ozubené prevodové súkolesia sa delia na predlohové a planétové. Predlohové ozubené kolesá rotujú okolo svojej osy, ktorá je nehybne uložená v základnom ráme. Druhou možnosťou je prevod planétovým súkolesím, kde dochádza u niektorých ozubených kolesách, tzv. satelitov, ku krúživému pohybu okolo centrálnej osy prevodu, satelity otočne uložené na týchto osách konajú voči rámu pohyb planétový (obr.15).



Obrázok 14 Planétové ozubené prevody ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.33](#))

U týchto prevodov sa najčastejšie používajú valcové kolesá valivé, prípadne i kuželové alebo skrutkové. Všetky druhy planétových súkolesí s čelnými kolesami sa dajú usporiadať obdobne s kuželovými kolesami. Kolesá sa robia so zubami priamymi a aj šikmými. [3,6]



### 2.1.1 Základné pojmy

Planétové prevody majú tieto členy:

- centrálnne(korunové) koleso
- unášač,
- satelit

Centrálnne kolesá, označujú sa symbolom K, môžu byť pohyblivé (točivé) alebo nepohyblivé a to buď s ozubením vonkajším alebo vnútorným, ich osy sú totožné s centrálnnou osou prevodu.

Unášače, označujú sa symbolom U, slúžia predovšetkým ako opora a vodiaci člen satelitu, otáča sa okolo centrálnnej osy prevodu a majú buď tvar kotúča alebo sa používajú rovnomerne rozložené ramená.

Satelit, označuje sa symbolom S, sú ozubené kolesá s rovnakými rozmermi a s vonkajším ozubením otočne uložené na čapoch unášača. Počet čapov a ramien súhlasí s počtom satelitov (2 až 6, obvykle však 3). Tvorí s korunovými kolesami pólóvý záber, môžu byť jednoduché a lebo dvojité. [3]

Prehľad základných typov planétových prevodov

Podľa druhu hlavných členov sú tieto planétové prevody:

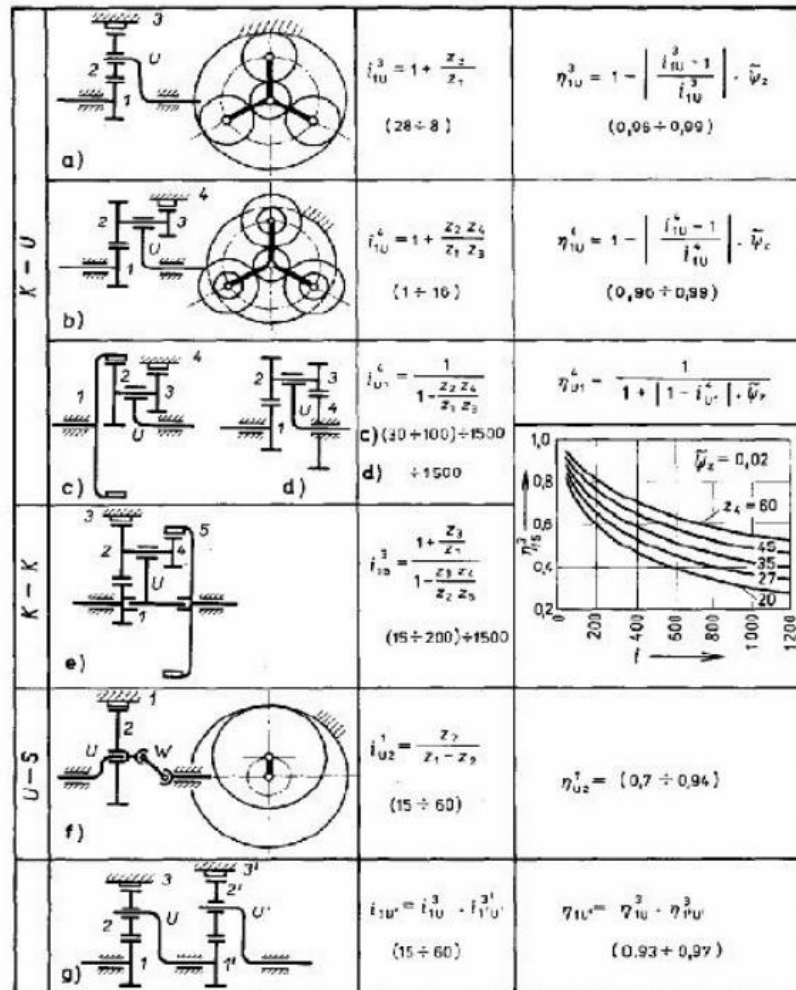
Typ K-U, vyznačuje sa tým, že na jednom z vonkajších hriadeľov je uložený unášač, druhý hriadeľ nesie korunové koleso. Tieto prevody s vyvedeným pohybom unášača sú najčastejšie a v prevedení s jednoduchými alebo dvojitými satelitmi, sú vhodné ako silové prevody. Majú vysokú mechanickú účinnosť bez ohľadu na to, že sú používané ako reduktory (hnacie je koleso 1) alebo multiplikátory (hnací je unášač).

Typ K-K, oba vonkajšie hriadele sú osadené korunovými kolesami, unášač slúži iba ako opora satelitov a neúčastní sa na prenose točivého momentu. Týmto prevodom sa dajú uskutočniť veľké prevodové pomery, ale za cenu nižšej účinnosti.

Typ U-S, ide o prevody s vyvedeným pohybom satelitu. Na hnacom hriadeľi je uložený unášač, spojenie medzi hnaným hriadeľom a satelitom sa realizuje prídavným me-

chanizmom W. Na obr. 25 f je to hriadeľ s dvoma kľbmi v homokinematickom usporiadaní. Týmito prevodmi môžeme dosiahnuť pomerne veľké prevodové pomery pri pomerne dobrej účinnosti. Závadou sú komplikácie spojené s mechanizmom W.

Zložené planétové prevody vznikajú radením jednotlivých planétových prevodov za sebou ( obr. . Celkový prevodový pomer je daný súčinom jednotlivých dielčích planétových prevodov, to isté platí aj o účinnosti. [3]



Obrázok 15 Prehľad ozubených prevodoviek ([bak. práca V. Sukeník 2009 str.35](#))

### 2.1.2 Konštrukčné geometrické podmienky

U ozubených súkolesiach, predovšetkým planétové súkolesia s niekoľkými sateľmi, sa nedá voliť počet zubov jednotlivých kolies ľubovoľne. Podmienky, ktorým je treba pri voľbe počtu zubov ozubených kolies vyhovieť, nazývame podmienkou zmontovateľnosti. Ďalšou podmienkou je podmienka súsovosti, ktorá vyplýva zo súsovosti

centrálnych kolies a unášača planétového súkolesia. Pri voľbe počtu satelitov alebo satelitových radov vedľa seba musíme vyhovieť aj podmienke susedstva. Tá zaisťuje, aby nedošlo ku kolízií medzi satelitmi.

### **Podmienka zmontovateľnosti**

Pri planétových prevodoch s dvojitými satelitmi sa musí splniť požiadavka:

$$z_1 = k \cdot a_K, z_4 = q \cdot a_k, \text{ kde } k \text{ a } q \text{ sú ľubovoľné celé čísla.}$$

Pri planétových prevodoch s jednoduchými satelitmi sa musí splniť požiadavka:

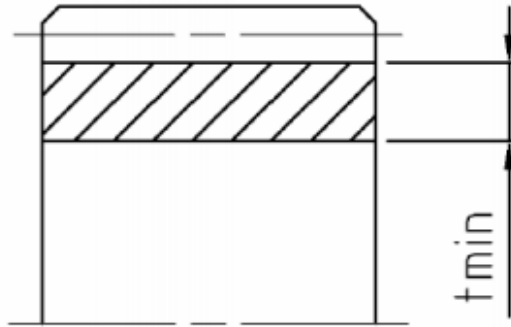
$$z_1 + z_3 = k \cdot a_K$$

### **Podmienka súsovosti**

U kolies s priamymi zubami je treba splniť požiadavku:  $z_1 + z_2 + z_3 = z_4$

### **Konštrukčné obmedzenie**

Pre geometrické obmedzenie sme ako jednu z obmedzujúcich podmienok brali podmienku, že pre súkolesie je rozhodujúci minimálny počet zubov na satelite, ale minimálny počet zubov na satelite nemusí byť limitovaný geometrickými pomermi ozubenia samotného satelitu, ale jeho konštrukcie. Satelit musí byť na nosiči satelitov uložený otočne. Ložisko môže byť ako klzné, tak aj valivé, spravidla ihlové. Namáhanie býva značné, pretože ložisko zachycuje dvojnásobok síl z ozubenia. Aby nedošlo k poškodeniu telesa satelitu jeho rozlomením od dna zubovej medzery k obežnej dráhe ložiska, je nutné dodržať istú minimálnu hrúbku materiálu  $t_{min}$ . Doporučovaná hodnota je výška zubov na satelite, alebo  $2m_t$  (dva moduly použitého ozubenia). [6]



Obrázok 16 Minimálna hrúbka materiálu ([bak. práca Vladimír Sukeník 2009 str.38](#))

### 2.1.3 Výhody a nevýhody planétových prevodov

V poslednej dobe sa stále viac nahradzujú predlohomé prevodové skrine prevodom planétovým. Planétové prevody sa používajú najčastejšie v automobilových, leteckých motoroch, textilných a obrábacích strojoch. Základnou prednosťou planétového prevodu je totiž schopnosť prenosu veľkých výkonov a realizácia vysokých prevodových pomerov pri relatívne malých rozmeroch a nízkej hmotnosti prevodovej skrine.

Výkon, ktorý je privádzaný na centrálné koleso, sa vetví do toľko ozubení, koľko je na obvode satelitov, čo vedie k menšiemu zaťaženiu kolies a menšiemu modulu. Vďaka použitiu vnútorného súkolesia získa planétový prevod vyššiu účinnosť a menšie priestorové nároky. Účinnosť u tohto súkolesia sa väčšinou pohybuje na 0,97.

Centrálné koleso býva uložené bez ložísk a je v zábere so satelitmi, to umožňuje privádzať veľmi vysoké otáčky a redukovat' ich do pomala, či naopak môžeme dosiahnuť u hnaných strojoch veľmi vysoké otáčky tzv. planétovým rýchlobehom. Často sa môžeme stretnúť s používaním planétového súkolesia ako diferenciál t.j. mechanizmu s dvomi stupňami voľnosti.

Nevýhodou planétových prevodov je vyššia cena spôsobená presnejšou výrobou a montážou než bežné prevodovky. Vzhľadom k dynamickým účinkom odstredivých síl nemôžu mať unášače vysoké otáčky. Musí sa venovať väčšia pozornosť konštrukčným návrhom a dodržiavať podmienky zmontovateľnosti, susedstva a súsovnosti. Značný počet ložísk pri dost' veľkých priemeroch a obvodových rýchlostiach vyžadujú starostlivé mazanie. [6]

## 4 Praktická časť

Prvým krokom bude navrhnutie vstupných parametroch t.j. motor. V ďalšom kroku navrhne modul ozubených kolies. Následne s pomocou programu MITCalc vyhotovíme planétovú prevodovku, ktorú exportujeme do 3D programu. V našom prípade to je Solid Edge 2020. Po zostavení planétovej prevodovky vyhotovíme animáciu a následne vyhotovíme výrobné výkresy ku každej súčiastke zostavy.

### 4.1 Program MITCalc

**MITCalc** je otvorený systém navrhnutý v Microsoft Exceli, v ktorom môžete vykonávať úpravy či užívateľské rozšírenia bez akýchkoľvek programátorských znalostí. MITCalc obsahuje návrhové a kontrolné výpočty napríklad :čelné ozubenie( vonkajšie a vnútorné), kuželové ozubenie, šekové ozubenie, planétový prevod, klinové remene, ozubené remene, reťazové prevody, ložiská, nosníky, vzpier, dosky, škrupiny, hriadele, pružiny, skrutkový spoj, spojenie hriadel'ov, tolerancia, nalisovaný spoj, čapy, tolerančná analýza, zvarové spoje, technické vzorce a mnohých ďalších. K dispozícii máte aj radu materiálových, porovnávacích a rozhodovacích tabuliek vrátane systému pre správu vyriešených úloh.

#### 4.1.1 Podpora 2D CAD systémov

Väčšina výpočtov umožňuje priamy výstup do podporovaných 2D CAD systémov. Vo výpočte stačí vybrať cieľový CAD systém a vybrať pohľad (typ zobrazenia). Do CAD systému je potom umiestnený zvolený výkres v správnom merítku a v zodpovedajúcom systéme hladín . Riešenie je maximálne otvorené . Je tak možné jednoducho pripojiť ďalšie CAD systémy alebo definovať nové šablóny výkresov založené na vypočítaných hodnotách.

#### 4.1.2 Užívateľské rozhranie

Väčšina výpočtov má podobné užívateľské rozhranie, ktorého prednosťou je logická štruktúra úlohy zhora nadol - od zadania k výsledkom . Teda tak, ako ste zvyknutí postupovať ak riešite úlohu s kalkulačkou na liste papiera . Medzi niektoré ďalšie výhody patrí :

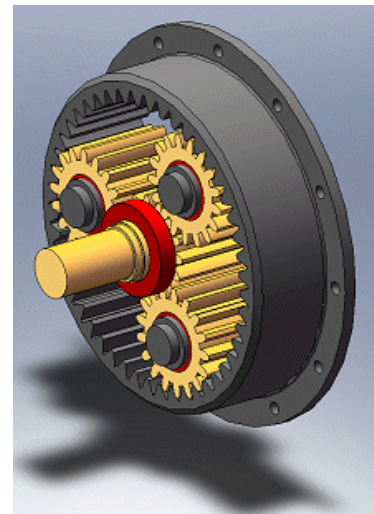
- Systém „Poznámok experta“, obsahujúce rady a odporúčania pre vstupné a výstupné hodnoty.
- Podpora milimetrových aj palcových jednotiek.
- Odporúčané hodnoty - výpočet vie navrhnúť (odhadnúť) rad koeficientov.
- Pri ľubovoľnej zmene okamžité prepočítanie úlohy (tabuľky).
- Vo väčšine výpočtov je k dispozícii "Automatický návrh", ktorý s minimom vstupných informácií navrhne rad riešení podľa zvoleného optimalizačného parametra (napr. hmotnosť, bezpečnosť, rozmery).

### 4.1.3 Planétové ozubenie

Výpočet je určený pre geometrický a pevnostný návrh a kontrolu planétového ozubenia s priamymi a šikmými zubami .

Program rieši nasledujúce úlohy:

- Výpočet šikmého a priameho ozubenie.
- Automatický návrh prevodu s minimom vstupných požiadaviek.
- Návrh pre zadané koeficienty bezpečnosti.
- Výpočet kompletných geometrických parametrov (vrátane korigovaného ozubenie ).
- Optimalizácia ozubenie voľbou vhodnej korekcie (vyrovnanie merných sklzov, minimalizácia merných sklzov, pevnosť ...).
- Výpočet pevnostných parametrov, kontrola bezpečnosti.
- Doplnkové výpočty (výpočet parametrov existujúceho kola, návrh hriadeľov, kontrolný rozmery )
- Podpora 2D a 3D CAD systémov
- Výkresy presného tvaru zuba vrátane dátových podkladov (súradnice X, Y )
- Výpočty používajú postupy, algoritmy a údaje z noriem ISO, DIN, BS až odbornej literatúry[11]



Obrázok 17 Planétové ozubenie ([techsoft.sk](http://techsoft.sk))

## **4.2 Solid Edge 2020**

Je riešenie pre 3D digitálny návrh pre strojárské produkty, plechové komponenty, priemyselné celky, spotrebný tovar, plastové dielce až po nábytkársky priemysel. Jednoduchosť a rýchlosť Solid Edge zrýchli celý proces návrhu výrobkov cez digitálne overenie, úpravy komponentov, výkresovú dokumentáciu až po správu dát k výrobku.

### **4.2.1. Zostavy**

Solid Edge je navrhnutý na spracovanie rôznych variantov zostáv. Účinné nástroje pomáhajú používateľom zamerať sa na konkrétne oblasti návrhu, môžete overiť kontrolu kolízií súčiastok, zapamätať si vkladanie opakujúcich sa komponentov, využiť nastaviiteľné komponenty prispôsobujúce sa zostave, vytvárať mechanické väzby a overiť vzájomné pohyby.

### **4.2.2. Simulácie návrhu**

Nástroje, ktoré vo fáze digitálneho návrhu umožňujú overiť výrobok a vplyv reálneho používania, a minimalizovať nutnosť výroby testovacích prototypov. V čase návrhu dokážete overiť použité materiály, hľadať varianty návrhu, overiť rôzne druhy zaťaženia, či tepelného namáhania. Základnou vlastnosťou je výkonné intuitívne prostredie, umožňujúce pokročilé simulácie pre konštruktérov bez nutnosti rozsiahlych analytických FEM nastavení. Pre rozsiahle a špecifické typy overenia výrobku je zároveň k dispozícii riešenie FEMAP, priamo prepojené so Solid Edge.

### **4.2.3. Výkresová dokumentácia**

Poskytuje široké možnosti na vytváranie presnej a kvalitnej technickej dokumentácie z 3D modelov. Jednotlivé výkresy obsahujú štandardné i pomocné zobrazenia, rezy, detaily, izometrické zobrazenia, odkazové čiary i montážne rozpady pohľadov. Samozrejmosťou je aktualizácia všetkých zmien z 3D modelov do 2D výkresov. Automaticky generované kusovníky je možné plne prispôsobiť firemnému štandardu, a tiež prepojiť s MS Office.[12]

### 4.3.1. Voľba základných vstupných parametrov

Planétovú prevodovku budeme počítať pre daný prenášaný výkon  $P = 5400 \text{ kW}$ . Pre tento výkon zvolíme 3-fázový asynchrónny motor s rotorom na krátko.

Motor: AP 112M-2

Výkon motora  $P = 5,5 \text{ kW}$

Otáčky motora  $n = 2\,910 \text{ min}^{-1} = 48,5 \text{ s}^{-1}$

Pre dané hodnoty prepočítame rozmery prevodovky z dôvodu obťažnosti výroby ozubeného kolesa na 3D tlačiarni.

Vo voľbe základných vstupných parametrov sa volia parametre ako jednotky výpočtu, typ prevodu, prenášaný výkon alebo otáčky. Pri jednotkách prevodu sa učí norma a aj základné jednotky pre používané veličiny. V možnosti type prevodu sa určí, ktoré ozubené koleso je hnacie a ktoré je hnané. Výkon sa zadá podľa parametrov motora, ktorý poháňa daný prevodový mechanizmus, rovnako sa zadajú aj otáčky. Nakoniec sa vygeneruje prevodový pomer.

- Vid. Príloha A I.: [Tabuľka základných vstupných parametrov](#)

### 4.3.2. Voľba materiálu a režimu zaťaženia

Zvolí sa materiál jednotlivých súčiastok ako aj režim zaťaženia, poprípade požadovaná životnosť mechanizmu. (Ak nie je iná ako udaná programom). Takisto sa určí presnosť. (Ra)

- Vid. Príloha A II.: [Tabuľka voľby materiálu a režimu zaťaženia](#)

### 4.3.3. Návrh modelu a geometrie ozubenia

V tejto časti sa určia parametre ako sú požadovaný počet satelitov, normálny uhol záberu ako aj sklon, modul ozubenia (normalizovaná hodnota z STN) a šírka ozubených kolies podľa odporúčaných rozmeroch ktoré vypočítal program.

- Vid. Príloha A III.: [Návrh modelu a geometrie ozubenia](#)



#### 4.3.4. Základné rozmery ozubenia

Pri záložke základné rozmery ozubenia sa vypíšu všetky dôležité parametre ozubenia ako modul, počet zubov, osová vzdialenosť, rozstup, priemery hlavových a pätných kružníc, hlavové vôle, výška päty zuba, výška hlavy zuba atď.

Pro tejto záložke je možné si všimnúť chybové hlásenia o tom aby pracujúci prekontroloval dané riadky a hodnoty. V praxi je to veľmi dôležité a pomocou týchto hlásení sa môže predísť rôznym chybám a poruchám alebo deformáciám ozubených kolies. Takisto to ma veľký vplyv na životnosť ozubených kolies. Keďže naša práca je teoretická a prakticky bude slúžiť len na ukážku môžeme tieto hlásenia ignorovať ak nespôsobujú závažné chyby.

- Vid. Príloha A IV.: [Základné rozmery ozubenia](#)

#### 4.3.5. Grafický výstup – CAD systémy

Tento modul slúži k vygenerovaniu jednotlivých ozubených kolies alebo celej planetovej prevodovky do 3D CAD systému. Ako je v našom prípade Solid Edge 2020. Takisto sa v tomto module dajú vygenerovať výkresy a tabuľky parametrov pre ozubené kolesa.

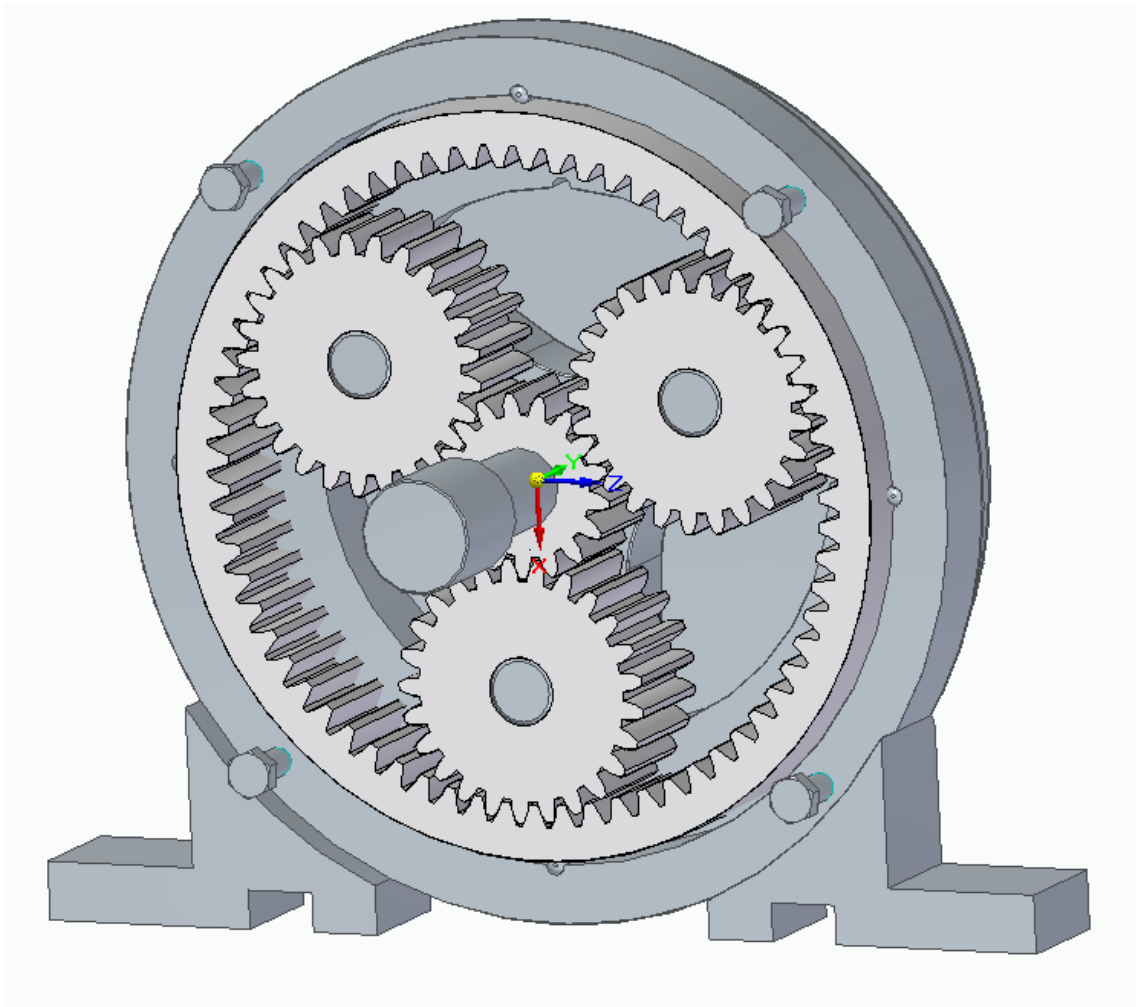
- Vid. Príloha A V.: [Grafický výstup – CAD systémy](#)

### 4.3 Postup tvorby prevodovky v programe Solid Edge

Tvorbu prevodovky v programe Solid Edge som začal importovaním vstupných údajov z programu MITCalc. Tento program mi uľahčil prácu s vytváraním ozubených kolies. Následne som vytvoril nosič a ostatné súčiastky ako sú vstupný hriadeľ, výstupný hriadeľ, kt. je pripojený k nosiču, ložiská, valčeky, skrutky a prevodovú skriňu. Následne som dané prvky zostavil do zostavy kde som vytváral vzťahy medzi súčastami. Nakoniec som prešiel k tvorbe prevodového pomeru kde som označil prevodové kolesá a určil im zmysel otáčania ako aj prevodový pomer. Funkčnosť prevodovky nie je úplná keďže sa nič netočí s ozubenými kolesami spoločne. Vždy došlo k otáčaniu iba ozubených kolies alebo iba k otáčaniu nosiča bez toho aby sa krútili ozubené kolesa. Z tohto dôvodu navrhujem tvorbu animácie vytvárať v inom programe.

## 5 Výsledky práce a diskusia

Výsledok tejto práce je funkčný planétový prevodový mechanizmus spolu s technickou dokumentáciou. Výrobný výkres všetkých ozubených kolies. Prevodovka bude slúžiť len na edukačne a ilustračné účely. Vypočítané parametre sú prispôbené pre možnosť výroby prevodu na 3D tlačiarňi. Súčiastky ako slnko (centrálne oz. koleso), planétky a satelit boli vygenerované programom MITCalc pre minimalizovanie konštrukčných chýb. Ďalšie súčiastky ako je vstupný hriadeľ, nosič, ložiská, valčeky, skriňa a skrutky boli vytvorené manuálne. Výrobné výkresy boli tak isto vytvorené v programe Solid Edge.



Obrázok 18 Model planétovej prevodovky

## 6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] POSPÍŠIL, M. *Bakalárská práca*. Zlin : UTB, 2004.
- [2] F., BOHÁČEK. *Časti a mechanizmy strojov III - Prevody*. Brno : VUT, 1987.
- [3] BOLEK, A., KOCHMAN, . *Časti strojov 2. zväzok 5. vyd.,*. Praha : SNTL, 1990.
- [4] Nemeč, A. *Časti strojov II - Prevody*. Praha : SNTL.
- [5] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VAVRA, P. *Storožné tabulky 3. vyd*. Praha : Scientia, 1989.
- [6] SVOBODA, J. *Planétové prevody*. Praha : ČVUT, 2005.
- [7] A., BOLEK. *Častí stojů II 1. vyd*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd , 1963.
- [8] Andrea, Ing. Lašková. drgo.sk. [Online] [Dátum: 08. 12 2020.] <http://www.drgo.sk/celaTeoria.pdf>.
- [9] techsoft.sk. [Online] [Dátum: 20. 10 2020.] <http://www.techsoft.sk/sk/cad/mitcalc>.
- [10] sova.sk. [Online] [Dátum: 26. 10 2020.] <https://sova.sk/produkty/solid-edge/>.

# ZOZNAM PRÍLOH

## Prílohy A:

Príloha A I.: [Tabuľka základných vstupných parametrov](#)

Príloha A II.: [Tabuľka voľby materiálu a režimu zaťaženia](#)

Príloha A III.: [Návrh modelu a geometrie ozubenia](#)

Príloha A IV.: [Základné rozmery ozubenia](#)

Príloha A V.: [Grafický výstup – CAD systémy](#)

## Prílohy B:

Príloha B I.: [Vstupný hriadeľ](#)

Príloha BII.: [Nosič](#)

Príloha B III.: [Planétové ozubené koleso](#)

Príloha B IV.: [Ložisko](#)

Príloha B V.: [Skrutka](#)

Príloha B VI.: [Satelit](#)

Príloha B VII.: [Slnko](#)

Príloha B VIII.: [Prevodová skriňa zadná časť](#)

Príloha B IX.: [Prevodová skriňa predná časť](#)

Príloha B X.: [Animácia](#)

## Príloha C:

Príloha C I.: [Zostavný výkres](#)

Príloha C II.: [Výrobný výkres centrálného oz. kolesa \(slnko\)](#)

Príloha C III.: [Výrobný výkres planétového oz. kolesa \(planetka\)](#)

Príloha C IV.: [Výrobný výkres satelitu](#)