

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra částí a mechanismů strojů

# **Rekonstrukce planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy**

Reconstruction of a Planetary Gearbox  
for the Earth Stabilizer

Student:  
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Aleš Kratochvíl  
doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Kratochvíl**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin

Téma: **Rekonstrukce planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy**  
**Reconstruction of a Planetary Gearbox for the Earth Stabilizer**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce navrhnete rekonstrukci planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy směsnými pojivy:

1. Výkon převodovky 98 kW
2. Vstupní otáčky převodovky 1930 ot/min
3. Převod 6,2
4. Návrh ozubení podle původního zařízení.

Konstrukční dokumentace bude obsahovat sestavný výkres a výrobní výkresy určených dílů.

### Seznam doporučené odborné literatury:

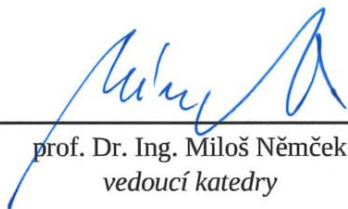
- BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 1*. Praha : SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.
- BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 2*. Praha : SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8.
- DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava : Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
- DRASTÍK, F. *Strojnické tabulky*. Ostrava : Montanex, 1999, 722 s. ISBN 80-85780-95-X.
- KŘÍŽ, R. *Strojnické tabulky II. Pohony*. Ostrava : Montanex, 1997, 213 s. ISBN 80-85780-51-8.
- MORAVEC, V.; HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2005, 72 s. ISBN 80-248-0878-1
- NĚMČEK, M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*. druhé vydání Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8
- Katalogy ložisek*
- Firemní literatura*

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.**


Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

prof. Dr. Ing. Miloš Němček  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

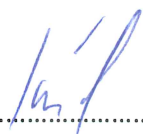
V Ostravě dne 21. května 2018

  
.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Aleš Kratochvíl

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lichnov 225, psč: 79315

#### ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRATOCHVÍL, A. *Rekonstrukce planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojům, 2018, 44 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá rekonstrukcí planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy. V úvodu práce je popsán princip stabilizace zeminy. Dále jsou popsány zařízení používaná pro stabilizaci a jejich pohony. Proveden je rozbor pohonu zařízení a výpočet silových poměrů. Je navrženo ozubení dle původní dokumentace a následně je provedena pevnostní kontrola tohoto ozubení. Unašeč satelitních kol je přepracován tak, aby byl výrobitelný dostupnými technologiemi. Těsnění a ložiska jsou nahrazena normalizovanými a dostupnými. Je provedena změna spojů evolventním drážkováním a kontrola drážkování. Závěrem práce je vytvořena výkresová dokumentace sestavy a vybraných dílů.

#### ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRATOCHVÍL, A. *Reconstruction of a Planetary Gearbox for the Earth Stabilizer: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanism, 2018, 44 p. Thesis head: doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.

Master thesis deals with reconstruction of planetary gearbox for for the Earth Stabilizer. The introduction of the thesis describes the principle of soil stabilization. In addition, is made introduction of devices used for earth stabilization and their drives. An analysis of the stabilizer drive and the calculations of the drive forces. Gears are designed according to the original documentation and is checked the strength of the gears. The planetary gear carrier is redesigned to make it with available technologies. Seals and bearings are replaced by standard and available. A change of joints is made by involute grooving. In the end are created drawings of the assembly and selected parts.

# Obsah

Úvod .....	9
1 Stabilizace zeminy .....	10
2 Druhy zařízení pro stabilizaci zeminy .....	11
2.1 Princip zařízení pro stabilizaci zeminy .....	11
2.2 Typy stabilizačních zařízení .....	12
2.2.1 Závěsný stabilizátor zeminy .....	12
2.2.2 Stabilizátor zeminy s vlastním pohonem .....	13
3 Pohony zařízení pro stabilizaci zeminy .....	14
3.1 Výstup výkonu z traktoru .....	15
3.2 Rozdělení výkonu .....	15
3.3 Přenos výkonu na převodovku bubnu .....	16
3.4 Vnitřní převodovka frézovacího bubnu .....	17
3.4.1 Převodovka s vnitřním ozubením .....	17
3.4.2 Planetová převodovka .....	18
4 Řešené zařízení pro stabilizaci zeminy .....	19
4.1 Provedení pohonu .....	19
4.2 Technické parametry pohonu .....	20
4.2.1 Kontrola zadaných parametrů planetové převodovky .....	20
5 Planetová převodovka .....	21
5.1 Konstrukce planetové převodovky .....	21
6 Návrh ozubení .....	22
6.1 Podmínky pro konstrukci planetové převodovky .....	22
6.1.1 Podmínka smontovatelnosti .....	22
6.1.2 Podmínka minimální vůle mezi satelity .....	23
6.1.3 Podmínka sousostí .....	23

6.2	Kontrola korekcí ozubení .....	24
6.3	Výsledné parametry ozubení .....	25
6.4	Výpočet silových poměrů planetové převodovky .....	25
6.5	Výpočet parametrů poháněného bubnu .....	27
6.6	Pevnostní kontrola ozubení .....	27
7	Návrh dalších komponentů planetové převodovky .....	29
7.1	Ložiska .....	29
7.1.1	Ložiska satelitů.....	29
7.1.2	Ložiska bubnu a vstupního hřídele .....	30
7.2	Unašeč satelitních kol .....	31
7.3	Těsnění.....	34
7.4	Spoje evolventním drážkováním.....	35
7.5	Pojištění korunového kola .....	37
8	Závěr.....	40
9	Seznam použité literatury .....	41
10	Seznam příloh.....	43



## Seznam použitých značek a symbolů

symbol	význam	jednotky
C	dynamická únosnost ložiska	N
C <sub>s</sub>	dynamická únosnost ložiska satelitu	N
D <sub>č</sub>	průměr osazení čepu	mm
F <sub>r1</sub>	reakční síla na satelitu	N
F <sub>r2</sub>	reakční síla na korunovém kole	N
F <sub>s</sub>	unášivá síla jednoho satelitu	N
F <sub>u</sub>	celková unášivá síla	N
F <sub>t</sub>	tečná síla působící na satelit	N
L <sub>S10</sub>	trvanlivost ložiska satelitu	mil. ot.
L <sub>S10h</sub>	trvanlivost ložiska satelitu v hodinách	h
M <sub>o</sub>	ohybový moment	Nm
N	počet satelitů planetové převodovky	-
P	zatížení ložiska	N
P <sub>1</sub>	výkon na hřídeli traktoru	kW
P <sub>2</sub>	výkon na kloubovém hřídeli	kW
P <sub>3</sub>	výkon na vstupní hřídeli převodovky	kW
P <sub>4</sub>	výkon na výstupu z převodovky	kW
P <sub>B</sub>	výkon frézovacího bubnu	kW
R <sub>e</sub>	mez kluzu materiálu	MPa
R <sub>e14220</sub>	mez kluzu materiálu 14 220.4	MPa
R <sub>m</sub>	mez pevnosti materiálu	MPa
R <sub>m12060</sub>	mez pevnosti materiálu 12 060.9	MPa
R <sub>m14220</sub>	mez pevnosti materiálu 14 220.4	MPa
T	krouticí moment	Nm
T <sub>3</sub>	krouticí moment na vstupním hřídeli	Nm
T <sub>4</sub>	krouticí moment na výstupu planetové převodovky	Nm
T <sub>B</sub>	krouticí moment frézovacího bubnu	Nm
T <sub>s</sub>	krouticí moment satelitu	Nm
W <sub>o</sub>	modul průřezu v ohybu	mm <sup>3</sup>
a <sub>w</sub>	osová vzdálenost	mm

<b>symbol</b>	<b>význam</b>	<b>jednotky</b>
b	šířka kola	mm
b <sub>d</sub>	společná šířka drážkování	mm
b <sub>l</sub>	šířka ložiska čepu	mm
d <sub>d</sub>	střední průměr drážkování	mm
d <sub>a</sub>	průměr hlavové kružnice	mm
d <sub>č</sub>	kontrolovaný průměr čepu	mm
d <sub>w1</sub>	průměr valivé kružnice centrálního kola	mm
d <sub>w2</sub>	průměr valivé kružnice korunového kola	mm
d <sub>ws</sub>	průměr valivé kružnice satelitu	mm
e	excentricita	mm
h	výška součásti	mm
h <sub>d</sub>	společná výška drážky	mm
h <sub>ř</sub>	výška řemenice od povrchu	mm
i	převodový poměr	-
i <sub>12</sub>	převodový poměr rozvodovky	-
i <sub>23</sub>	převodový poměr řemenového převodu	-
i <sub>34</sub>	převodový poměr převodovky	-
k	konstanta podmínky smontovatelnosti	-
k <sub>T</sub>	koeficient dynamické únosnosti pro ložiska v tandemu	-
m	modul ozubení	mm
n	otáčky	min <sup>-1</sup>
n <sub>1</sub>	výstupní otáčky hřídele traktoru	min <sup>-1</sup>
n <sub>2</sub>	otáčky kloubového hřídele	min <sup>-1</sup>
n <sub>3</sub>	otáčky na vstupním hřídeli planetové převodovky	min <sup>-1</sup>
n <sub>4</sub>	otáčky na výstupu z převodovky	min <sup>-1</sup>
n <sub>B</sub>	otáčky frézovacího bubnu	min <sup>-1</sup>
p	exponent rovnice trvanlivosti ložiska	-
p <sub>dov</sub>	dovolené napětí v tlaku	MPa
p <sub>d</sub>	napětí v tlaku na bocích drážkování	MPa
r <sub>č</sub>	rádius zaoblení čepu	mm
r <sub>w1</sub>	valivý poloměr centrálního kola	m

<b>symbol</b>	<b>význam</b>	<b>jednotky</b>
$u_{34}$	převodový poměr planetové převodovky	-
$v_{min}$	minimální vůle mezi satelity	mm
$v_{minD}$	minimální dovolená vůle mezi satelity	mm
$x$	korekce ozubeného kola	-
$x_1$	korekce centrálního kola	-
$x_2$	korekce korunového kola	-
$x_s$	korekce satelitu	-
$z$	počet zubů	-
$z_1$	počet zubů centrálního kola	-
$z_2$	počet zubů korunového kola	-
$z_d$	počet zubů drážkování	-
$z_s$	počet zubů satelitu	-
$\alpha$	úhel profilu normální	°
$\alpha_t$	součinitel koncentrace napětí ve vrubu	-
$\beta$	úhel sklonu zubu	°
$\sigma_{Do}$	dovolené napětí v ohybu	MPa
$\sigma_F$	pevnost v ohybu	MPa
$\sigma_H$	pevnost v dotyku	MPa
$S_{F1}$	bezpečnost v ohybu centrálního kola	MPa
$S_{H1}$	bezpečnost v dotyku centrálního kola	MPa
$S_{F2}$	bezpečnost v ohybu satelitu	MPa
$S_{H2}$	bezpečnost v dotyku satelitu	MPa
$\eta$	celková účinnost pohonu	-
$\eta_{12}$	účinnost rozvodovky	-
$\eta_2$	účinnost kloubového hřídele	-
$\eta_{23}$	účinnost řemenového převodu	-
$\eta_{34}$	účinnost planetové převodovky	-
$\Phi$	relativní funkční počet drážek	-

## Úvod

Diplomová práce se zabývá rekonstrukcí planetové převodovky zařízení pro stabilizaci zeminy. Zařízení pro stabilizaci zeminy jsou dnes používána téměř na všech pozemních stavbách. Stabilizace zeminy urychluje stavební práce a následně prodlužuje životnost staveb jako jsou například silnice, dálnice, železnice, mosty, budovy atd.

Poháněcí ústrojí zařízení pro stabilizaci zeminy odolává velké zátěži. Zařízení musí být schopno zpracovat jakýkoli povrch od písčitých zemin až po kamení, asfaltové vozovky, nebo beton. Celé zařízení je zároveň vystaveno prachu, hlíně a kamení, proto je nutné jej adekvátně chránit, aby nedošlo k proniknutí nečistot do pohonného ústrojí.

Rekonstrukce planetové převodovky spočívá v identifikaci jednotlivých komponentů, jejich pevnostní kontrole a vytvoření technické dokumentace. Výkresová část obsahuje výkres sestavy a výkresy vybraných dílů. Komponenty převodovky musí být výrobitelné dostupnými technologiemi. U dalších dílů bude ověřena jejich dostupnost u dodavatelů.

# 1 Stabilizace zeminy

Při zemních stavbách se stavitelé často setkávají s nevhodnou půdou. Jedná se zejména o jemnozrnné písčité zeminy, které bývají často velmi vlhké a nestabilní. Jejich odvoz a výměna za vhodnější podloží je příliš nákladná a časově náročná. Proto byla vyvinuta technologie zvaná stabilizace zeminy.

Stabilizace zeminy je důležitá pro zlepšení vlastností povrchové vrstvy půdy, její zpevnění a zbavení vlhkosti. Úprava půdy se provádí pojivy jako jsou vápno, cement, struska, popílky a jejich směsí v různých poměrech podle potřeby. Tato pojiva jsou následně smíchána se zeminou v homogenní směs. Homogenizace se provádí pomocí zařízení pro stabilizaci zeminy tzv. zemní frézou a následným zhutněním upravené vrstvy. Tato operace zajišťuje téměř okamžité zlepšení vlastností půdy. Umožňuje provoz stavební techniky a další stavební operace. Dlouhodobě udržuje zeminu zpevněnou, stabilní a tím přispívá k životnosti staveb postavených na takto stabilizovaném povrchu.



*Obrázek. 1.1 Proces stabilizace zeminy [9]*

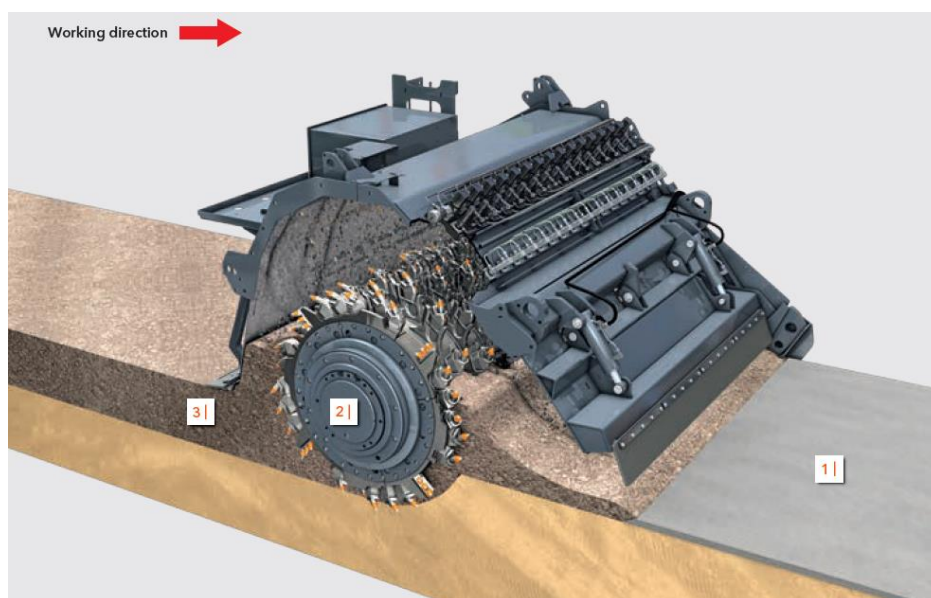
Na obrázku 1.1 je vyobrazen proces stabilizace zeminy. Vpravo rovnoměrné rozprostření směsných pojiv nákladním automobilem. Uprostřed stabilizační fréza homogenizující pojiva se zeminou. Vlevo zhutňování směsi válcovacími soupravami.

## 2 Druhy zařízení pro stabilizaci zeminy

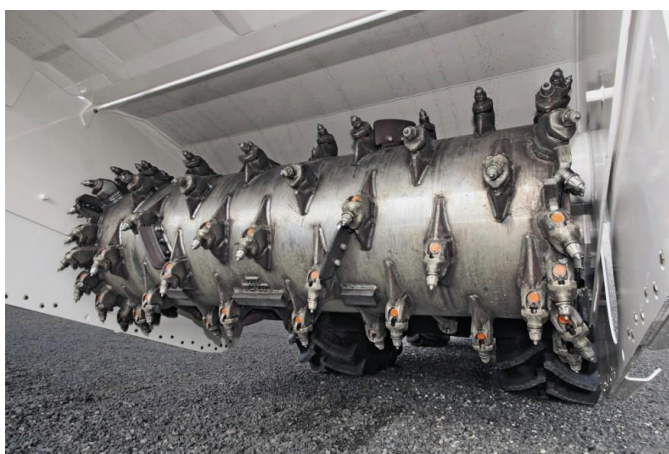
Zařízení pro stabilizaci zeminy umožňuje smíchání pojiv s vrchní vrstvou horniny. Dříve se k tomuto účelu používaly gradery, dozery či jiná zemní technika. Postupem času se vyvinuly speciální zařízení pro mísení zeminy s pojivy. Tyto zařízení se nazývají stabilizátory zeminy, zemní frézy nebo také homogenizační frézy.

### 2.1 Princip zařízení pro stabilizaci zeminy

Princip homogenizace zeminy je vyobrazen na obrázku 2.1. Stabilizátor zeminy je rotační fréza s hroty vyrobenými z tvrdokovu (obrázek 2.2). Fréza rotuje nesousledně s pracovním směrem, rozemílá horninu a mísí ji s pojivem. Směs horniny a pojiva je následně vyrovnána a připravena ke zhutnění nebo k opakovanému mísení při nedostatečné homogenizaci.



Obrázek 2.1 Princip homogenizace horniny s pojivem: 1| pojivo, 2| homogenizační fréza, 3| homogenní směs zeminy a pojiva [10]



Obrázek 2.2 Buben frézy s vyměnitelnými hroty [11]

## 2.2 Typy stabilizačních zařízení

Zařízení pro stabilizaci jsou konstruována ve dvou základních provedeních. Prvním typem je závěsný zemní stabilizátor nesený traktorem a druhým typem je stabilizátor zeminy s vlastním pohonem.

### 2.2.1 Závěsný stabilizátor zeminy

Závěsný stabilizátor zeminy (obrázek 2.3) je zařízení nesené traktorem nebo jinou technikou disponující třibodovým traktorovým závěsem a požadovaným pohonem.



Obrázek 2.3 Závěsná stabilizační fréza [12]

Pracovní šířka závěsných stabilizátorů se pohybuje v rozmezí od 1000 mm do 2500 mm. Regulace hloubky frézování se provádí hydraulicky podle potřeby a zvolené technologie stabilizování. Maximální hloubka frézování je u většiny zařízení 400-500 mm. Výkon se pohybuje od 100 kW do 250 kW v závislosti na velikosti zařízení [12]. Hmotnost stabilizátorů je mezi 2500 kg u menších stabilizátorů až do hmotnosti přesahující 6000 kg u velkých zařízení.

Výhodou závěsných stabilizátorů jsou nižší pořizovací náklady oproti stabilizátorům s vlastním pohonem. Další výhodou je možnost použití i v lesnictví k likvidaci potěžebních zbytků a k přípravě půdy pro výsadbu stromků.

Nevýhodou může být potřeba traktoru s vysokým výkonem a vysokou nosností závěsu.

### 2.2.2 Stabilizátor zeminy s vlastním pohonem

Stabilizátory s vlastním pohonem jsou jednoúčelové stavební stroje určené k homogenizaci zeminy s pojivy (obrázek 2.4).



Obrázek 2.4 Stabilizátor zeminy s vlastním pohonem [10]

Pracovní šířka se pohybuje mezi 2000 mm a 3000 mm. Výkon motoru těchto stabilizátorů je od 300 kW do 600 kW. Maximální hloubka homogenizace se stejně jako u závěsných stabilizátorů pohybuje okolo 500 mm. Hmotnost stabilizátorů s vlastním pohonem je od 20 000 kg až do 35 000 kg [10].

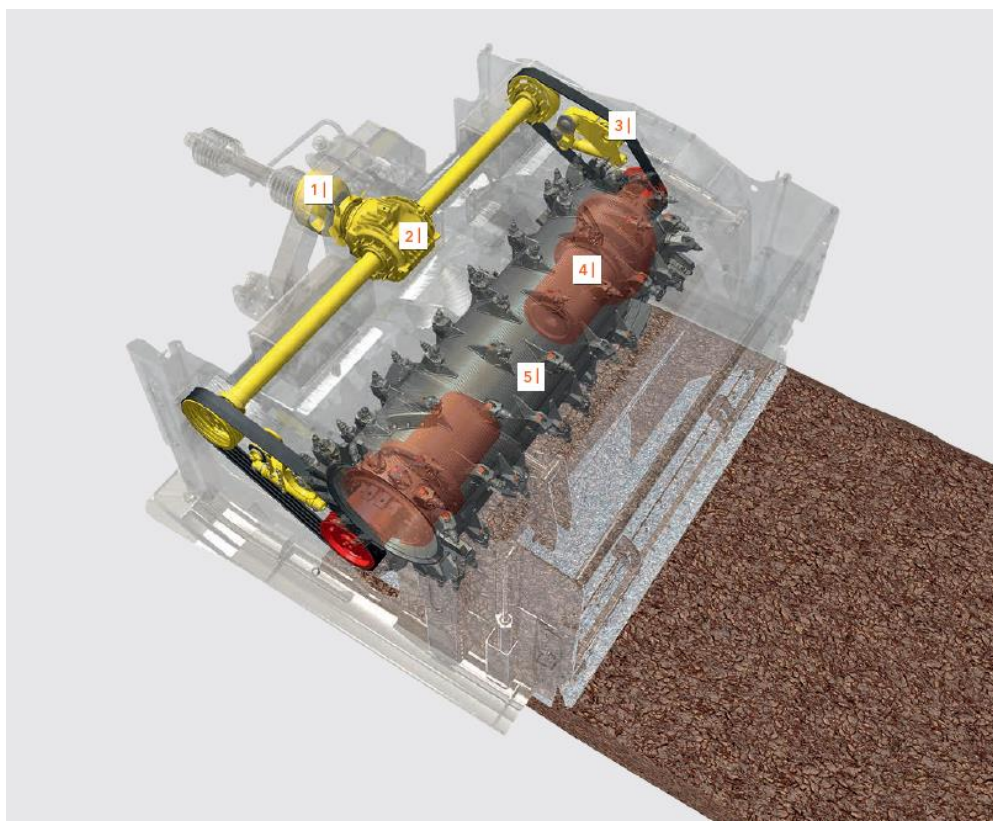
Výhodou jednoúčelových stabilizačních zařízení je vysoká efektivita práce a možnost přídatných funkcí stroje jako je například zvlhčování zeminy.

Nevýhodami jsou použití pouze za účelem stabilizace zeminy a vysoké pořizovací náklady stabilizátoru.



### 3 Pohony zařízení pro stabilizaci zeminy

Přenos výkonu v jednotlivých stabilizačních zařízeních dostupných na trhu se od sebe liší pouze v detailech. Typický pohon zařízení je vyobrazen na obrázku 3.1.

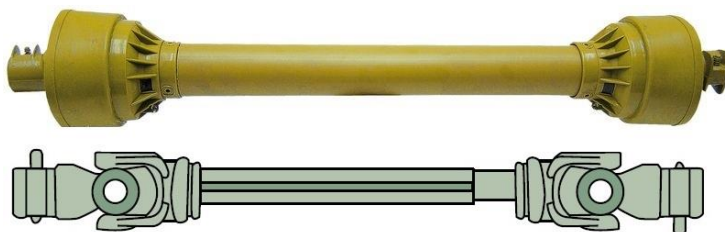


*Obrázek 3.1 Poháněcí ústrojí stabilizačního zařízení:  
1| Výstupní hřídel traktoru, 2| rozvodovka, 3| řemenový převod,  
4| Vnitřní převodovka bubnu, 5| Frézovací buben [9]*

Výkon přivedený kloubovým hřídelem z traktoru je rozdělen rozvodovkou symetricky na obě strany zařízení. Pomocí řemenových převodů je výkon přenesen na převodovku uvnitř bubnu. Převodovka redukuje otáčky a otáčí frézovacím bubnem. U některých konstrukcí zařízení pro stabilizaci zeminy je přenos výkonu na buben pouze na jedné straně. Toto platí pouze u menších zařízení s menší pracovní šířkou a menší pracovní hloubkou.

### 3.1 Výstup výkonu z traktoru

Výstup výkonu z traktoru je vždy realizován normalizovaným kardanovým hřídelem (obrázek 3.2) o potřebné délce a předepsaném maximálním výkonu.

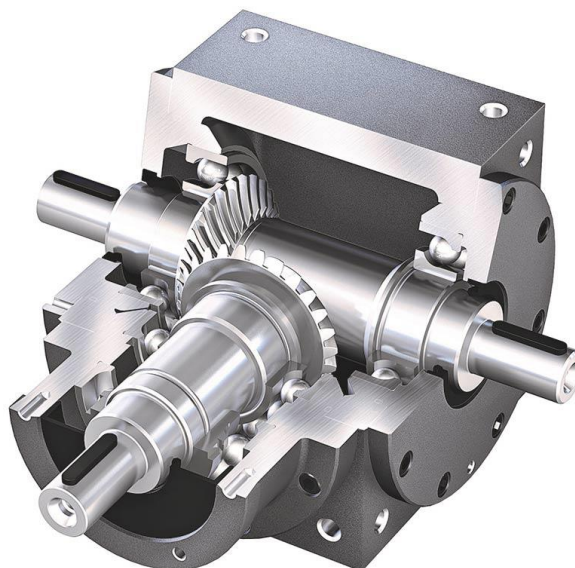


Obrázek 3.2 Výstupní kardanový hřídel [13]

Pracovní otáčky hřídele traktoru jsou obvykle  $540 \text{ min}^{-1}$  nebo  $1000 \text{ min}^{-1}$  [14]. Přenášený výkon je závislý na výkonu traktoru.

### 3.2 Rozdělení výkonu

Rozdělení výkonu ze vstupního hřídele je provedeno pomocí rozvodovky s kuželočelním ozubeným převodem (obrázek 3.3). Rozvodovka může sloužit jako reduktor nebo multiplikátor otáček podle potřeby konstrukce. Výkon je dále přenášen pomocí hřídelů na obě strany zařízení.



Obrázek 3.3 Příklad provedení rozvodovky pro větvení výkonu [15]

### 3.3 Přenos výkonu na převodovku bubnu

Od hřídelů k bubnu je přenos momentu zajištěn řemenovými převody. Řemenové převody se používají v provedení s klínovými i s ozubenými řemeny viz obrázky 3.4.



*Obrázek 3.4 Provedení řemenového převodu:  
vlevo s klínovými řemeny, vpravo s ozubenými řemeny [12]*

Další alternativou je přenos výkonu pomocí ozubených kol. Italský výrobce FAE používá k přenosu výkonu tříступňovou převodovku na bocích stabilizátoru. Skříň převodovky lze vidět na obrázku 3.5.



*Obrázek 3.5 Přenos momentu pomocí ozubených kol [16]*

### 3.4 Vnitřní převodovka frézovacího bubnu

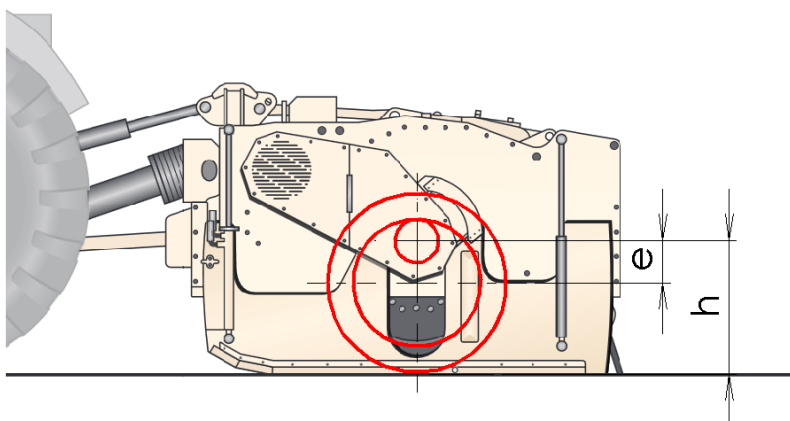
Převodovka v bubnu stabilizačního zařízení slouží ke konečné redukci otáček a přenosu krouticího momentu na buben. V praxi se používá dvojí řešení. Použití převodovky s vnitřním ozubením, nebo převodovky planetové.

#### 3.4.1 Převodovka s vnitřním ozubením

Prvním typem je použití převodovky s vnitřním ozubením (obrázek 3.6). Toto řešení má výhodu v jednoduché konstrukci. Další výhodou je zvětšení vzdálenosti mezi hnacím hřídelem a frézovaným povrchem o velikost excentricity os převodu (obrázek 3.7). Nevýhodou je vyšší zatížení ozubení oproti planetové převodovce.



Obrázek 3.6 Převod s vnitřním ozubením [17]



Obrázek 3.7 schéma pohonu převodem s vnitřním ozubením:  
 $h$  – vzdálenost vstupního hřídele od povrchu,  $e$  – excentricita převodu s vnitřním ozubením

### 3.4.2 Planetová převodovka

Druhým řešením koncového převodu je použití planetové převodovky. Planetový převod je vyobrazen na obrázku 3.8. U zařízení pro stabilizaci zeminy se používá planetová převodovka s bržděným korunovým kolem pro její ideální převodový poměr. Výhodou je možnost přenášení vysokého výkonu s dlouhou životností. Nevýhodou je složitější konstrukce než u převodovky s vnitřním ozubením.



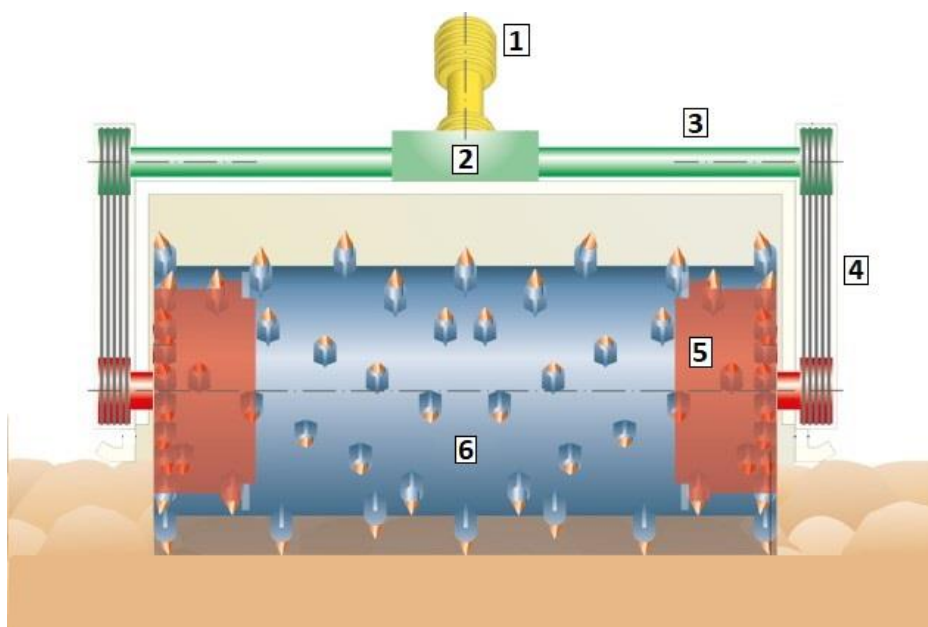
Obrázek 3.8 Planetová převodovka [18]

## 4 Řešené zařízení pro stabilizaci zeminy

Původní stabilizační zařízení pochází od německého výrobce speciální stavební techniky Stehr Specialmaschinen. Zařízení dále prošlo úpravou ve firmě Milata technology, kde je také používáno.

### 4.1 Provedení pohonu

Pohon stabilizačního zařízení je vyobrazen na obrázku 4.1. Pohon je stranově symetrický. Skládá se ze vstupní kloubové hřídele připojené ke kuželočelní převodovce. Kuželočelní převodovka rozvádí moment na dva kloubové hřídele. Po stranách jsou ke kloubovým hřídelům připojeny řemenové převody. Hnaná řemenice je upevněna na hřídeli planetové převodovky. Planetové převodovky se nachází uvnitř frézovacího bubnu, který pohání.



Obrázek 4.1 Schéma pohonu zařízení:

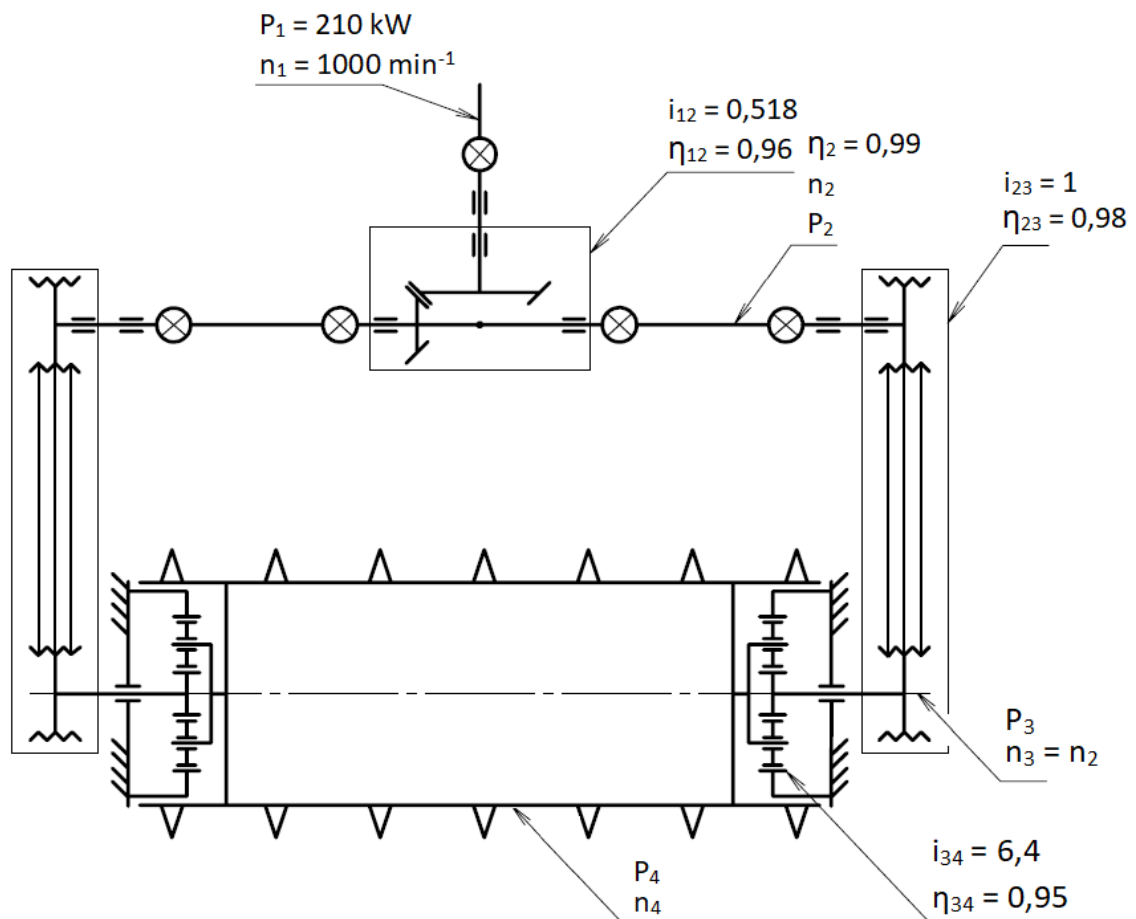
- 1) kloubový hřídel 2) kuželočelní rozvodovka 3) kloubový hřídel 4) řemenový převod  
5) planetová převodovka 6) frézovací buben [19]

Z dokumentů připojených k zadání byly určeny jednotlivé komponenty pohonu stabilizačního zařízení. Pořadí dle pozic z obrázku 14.

- 1) Hnací kloubový hřídel: BaP-6W SFT SH 1,3/476 3200Nm RTS
- 2) Kuželočelní převodovka: Röchling 9015-6052-1B030707
- 3) Kloubové hřídele: GEWES BG63 60/720 mm
- 4) Řemenové převody: řemeny Optibelt 3-XPB 2800, Parametry řemenic nejsou známy.
- 5) Planetová převodovka: blíže popsána v kapitole 5.

## 4.2 Technické parametry pohonu

Ve schématu na obrázku 4.2 jsou vyobrazeny základní parametry pohonu. Vstupní výkon na hřídeli traktoru je  $P_1 = 210 \text{ kW}$  při otáčkách  $n_1 = 1000 \text{ min}^{-1}$ . Hodnoty účinností jednotlivých konstrukčních uzlů jsou převzaty z výpočtů přiložených k zadání.



Obrázek 4.2 Schéma přenosu výkonu a ztrát

### 4.2.1 Kontrola zadaných parametrů planetové převodovky

Otáčky  $n_3$ :

$$n_3 = \frac{n}{i} = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{1000}{0,518} = 1930 \text{ min}^{-1} \quad (4.1)$$

Vstupní otáčky se shodují se zadáním.

Výkon  $P_3$ :

$$P_3 = P \cdot \sum \eta = \frac{P_1}{2} \cdot \eta_{12} \cdot \eta_2 \cdot \eta_{23} = \frac{210}{2} \cdot 0,96 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 98 \text{ kW} \quad (4.2)$$

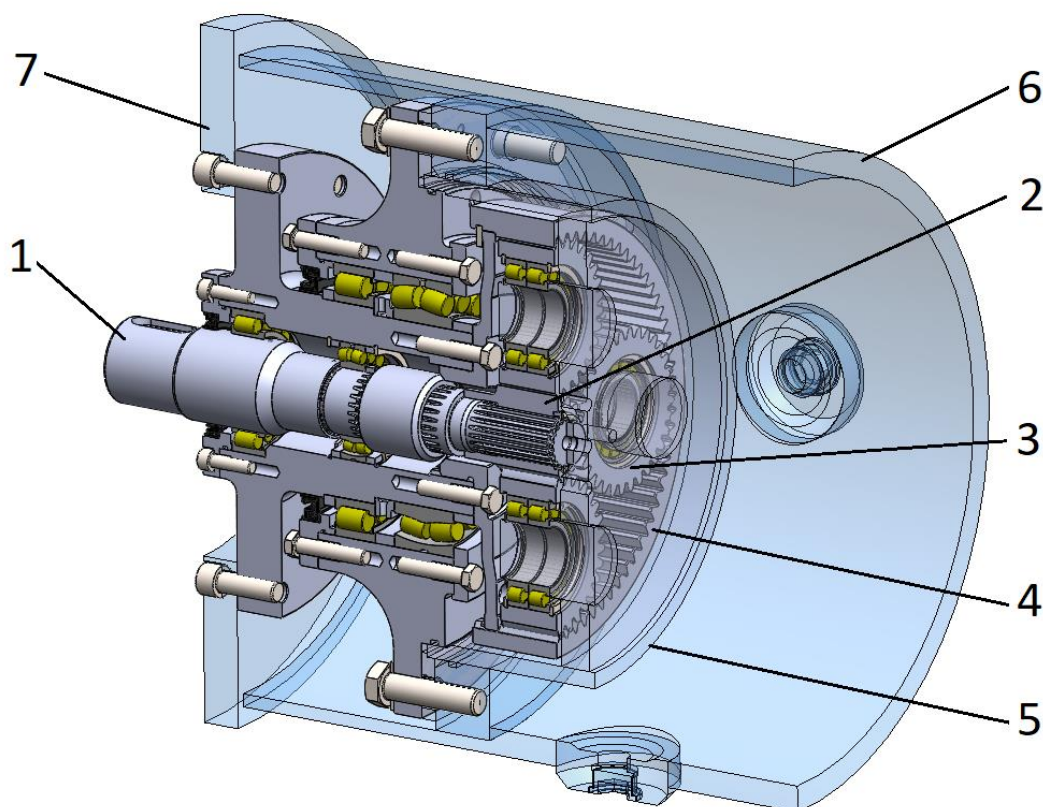
Vstupní výkon je shodný se zadáním.

## 5 Planetová převodovka

Původní planetová převodovka, montovaná do tohoto zařízení Stehr, byla převodovka Jahns JPSM 1250M1x6231 s převodovým poměrem 6,231. Přebodovka byla vyměněna za nově navrženou pro Milata technology. Nová planetová převodovka splňuje vyšší nároky na životnost jednotlivých komponentů. Skládá se z dílů dodávaných výrobcem Stehr. Některé komponenty nejsou blíže specifikovány a není možné dohledat jejich původ, či stejný výrobek od jiného dodavatele.

### 5.1 Konstrukce planetové převodovky

Konstrukcí se jedná o planetovou převodovku s brzděným korunovým kolem. Ozubení převodovky je čelní. Výkon je na unašeč přenášen pomocí čtyř satelitů. Základní komponenty převodovky jsou popsány v obrázku 5.1.



Obrázek 5.1 Planetová převodovka:  
1) hnací hřídel 2) centrální kolo 3) satelit 4) korunové kolo 5) unašeč satelitů  
6) frézovací buben 7) rám zařízení



## 6 Návrh ozubení

Ozubení je vytvořeno podle původní výkresové dokumentace přiložené k zadání. Základní parametry ozubení viz tabulka 6.1.

Tabulka 6.1 Základní parametry ozubení ze zadání

Název veličiny	Značení	Jednotky	Centrální kolo	Satelit	Korunové kolo
Indexy pro značení	-	-	1	s	2
Modul	m	mm	3,75		
Úhel profilu normální	$\alpha$	°	24		
Úhel sklonu zubu	$\beta$	°	0		
Počet zubů	z	-	15	32	-81
Šířka kola	b	mm	55	50	50
Osová vzdálenost	$a_w$	mm	91,000	-91,000	
Průměr hlavové kružnice	$d_a$	mm	68,600	127,500	296,000
Korekce	x	-	0,800000	0,024872	0,202707

Kontrola převodového poměru:

$$u_{34} = 1 + \frac{z_2}{z_1} = 1 + \frac{81}{15} = 6,4 \quad (6.1)$$

Převodový poměr se shoduje se zadáním.

### 6.1 Podmínky pro konstrukci planetové převodovky

Pro konstrukci každé planetové převodovky jsou důležité tři základní podmínky. Těmi jsou podmínka smontovatelnosti, podmínka minimální vůle mezi satelity a podmínka souososti. Podmínky jsou ověřeny v následujících podkapitolách.

#### 6.1.1 Podmínka smontovatelnosti

Podmínkou pro konstrukci planetové převodovky je podmínka smontovatelnosti. Aby byla podmínka smontovatelnosti splněna, musí konstanta „k“ představovat celé číslo [2].

Kontrola podmínky smontovatelnosti:

Počet satelitů planetové převodovky  $N = 4$ .

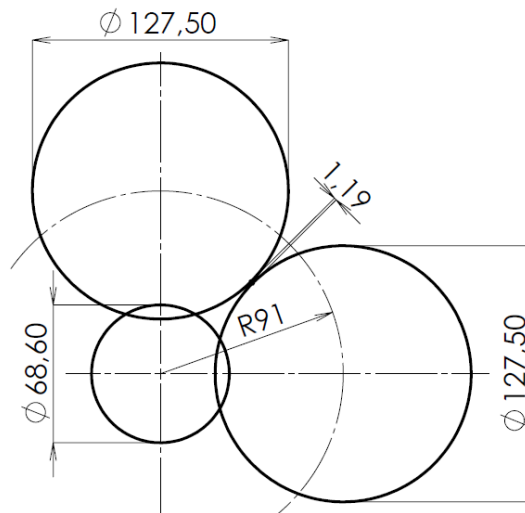
$$z_1 + z_2 = k \cdot N \quad (6.2)$$

$$15 + 81 = k \cdot 4 \quad \rightarrow \quad k = \frac{15 + 81}{4} = 24 \quad (6.3)$$

Konstanta  $k = 24$  je celé číslo, podmínka smontovatelnosti je splněna.

### 6.1.2 Podmínka minimální vůle mezi satelity

Další nutnou konstrukční podmínkou je vůle mezi satelity. Minimální dovolená vůle  $v_{minD} = 1 \text{ mm}$  je nutná pro provoz převodovky, aby nedošlo ke střetu satelitů [2]. Pokud by byla vůle  $v_{min} < 0$  planetová převodovka by byla nesmontovatelná. Vůle mezi satelity je ověřena graficky na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1 Grafické určení minimální vůle mezi satelity

$$v_{min} \geq v_{minD} \rightarrow 1,19 > 1 \quad (6.4)$$

Podmínka minimální vůle mezi satelity je splněna.

### 6.1.3 Podmínka souososti

Pro správnou funkci planetové převodovky je nutné, aby osové vzdálenosti mezi centrálním kolem a satelitem respektive mezi satelitem a korunovým kolem byly stejné.

Z tabulky 6.1 základních parametrů ozubení vyplývá, že osové vzdálenosti jsou stejné. Shodnost osových vzdáleností je ověřena i softwarem při návrhu parametrů ozubení viz příloha A a B. Podmínka je tedy splněna.

## 6.2 Kontrola korekcí ozubení

Reálné kombinace korekcí jednotlivých kol převodovky jsou vygenerovány v softwaru Planeta1 (obrázek 6.2) a následně porovnány s původní výkresovou dokumentací.

Obrázek 6.2 Hodnot korekcí ozubení v softwaru Planeta1

V tabulce 6.2 je porovnání korekcí z původní výkresové dokumentace s korekcemi určenými softwarem Planeta1.

Tabulka 6.2 Porovnání původních korekcí s výstupem ze softwaru Planeta1

Ozubené kolo	Značka	Původní	Nové
Centrální	$x_1$	0,800000	0,8000
Planetové	$x_s$	0,024872	0,0249
Korunové	$x_2$	0,202707	0,2027

Výsledné korekce jsou naprosto stejné jako korekce vygenerované softwarem. Návrh soukolí bude identický s původním.

### 6.3 Výsledné parametry ozubení

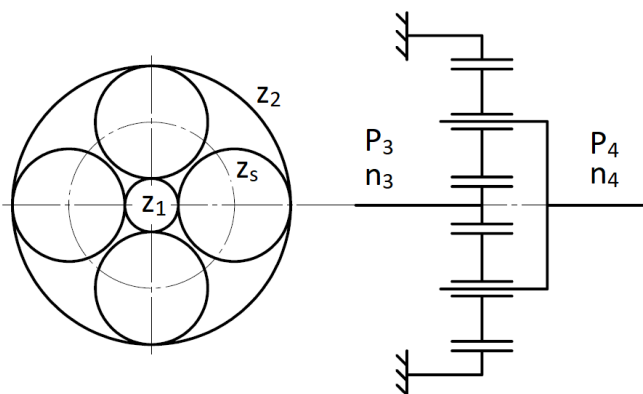
Detailní návrh rozměrů ozubení je proveden v softwaru Geometrie. Výstupem jsou hodnoty všech veličin popisujících ozubení jednotlivých kol. Tabulka parametrů soukolí centrálního kola a planetového kola je v příloze A. Tabulka parametrů soukolí planetového kola a korunového kola je v příloze B.

### 6.4 Výpočet silových poměrů planetové převodovky

Vstupní parametry pro výpočet vycházejí ze zadání a byly ověřeny kontrolními výpočty v kapitole 4.2. Schéma planetové převodovky je na obrázku 6.3. Na obrázku 6.4 jsou vyobrazeny silové poměry působící na satelit planetové převodovky.

Parametry pro výpočet:

Výkon na hnací hřídeli	$P_3 = 98 \text{ kW}$
Otáčky hnací hřídele	$n_3 = 1930 \text{ min}^{-1}$
Účinnost převodovky	$\eta_{34} = 0,95$
Počet satelitů	$N = 4$
Parametry ozubených kol	viz tabulka 6.1



Obrázek 6.3 Náčrt planetového převodu

Výstupní otáčky:

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{34}} = \frac{1930}{6,4} = 302 \text{ min}^{-1} \quad (6.5)$$

Krouticí moment na vstupu:

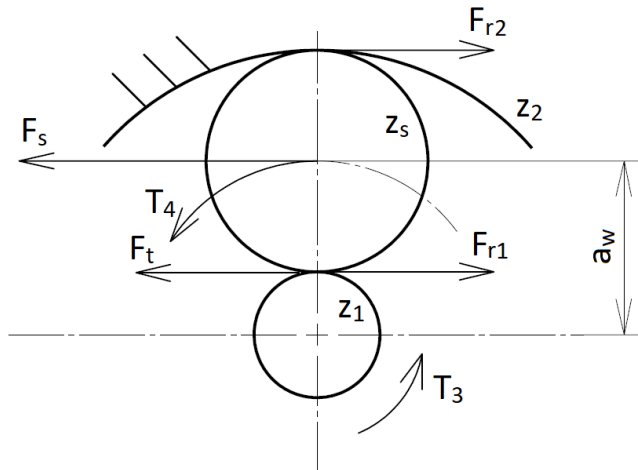
$$T_3 = \frac{P_3}{2 \cdot \pi \cdot n_3} = \frac{98 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1930}{60}} = 485 \text{ Nm} \quad (6.6)$$

Krouticí moment na jeden satelit:

$$T_s = \frac{P_3}{N} = \frac{98}{4} = 24,5 \text{ Nm} \quad (6.7)$$

Krouticí moment na výstupu:

$$T_4 = \frac{P_4}{2 \cdot \pi \cdot n_4} = \frac{P_3 \cdot \eta_{34}}{2 \cdot \pi \cdot n_4} = \frac{98 \cdot 10^3 \cdot 0,95}{2 \cdot \pi \cdot \frac{302}{60}} = 2948 \text{ Nm} \quad (6.8)$$



Obrázek 6.4 Náčrt působení sil a momentů na planetové kolo

Tečná síla působící na satelit:

Předpokládá se rovnoměrné rozložení sil mezi všechny satelity, krouticí moment je tedy dělen počtem satelitů.

$$F_t = \frac{T_3}{N} = \frac{T_3}{\frac{d_{w1}}{2}} = \frac{485 \cdot 10^3}{\frac{58,09}{2}} = 4175 \text{ N} \quad (6.9)$$

Reakční síla působící na satelit a na korunové kolo:

$$F_{r1} = F_{r2} = F_t = 4175 \text{ N} \quad (6.10)$$

Unášivá síla jednoho satelitu:

$$F_s = F_{r1} + F_{r2} = 4175 + 4175 = 8350 \text{ N} \quad (6.11)$$

Celková unášivá síla:

$$F_u = 4F_s = 4 \cdot 8350 = 33400 \text{ N} \quad (6.12)$$

Moment bržděný korunovým kolem:

$$T_2 = F_{r2} \cdot N \cdot \frac{d_{w2}}{2} = 4175 \cdot 4 \cdot \frac{300,86}{2} = 2,512 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 2512 \text{ Nm} \quad (6.13)$$

## 6.5 Výpočet parametrů poháněného bubnu

Ze silových poměrů planetové převodovky (podkapitola 6.2) jsou dopočítány výsledné parametry frézovacího bubnu.

Otáčky bubnu:

$$n_B = n_4 = 302 \text{ min}^{-1} \quad (6.14)$$

Celkový výkon:

$$P_B = 2 \cdot P_4 = 2 \cdot P_3 \cdot \eta_{34} = 2 \cdot 98 \cdot 0,95 = 186 \text{ kW} \quad (6.15)$$

Krouticí moment na bubnu:

$$T_B = 2 \cdot T_4 = 2 \cdot 2948 = 5896 \text{ Nm} \quad (6.16)$$

## 6.6 Pevnostní kontrola ozubení

Pevnostní kontrola je provedena v softwaru CSNw. Kontroluje se bezpečnost soukolí centrálního a planetového kola. Výsledkem je určení bezpečnosti v ohybu a bezpečnosti v dotyku zubu. Materiál pro všechna ozubená kola je ocel 14 220.4 cementována a kalena.

Materiál 14 220.4 (1.7131) je nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel. Jedná se o nejčastěji používanou ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Základní pevnostní parametry oceli 14 220.4 po cementování a kalení jsou vypsány v tabulce 6.3.

Tabulka 6.3 Základní pevnostní parametry oceli 14 220.4 [8]

Název veličiny	Značení	Jednotky	Hodnota
Mez pevnosti	$R_{m14220}$	MPa	785
Mez kluzu	$R_{e14220}$	MPa	588
Pevnost v ohybu	$\sigma_F$	MPa	700
Pevnost v dotyku	$\sigma_H$	MPa	1270

Pevnostní analýze je podrobena soukolí centrálního kola a satelitu. Pro pevnostní analýzu v softwaru je zvolen zjednodušený výpočet. Zatěžující krouticí moment je použit z výpočtu (6.6).

ČSN 01 4686 verze 3.0 © M. Němček 2011

Úplný výpočet Zjednodušený výpočet

Typ ozubení  
 Vnější  
 Vnitřní

Geometrie  
Materiály  
Zatížení  
Rozměry  
KHB  
Součinitele  
Tisk  
Konec  
Výpočet

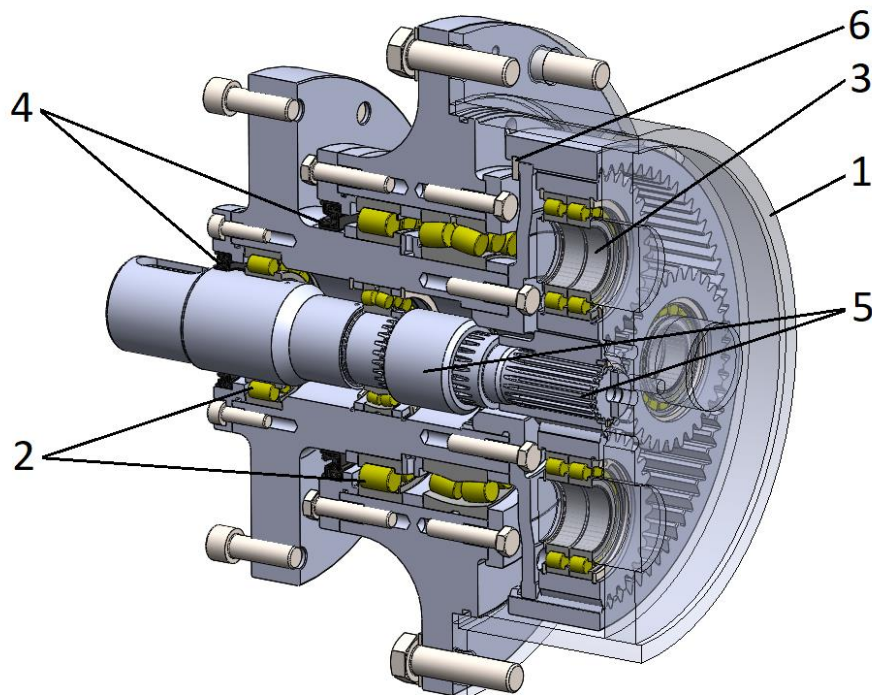
OHYB		DOTYK	
$\sigma_{F1}$ = 81.4	$\sigma_{F2}$ = 100.9	$\sigma_{H1}$ = 679.7	$\sigma_{H2}$ = 679.7
$\sigma_{FP1}$ = 700.0	$\sigma_{FP2}$ = 700.0	$\sigma_{HP1}$ = 1270.0	$\sigma_{HP2}$ = 1270.0
$S_{F1}$ = 8.603	$S_{F2}$ = 6.937	$S_{H1}$ = 1.868	$S_{H2}$ = 1.868
$\sigma_{Fmax1}$ = 162.7	$\sigma_{Fmax2}$ = 201.8	$\sigma_{Hmax1}$ = 961.2	$\sigma_{Hmax2}$ = 961.2
$\sigma_{FPmax1}$ = 1400.0	$\sigma_{FPmax2}$ = 1400.0	$\sigma_{HPmax1}$ = 2600.0	$\sigma_{HPmax2}$ = 2600.0
$K_F$ = 1.314	$K_{Fv}$ = 1.000	$\sigma_{HO1}$ = 593.0	$\sigma_{HO2}$ = 593.0
$K_{F\alpha}$ = 1.200	$K_{F\beta}$ = 1.095	$K_H$ = 1.314	$K_{Hv}$ = 1.000
$Y_\epsilon$ = 0.870	$Y_\beta$ = 1.000	$K_{H\alpha}$ = 1.200	$K_{H\beta}$ = 1.095
$Y_{FS1}$ = 3.329	$Y_{FS2}$ = 3.840	$K_A$ = 1.000	$K_{AS}$ = 2.000
$Y_{Fa1}$ = 1.610	$Y_{Fa2}$ = 2.225	$Z_\epsilon$ = 0.967	$Z_H$ = 2.133
$Y_{Sa1}$ = 2.068	$Y_{Sa2}$ = 1.726	$Z_{R1}$ = 1.000	$Z_{R2}$ = 1.000
		$Z_E$ = 191.646	$Z_\beta$ = 1.000

Obrázek 6.5 Výstupní analýza pevnosti ozubení ze softwaru CSNw pro soukolí centrálního kola a satelitu

Na obrázku 6.5 jsou červeně zvýrazněny výsledné bezpečnosti. Bezpečnost v ohybu dosahuje hodnoty  $S_F = 6,937$  a bezpečnost v dotyku  $S_H = 1,868$ . Obě bezpečnosti jsou dostatečně vysoké, není tedy potřeba použití kvalitnějšího materiálu či změny rozměrů. V příloze C se nachází výkresová dokumentace pro výrobu ozubených kol planetové převodovky.

## 7 Návrh dalších komponentů planetové převodovky

Předmětem diplomové práce je také nahrazení nestandardních komponentů za standardizované. U dalších komponentů je provedena výměna stávajícího za jiný z důvodu nedostupnosti na trhu, nebo z důvodu sjednocení dodavatelů. Nahrazené a upravené komponenty jsou zobrazeny na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1 Nahrazené a upravené komponenty:

- 1) ložiska satelitů 2) ložiska bubnu a vstupní hřídele 3) unašeč korunových kol
- 4) těsnění 5) tvarové spoje hřídelů 6) pojištění unašeče korunového kola

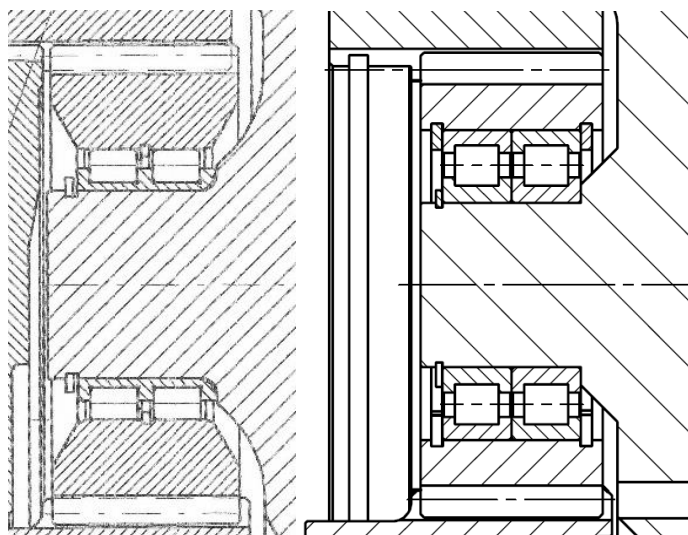
### 7.1 Ložiska

U zařízení pro stabilizaci zeminy jsou kladeny vysoké nároky na ložiska. Zatížení při provozu je velmi vysoké. Při frézování kamenité zeminy či asfaltové vozovky vznikají také rázy, kterým musí ložiska odolávat.

#### 7.1.1 Ložiska satelitů

K uložení satelitů jsou použita nestandardní ložiska. Jedná se o vnitřní kroužek ložiska s klecí a dvěma řadami válečků. Ložiska jsou dodávána spolu se satelity z Itálie od výrobce Stehr. Nový návrh uložení je realizován použitím dvou válečkových ložisek v tandemu SKF NUP 209 ECP. Srovnání původního řešení ložisek a uložení nově navržených ložisek je vyobrazeno na obrázku 7.2.





Obrázek 7.2 Původní řešení ložiska (vlevo), nově navržené uložení ložisek (vpravo)

Trvanlivost ložiska satelitu milionech otáček:

Dynamická únosnost ložiska NUP 209 ECP [21]

$$C_s = 69,5 \text{ kN}$$

Exponent rovnice trvanlivosti pro ložiska s čárovým stykem [1]

$$p = \frac{10}{3}$$

Koeficient dynamické únosnosti dvou ložisek v tandemu podle SKF [21]

$$k_T = 1,63$$

$$L_{S10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{k_T \cdot C_s}{F_s}\right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{1,63 \cdot 69,5 \cdot 10^3}{8350}\right)^{\frac{10}{3}} = 5956 \text{ mil. ot.} \quad (7.1)$$

Otáčky satelitu:

$$n_s = n_2 \cdot \frac{z_2}{z_s} = 302 \cdot \frac{81}{32} = 763 \text{ min}^{-1} \quad (7.2)$$

Trvanlivost ložiska satelitu v hodinách:

$$L_{S10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_s} \cdot L_{S10} = \frac{10^6}{60 \cdot 763} \cdot 5956 = 130 \cdot 10^3 \text{ h} \quad (7.3)$$

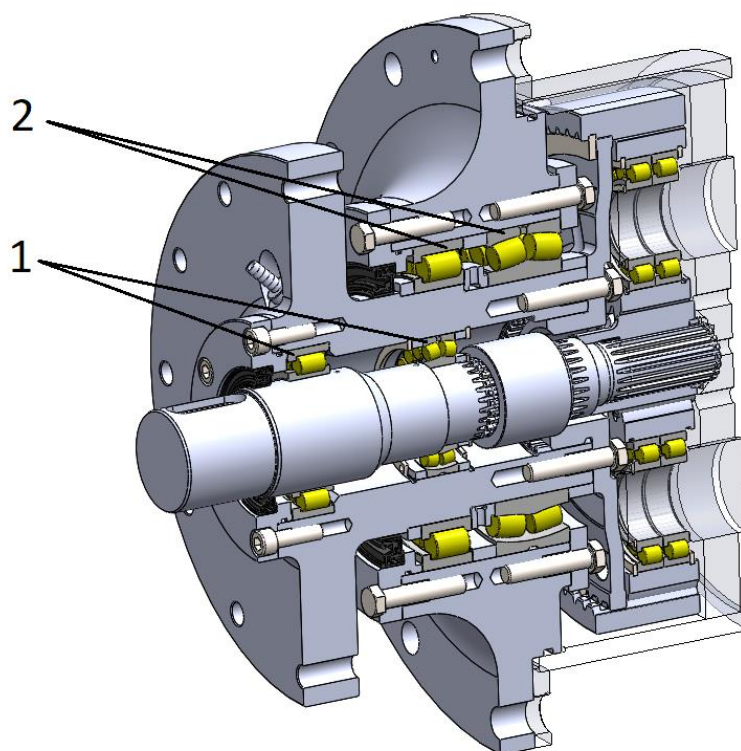
Trvanlivost ložisek satelitu je dostačující.

### 7.1.2 Ložiska bubnu a vstupního hřídele

Pro uložení náboje nesoucího frézovací buben a uložení vstupního hřídele je použita kombinace válečkového ložiska a dvouřadého soudečkového ložiska viz obrázek 7.3. Kombinace zaručuje vysokou radiální únosnost. Axiální síly jsou zachyceny dvouřadým soudečkovým ložiskem.

Ložiska dvouřadá soudečková jsou převzata z původní výkresové dokumentace. Jedná se o ložisko SKF 22210 E na vstupní hřídeli a ložisko SKF 23028 CC/W33 v náboji bubnu.

Ložiska válečková jsou nahrazena ložisky SKF. Původní ložisko vstupní hřídele je nahrazeno ložiskem NCF 3014 CV a ložisko náboje bubnu je nahrazeno ložiskem NCF 2930 CV. Nově navržená ložiska disponují podobnou dynamickou únosností jako původní ložiska výrobce INA. Trvanlivost ložisek je ověřena dlouhodobým provozem zařízení pro stabilizaci zeminy. Trvanlivost ložisek nelze blíže specifikovat, protože není známa síla, která na ložiska působí.

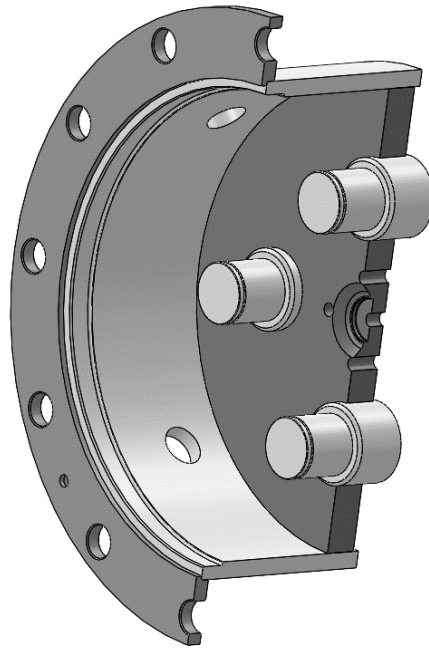


Obrázek 7.3 Ložiska planetové převodovky: 1) Ložiska vstupní hřídele 2) Ložiska náboje

## 7.2 Unašeč satelitních kol

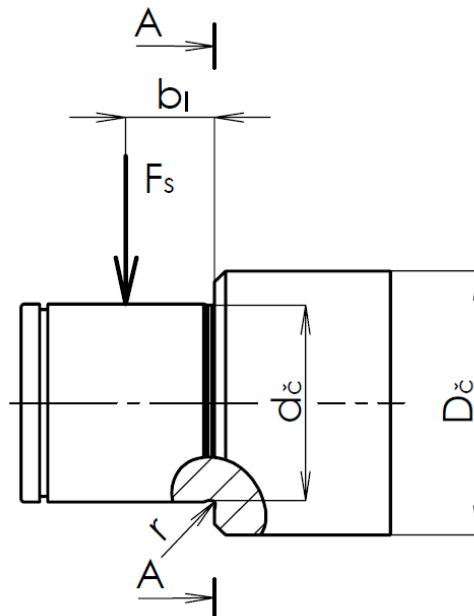
Unašeč satelitních kol je stejně jako další komponenty dodáván výrobcem Stehr. Unašeč je konstruován jako odlitek.

Nově navržený unašeč je konstruován jako svařenec (obrázek 7.4). Technologie svařování a následného obrábění je zvolena z důvodu dostupnějších výrobních technologií oproti odlévání. Svařenec bude vyhotoven z oceli 11 523. U čepů je provedena statická pevnostní kontrola na namáhání v ohybu.



Obrázek 7.4 Model unašeče satelitních kol (svařenec)

Kontrola čepu unašeče na napětí v ohybu:



Obrázek 3.5 Náčrt čepu unašeče

Síla působící na čep

$$F_s = 8350 \text{ N}$$

Průměr zápichu

$$d_{\check{c}} = 44,4 \text{ mm}$$

Velký průměr čepu

$$D_{\check{c}} = 60 \text{ mm}$$

Poloměr zaoblení

$$r_{\check{c}} = 0,8 \text{ mm}$$

Vzdálenost působení síly (šířka ložiska NUP 209 ECP)

$$b_1 = 19 \text{ mm}$$

Dovolené napětí v ohybu [8]

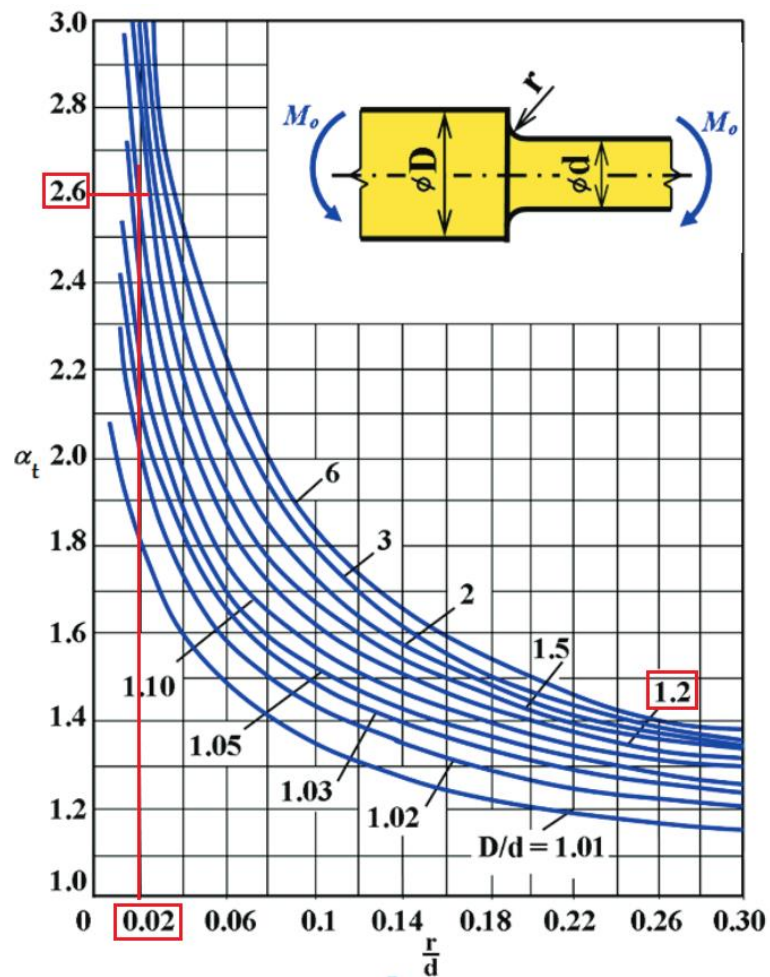
$$\sigma_{D_0} = 120 \text{ MPa}$$

Určení součinitele koncentrace napětí ve vrubu:

$$\frac{D_{\xi}}{d_{\xi}} = \frac{55}{44,4} = 1,24 \quad (7.4)$$

$$\frac{r_{\xi}}{d_{\xi}} = \frac{0,8}{44,4} = 0,018 \quad (7.5)$$

Výsledný součinitel bezpečnosti určen z grafu na obrázku 7.6.



Obrázek 7.6 určení součinitele koncentrace napětí ve vrubu [4]

Součinitel koncentrace napětí  $\alpha_t = 2,6$

Napětí v ohybu [5]:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (7.6)$$

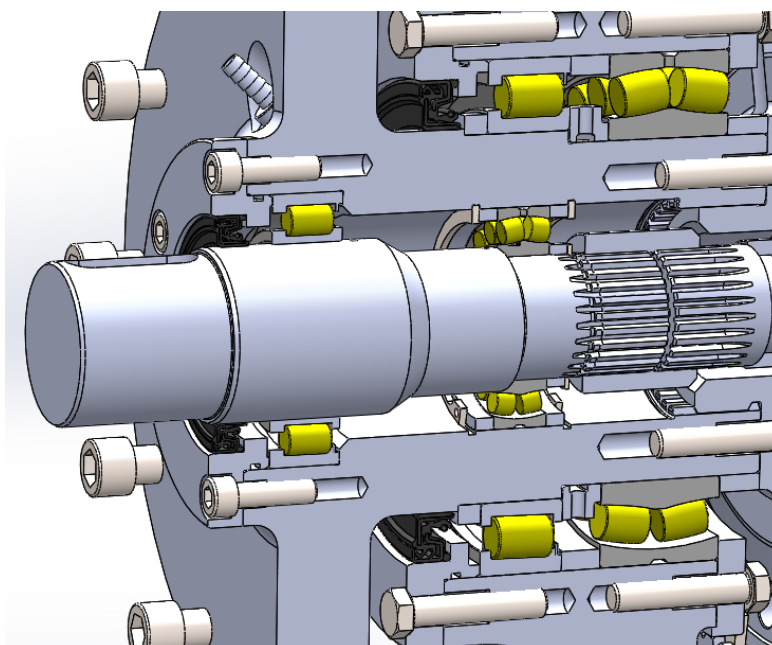
$$\sigma_o = \frac{F_s \cdot b_l}{\frac{\pi \cdot d_{\xi}^3}{32}} \cdot \alpha_t = \frac{8350 \cdot 19}{\frac{\pi \cdot 44,4^3}{32}} \cdot 2,6 = 46 \text{ MPa} < 120 \text{ MPa} \quad (7.7)$$

Čep vyhovuje ohybovému namáhání.

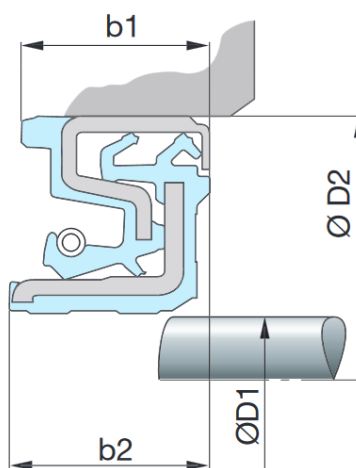
### 7.3 Těsnění

Těsnění rotačních součástí se nachází na vstupní hřídeli a v náboji převodovky viz obrázek 7.7. Zařízení klade vysoké nároky na těsnění z kvůli prašnosti, hlíně a kamení. Z těchto důvodů jsou použita kazetová těsnění s několikakomorovou ochranou. Původní těsnění jsou součástí dodávky dílů planetové převodovky a nejsou blíže specifikována.

Nově jsou použita kazetová těsnění výrobce Eriks. Jedná se o těsnění s označením simmering type 3 NBR. Značení rozměrů těsnění D1xD2xb1, profil těsnění je vyobrazen na obrázku 7.8. Rozměry těsnění jsou 70x95x13 pro vstupní hřídel resp. 155x195x16,5 pro náboj bubnu. Výrobce tyto těsnění doporučuje pro zemědělskou techniku a zemní stroje pracující v náročných podmínkách. Tomuto doporučení odpovídá i zařízení pro stabilizaci zeminy. Ostatní spoje jsou těsněny pomocí O-kroužků [19].



Obrázek 7.7 Kazetová těsnění (znázorněna černě)

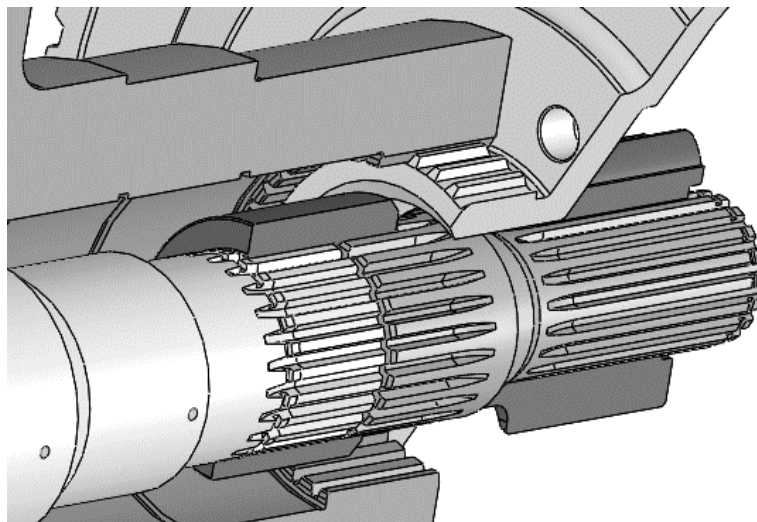


Obrázek 4.8 Profil kazetového těsnění Eriks Simmering NBR [19]

## 7.4 Spoje evolventním drážkováním

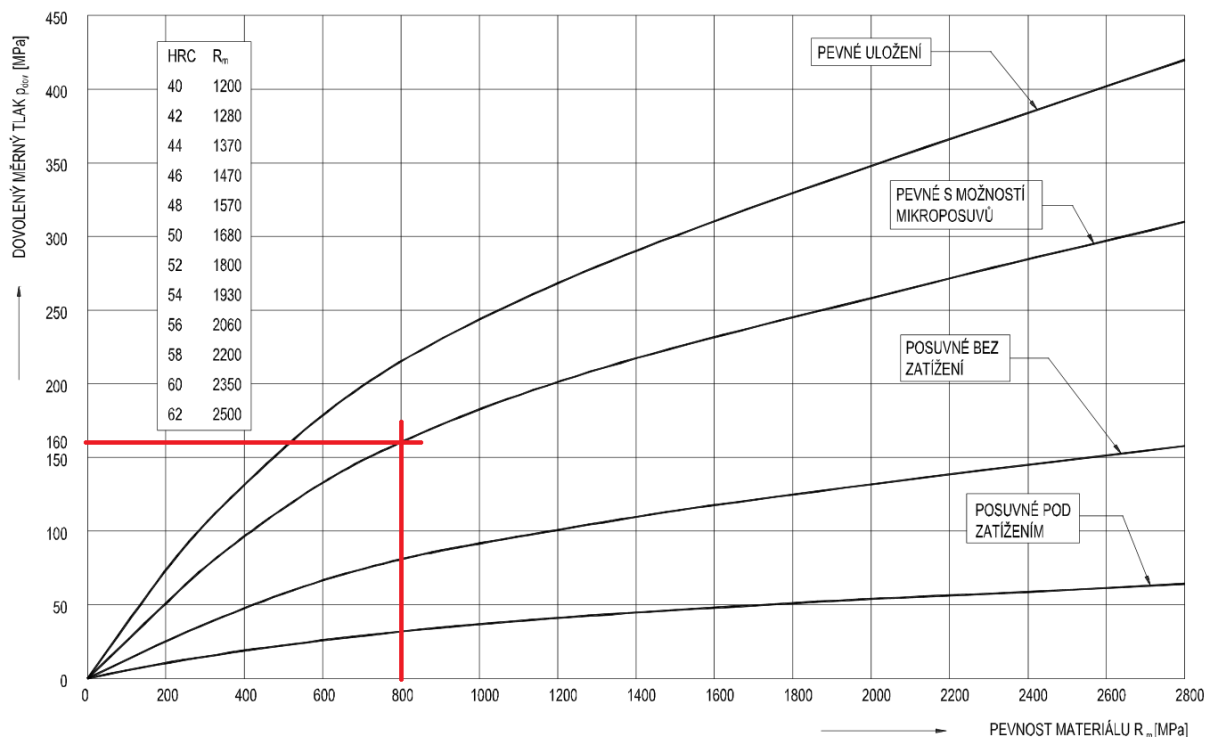
Přenos výkonu mezi hřídelemi je proveden pomocí spojky s evolventním drážkováním (obrázek 7.9). Evolventní drážkování je použito i pro spojení hřídele s centrálním kolem a unašeče korunového kola s nábojem převodovky. Profil evolventního drážkování spoje hřídelů se spojkou je dle ČSN 01 4953. Spojení hřídele s centrálním kolem je provedeno drážkováním dle DIN 5482. Podle DIN 5482 je vyroben i spoj unašeče centrálního kola s nábojem.

Evolventní drážkování s profilem dle ČSN jsou v této diplomové práci přepracována na drážkování s profilem dle DIN 5482. Dále jsou provedeny kontrolní výpočty drážkovaných spojů na maximální dovolený měrný tlak. Kontrolovány jsou spoje s nejmenší stykovou plochou drážkování. Jedná se o spojení hřídele centrálního kola se spojkou a spojení unašeče korunového kola s nábojem převodovky.



Obrázek 7.9 Spoje evolventním drážkováním

Spoje evolventním drážkováním jsou kontrolovány na dovolený měrný tlak určený z grafu na obrázku 7.10. Maximální dovolený měrný tlak  $p_{dov}$  je stanoven z meze pevnosti materiálu  $R_m$ . Hodnota je ustanovena pro materiál s nejnižší pevností. Jedná se o materiál 12 060.9 zušlechtěn na  $R_{m12060} = 800$  MPa [7]. Tento materiál se nachází ve všech spojích evolventním drážkování v planetové převodovce.



Obrázek 7.10 Graf závislosti dovoleného měrného tlaku na pevnosti materiálu [5]

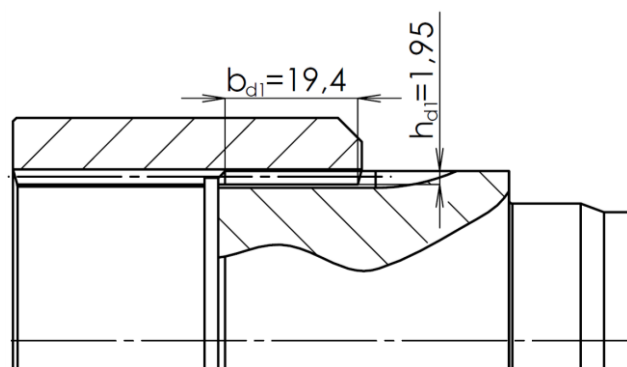
Dovolený měrný tlak vyjádřený z grafu (obrázek 7.10) je 160 MPa.

Obecný vzorec pro kontrolu maximálního dovoleného měrného tlaku drážkování [5]:

$$p_d = \frac{2 \cdot T}{d_d \cdot z_d \cdot \Phi \cdot h_d \cdot b_d} \leq p_{dov} \quad (7.8)$$

**Kontrola evolventního drážkování mezi hřídelem centrálního kola a spojku:**

Evolventní drážkování DIN 5482 – 50x2x30x45x9H 8f



Obrázek 7.11 Rozměry společné stykové plochy ozubení

Přenášený krouticí moment

$$T_3 = 485 \text{ Nm}$$

Střední průměr drážkování

$$d_{d1} = 48 \text{ mm}$$

Počet zubů

$$z_{d1} = 24$$

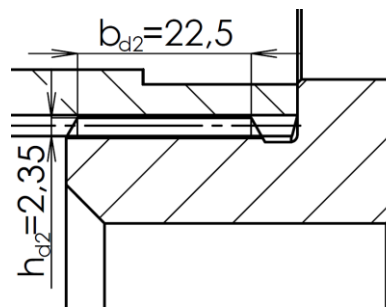
Relativní funkční počet drážek [5]	$\Phi = 0,7$
Výška stykové plochy	$h_{d1} = 1,95 \text{ mm}$
Společná šířka stykové plochy	$b_{d1} = 19,4 \text{ mm}$
Dovolený měrný tlak	$p_{dov} = 160 \text{ MPa}$

$$p_{d1} = \frac{2 \cdot T_3}{d_{d1} \cdot z_{d1} \cdot \Phi \cdot h_{d1} \cdot b_{d1}} = \frac{2 \cdot 485 \cdot 10^3}{48 \cdot 24 \cdot 0,7 \cdot 1,95 \cdot 19,4} = 31,9 \text{ MPa} < p_{dov} \quad (7.9)$$

Evolventní drážkování vyhovuje.

### Kontrola evolventního drážkování mezi unašečem korunového kola a nábojem:

Evolventní drážkování DIN 5482 – 88x2,25x30x82x9H 8f



Obrázek 7.12 Rozměry společné stykové plochy ozubení

Přenášený krouticí moment	$T_2 = 2512 \text{ Nm}$
Střední průměr drážkování	$d_{d2} = 87,75 \text{ mm}$
Počet zubů	$z_{d2} = 39$
Relativní funkční počet drážek	$\Phi = 0,7$
Výška stykové plochy	$h_{d2} = 2,65 \text{ mm}$
Společná šířka stykové plochy	$b_{d2} = 22,5 \text{ mm}$
Dovolený měrný tlak	$p_{dov} = 160 \text{ MPa}$

$$p_{d1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{d2} \cdot z_{d2} \cdot \Phi \cdot h_{d2} \cdot b_{d2}} = \frac{2 \cdot 2512 \cdot 10^3}{87,75 \cdot 39 \cdot 0,7 \cdot 2,35 \cdot 22,5} = 39,7 \text{ MPa} < p_{dov} \quad (7.10)$$

Evolventní drážkování vyhovuje.

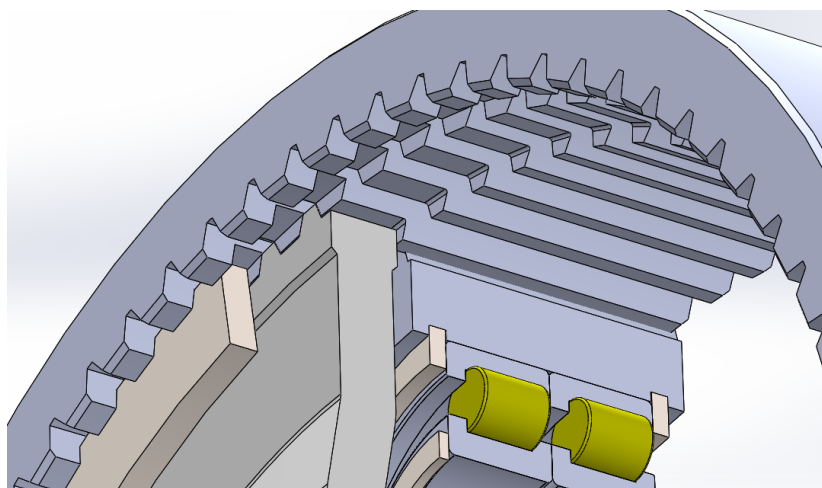


## 7.5 Pojištění korunového kola

Korunové kolo je s tělesem převodovky spojeno pomocí unašeče korunového kola. Přenos krouticího momentu z korunového kola na unašeč je realizován tvarovým stykem. Jedná se o spoj drážkováním, jehož profil odpovídá profilu ozubení korunového kola (obrázek 7.13).

V původní planetové převodovce je drážkovaný spoj pojištěn vnitřním pojistným kroužkem vyrobeným konkrétně pro tuto převodovku. Pojistný kroužek takových rozměrů není na trhu k dostání a byla by nutná jeho výroba.

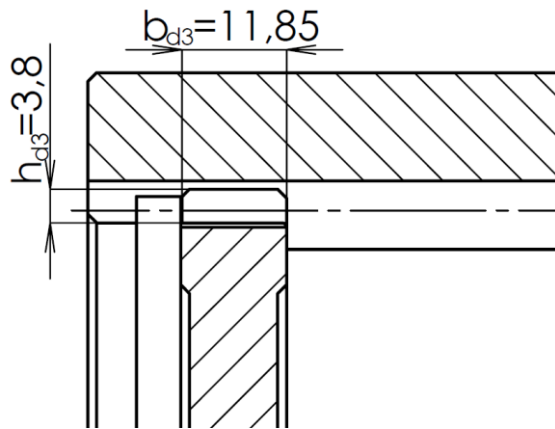
Rozměry unašeče a korunového kola jsou upraveny tak, aby bylo umožněno použít normalizovaný pojistný kroužek DIN 472 – 300 x 5. Tato změna nemá vliv na funkci, dojde pouze k úpravě rozměrů drážky a osazení v korunovém kole. Vzhledem k těmto úpravám je nutné provést kontrolu na maximální dovolený měrný tlak na bocích zubů.



Obrázek 7.13 Pojištění korunového kola

### Kontrola drážkování mezi korunovým kolem a unašečem:

Materiálem s nižší mezí pevnosti je materiál unašeče 12 060.9. Jedná se o stejný materiál jako v předchozích výpočtech, maximální dovolený měrný tlak zůstává stejný viz graf na obrázku 7.10.



Obrázek 7.14 Rozměry společné stykové plochy ozubení

Přenášený krouticí moment	$T_2 = 2512 \text{ Nm}$
Střední průměr drážkování	$d_{d3} = 305,8 \text{ mm}$
Počet zubů	$z_2 = 81$
Relativní funkční počet drážek	$\Phi = 0,7$
Výška stykové plochy	$h_{d3} = 3,8 \text{ mm}$
Společná šířka stykové plochy	$b_{d3} = 11,85 \text{ mm}$
Dovolený měrný tlak	$p_{dov} = 160 \text{ MPa}$
Kontrola na měrný tlak:	

$$p_{d1} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{d3} \cdot z_2 \cdot \Phi \cdot h_{d3} \cdot b_{d3}} = \frac{2 \cdot 2512 \cdot 10^3}{305,8 \cdot 81 \cdot 0,7 \cdot 3,8 \cdot 11,85} = 6,4 \text{ MPa} < p_{dov} \quad (7.11)$$

Měrný tlak na boky zubů vyhovuje.

## 8 Závěr

Všechny cíle diplomové práce stanovené v zadání byly splněny. Byla provedena rešerše v oblasti stabilizace zeminy a v oblasti zařízení, která se pro stabilizaci používají. Byl popsán pohon zařízení a jeho jednotlivé prvky. Dále se diplomová práce zabývala rekonstrukcí planetové převodovky. Provedena byla rekonstrukce ozubených kol převodovky dle původní dokumentace a ověření správnosti údajů v příložené dokumentaci. Ozubení byla podrobena pevnostní analýze a vyhověla všem pevnostním kritériím. Ložiska planetových kol byla nahrazena normalizovanými. Unašeč planetových kol byl přepracován na svařenec, aby jej bylo možno vyrobit dostupnými technologiemi. Byly navrženy těsnění rotačních součástí a ověřena jejich dostupnost na trhu. Závěrem práce byly přepracovány spoje evolventním drážkováním a byla provedena jejich kontrola na dovolený měrný tlak. Vytvořena byla výkresová dokumentace ozubených kol a výkres svařence unašeče korunového kola.

## 9 Seznam použité literatury

- [1] BOLEK, Alfréd a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. 1. svazek. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00046-7.
- [2] BOLEK, Alfréd a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. 2. svazek. 5. přeprac. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00426-8.
- [3] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-95-X.
- [4] FUSEK, Martin a Ludmila ADÁMKOVÁ. *Únava materiálu*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3024-7
- [5] MORAVEC, Vladimír a Jiří HAVLÍK. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0878-1.
- [6] NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1782-8.
- [7] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. 1, Jednotky, matematika, mechanika, technické kreslení, strojní součásti. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [8] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky pro školu a praxi*. 2, Materiály, polotovary, technologie, upínání, měření. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.
- [9] WIRTGEN GmbH. Soil stabilization. [online]. [cit. 2018-04-03] Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/en/technologies/soil-rock-construction/soil-stabilization/>
- [10] WIRTGEN GmbH. Cold Recyclers and Soil Stabilizers. [online]. [cit. 2018-04-03] Dostupné z: [https://media.wirtgen-group.com/media/02\\_wirtgen/media1/media\\_1\\_02\\_cold\\_recyclers\\_and\\_soil\\_stabilizers\\_2/media\\_1\\_02\\_cold\\_recyclers\\_and\\_soil\\_stabilizers\\_200\\_general\\_information/WbrochureCold-Recyclers-Soil-Stabilizers\\_0316\\_EN.pdf](https://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/media1/media_1_02_cold_recyclers_and_soil_stabilizers_2/media_1_02_cold_recyclers_and_soil_stabilizers_200_general_information/WbrochureCold-Recyclers-Soil-Stabilizers_0316_EN.pdf)
- [11] STEHR SPEZIALMASCHINEN. Soil stabilizers. [online]. [cit. 2018-03-10] Dostupné z: [http://www.stehr.com/en/soil\\_stabilization](http://www.stehr.com/en/soil_stabilization)
- [12] WIRTGEN GmbH. Tractor-towed Stabilizers. [online]. [cit. 2018-04-03] Dostupné z: [https://media.wirtgengroup.com/media/02\\_wirtgen/media1/media1\\_productdivisions/media1\\_product\\_divisions\\_soil\\_stabilizers\\_cold\\_recyclers/W\\_brochure\\_WS150-WS220-WS250\\_0117\\_EN.pdf](https://media.wirtgengroup.com/media/02_wirtgen/media1/media1_productdivisions/media1_product_divisions_soil_stabilizers_cold_recyclers/W_brochure_WS150-WS220-WS250_0117_EN.pdf)
- [13] PROZEM.CZ. Kloubové hřídele. [online]. [cit. 2018-03-10] Dostupné z: <https://www.prozem.cz/standardni-provedeni/>
- [14] AGCO GmbH. Fendt vario. [online]. [cit. 2018-02-30] Dostupné z: <https://www.fendt.com/int/11916.html>
- [15] PRŮMYSLOVÁ TECHNIKA. Rozvodovky. [online]. [cit. 2018-03-11] Dostupné z: [http://www.prumyslovatechnika.cz/p%C5%99evodovky\\_Bonfiglioli/rozvodky\\_Bonfiglioli.php](http://www.prumyslovatechnika.cz/p%C5%99evodovky_Bonfiglioli/rozvodky_Bonfiglioli.php)
- [16] FAE GROUP. Soil Stabilizer. [online]. [cit. 2018-03-10] Dostupné z: <https://www.fae-group.com/us/products/construction/tractor-towed-heads-like-soil-stabilizer/soil-stabilizers>

- [17] CLIPART. Internal gear. [online]. [cit. 2018-03-20] Dostupné z: <https://etc.usf.edu/clipart/187000/187075/187075-internal-gear.htm>
- [18] GRABCAD. Planetary Gearbox [online]. [cit. 2018-03-21] Dostupné z: <https://grabcad.com/library/planetary-gearbox--2>
- [19] ERICS SIMMERING. Simmering Cassette Seals. [online]. [cit. 2018-03-20] Dostupné z: <https://eriks.nl/documentatie/dynamische-afdichtingen/simrit-documentatie/simrit-cassette-seals.pdf>
- [20] MILATA TECHNOLOGY. Stavba. [online]. [cit. 2018-02-30] Dostupné z: <http://milatatechnology.cz/sluzby/stavba/>
- [21] SKF.CZ. Ložiska, ložiskové jednotky a tělesa. [online]. [cit. 2018-02-30] Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/index.html>

## 10 Seznam příloh

A – tabulka parametrů soukolí centrálního kola a kola planetového

B – tabulka parametrů soukolí planetového kola a korunového kola


- C – výkresová dokumentace -
- výkres sestavy planetové převodovky KRA0289-000
  - výrobní výkres centrálního kola KRA0289-001
  - výrobní výkres planetového kola KRA0289-002
  - výrobní výkres korunového kola KRA0289-003

Kompletní diplomová práce a výrobní dokumentace v daném rozsahu je v elektronické podobě uložena na CD mediu.

### Poděkování

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing Jiřímu Havlíkovi Ph.D. za odborné připomínky a pomoc při vypracování diplomové práce.

V Ostravě 21. května 2018

  
.....  
podpis studenta