

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**PRIPRAVA TEHNIČNE DOKUMENTACIJE
VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA**

Kandidat: David Krajnc

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Marija Kisin

Mentor v podjetju: dr. Matej Rajh

Lektor: Katja Herič, prof. geo. in slov.

Maribor, 2017

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani David Krajnc, sem avtor diplomskega dela z naslovom Priprava tehnične dokumentacije valjastega zobnika kombajna, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Marije Kisin.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor, skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, november 2017

Podpis študenta:

ZAHVALA

Za nasvete in usmeritve pri izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorici dr. Mariji Kisin ter mentorju v podjetju dr. Mateju Rajhu.

Prav tako se iskreno zahvaljujem očetu za nasvete o zobniških gonilih ter mami in bratu za vso podporo v času študija.

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava tematiko, s katero se srečujem pri svojem delu, in sicer tematiko valjastih zobniških gonil z ravnim ozobljenjem, natančneje poškodovanim valjastim zobnikom, na katerem so med obratovanjem nastale določene poškodbe, kar je vodilo do tega, da se je pojavila potreba po izdelavi novega valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem, za katerega je bilo potrebno izdelati tudi tehnično dokumentacijo.

Na osnovi predelane strokovne literature sem predstavil osnove valjastih zobniških gonil, ki dajo vpogled v tematiko, ki jo obravnava diplomsko delo.

V nadaljevanju je v praktičnem delu diplomskega dela predstavljena analiza poškodovanega valjastega zobnika, kjer so na podlagi pregleda poškodb na poškodovanem vzorcu izpostavljene ugotovitve o morebitnih vzrokih nastanka poškodb, ki so služile kot osnova za izdelavo tehnične dokumentacije.

Pri pripravi tehnične dokumentacije je na začetku predstavljena problematika izbire primerne materiala. Osnovna ideja pri izbiri materiala je bila, da se izbere material, ki bo bolje prenašal obremenitve od obstoječega materiala, iz katerega je izdelan poškodovan zobnik. V okviru tehnične dokumentacije so prikazani tudi rezultati v namenskem programu izvedenega geometrijskega preračuna valjastega zobnika, ki so bili nato zraven določenih toleranc dimenzij, geometrijskih toleranc, izbranega materiala ter primerne toplotne obdelave zanj vključeni v konstrukcijsko risbo valjastega zobnika.

Podatke iz konstrukcijske risbe sem nato uporabil pri tehnološki dokumentaciji, ki vsebuje metode mehanske obdelave valjastega zobnika, ki ga obravnava diplomsko delo, od razreza materiala, struženja, odvalnega rezkanja ozobljenja, okroglega brušenja in brušenja ozobljenja ter toplotno obdelavo in metode končne dimenzijske kontrole.

Končen rezultat diplomskega dela predstavlja strokovno izdelana tehnična dokumentacija, na podlagi katere se je izdelal kvaliteten valjasti zobnik, ki je primeren za vgradnjo kot zamenjava za poškodovan valjast zobnik.

Ključne besede: zunanji valjasti zobnik z ravnim ozobljenjem, tehnična dokumentacija, mehanska obdelava, toplotna obdelava, končna kontrola izdelka

ABSTRACT

PREPARATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION FOR CYLINDRICAL SPUR GEAR OF COMBINE HARVESTER

The thesis discusses the topic of cylindrical spur gears, which are part of my field of work, specifically a damaged cylindrical spur gear. Damage appeared on the cylindrical spur gear during operation so that it had to be replaced with a new cylindrical spur gear, and technical documentation for the new cylindrical spur gear had to be produced.

In the theoretical section of the thesis, based on a review of professional literature, I present the basic principles regarding cylindrical spur gears, which provides an insight into the main topic of the thesis.

The practical section of the thesis, after an analysis of the damaged cylindrical spur gear, presents findings concerning possible causes for the damage. The identified causes served as a basis for producing the technical documentation.

The section on the preparation of the technical documentation presents problems related to the choice of a suitable material for the cylindrical spur gear. The basic idea with regards to the choice of a suitable material was to select a material of a greater quality and with better features than the material of the damaged cylindrical spur gear. The section on the preparation of the technical documentation also presents results of geometry calculations for the cylindrical spur gear, which are included in the workshop drawing along with chosen dimensional tolerances, geometric tolerances and a material with a heat treatment that is suitable for the cylindrical spur gear.

Data from the workshop drawing were used in the preparation of the technological documentation, which contains machining methods for the cylindrical spur gear discussed in the thesis. Methods of machining collected in the technological documentation include the cutting of the chosen material, turning, cylindrical spur gear hobbing, cylindrical grinding and gear teeth grinding. Other methods such as the heat treatment and quality control of the cylindrical spur gear are also presented in the technological documentation.

The final result of the thesis is a professionally designed technical documentation that was the basis for creating a cylindrical spur gear suitable for installation as a replacement of the damaged cylindrical spur gear.

Keywords: cylindrical spur gear, technical documentation, machining methods, heat treatment, quality control

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	10
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA.....	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	10
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE.....	10
2	OSNOVE VALJASTIH ZOBNIŠKIH GONIL	12
2.1	TEORETIČNE OSNOVE VALJASTIH ZOBNIŠKIH GONIL	12
2.2	PRIMERNI MATERIALI ZA IZDELAVO VALJASTIH ZOBNIŠKIH GONIL	17
2.3	DELUJOČE SILE NA VALJASTI ZOBNIŠKI DVOJICI	18
2.4	PRIPRAVA KONSTRUKCIJSKE RISBE VALJASTEGA ZOBNIKA	18
3	ANALIZA POŠKODOVANEGA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBALNA.....	20
4	TEHNIČNA DOKUMENTACIJA VALJASTEGA ZOBNIKA.....	23
4.1	IZBIRA PRIMERNEGA MATERIALA.....	23
4.2	PRERAČUN GEOMETRIJE VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBALNA PO STANDARDU DIN 3960	25
4.3	TOLERANCE	26
4.3.1	<i>Dimenzijske tolerance valjastega zobnika</i>	27
4.3.2	<i>Geometrijske tolerance krožnega teka valjastega zobnika</i>	29
4.4	OZNAČITEV HRPAVOSTI POVRŠINE.....	29
4.5	KONSTRUKCIJSKA RISBA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBALNA.....	30
5	TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBALNA	32
5.1	RAZREZ MATERIALA	32
5.2	POSTOPEK STRUŽENJA	32
5.2.1	<i>Struženje prve polovice oz. desne strani valjastega zobnika</i>	35
5.2.2	<i>Struženje druge polovice oz. leve strani valjastega zobnika</i>	36
5.3	ODVALNO REZKANJE	37
5.3.1	<i>Izbira orodja za odvalno rezkanje valjastega zobnika kombajna</i>	38

5.3.2	<i>Preračun režimov in obdelovalnega časa odvalnega rezkanja valjastega zobnika</i>	39
5.3.3	<i>Odvalno rezkanje ozobljenja valjastega zobnika</i>	40
5.4	TOPLOTNA OBDELAVA ZOBNIKA	42
5.5	OKROGLINSKO BRUŠENJE SEDEŽEV ZA LEŽAJE	44
5.6	BRUŠENJE OZOBLJENJA VALJASTEGA ZOBNIKA	44
5.7	KONTROLNO MERILNE METODE VALJASTEGA ZOBNIKA.....	45
6	SKLEP.....	48
7	VIRI, LITERATURA	50

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	VALJASTI ZOBNIK Z RAVNIM OZOBLJENJEM.....	12
SLIKA 2:	VALJASTI ZOBNIK S POŠEVNIM OZOBLJENJEM.....	12
SLIKA 3:	NOTRANJA VALJASTA ZOBNIŠKA DVOJICA.....	13
SLIKA 4:	VALJASTA ZOBNIŠKA DVOJICA Z DVOJNIM POŠEVNIM OZOBLJENJEM	13
SLIKA 5:	VALJASTA ZOBNIŠKA DVOJICA S PUŠČIČASTIM OZOBLJENJEM	13
SLIKA 6:	VALJASTI ZOBNIK Z ZOBNICO	13
SLIKA 7:	OSNOVNI PARAMETRI ZUNANJEGA VALJASTEGA ZOBNIKA Z RAVNIM OZOBLJENJEM	14
SLIKA 8:	VREDNOSTI STANDARDNIH MODULOV VALJASTIH ZOBNIKOV PO SIST ISO 54.....	16
SLIKA 9:	POŠKODOVANI VALJASTI ZOBNIK KOMBAJNA.....	20
SLIKA 10:	ZLOM ZOBNA IN PLASTIČNA DEFORMACIJA NA POŠKODOVANEM VALJASTEM ZOBNIKU.....	21
SLIKA 11:	JAMIČENJE NA POŠKODOVANEM VALJASTEM ZOBNIKU	22
SLIKA 12:	TOLERIRANE DIMENZIJSKE MERE VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA.....	27
SLIKA 13:	DIMENZIJSKE TOLERANCE VALJASTEGA ZOBNIKA	29
SLIKA 14:	TOLERANCA KROŽNEGA TEKA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA, IZDELANEGA V 7. KVALITETNEM RAZREDU PO DIN 3967.....	29
SLIKA 15:	SIMBOL ZA OZNAČITEV HRPAVOSTI POVRŠINE S PARAMETROM HRPAVOSTI RA 0,8 μm (ISO 1302 -1992).....	30
SLIKA 16:	KONSTRUKCIJSKA RISBA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA	31
SLIKA 17:	STRUŽENJE PRVE STRANI VALJASTEGA ZOBNIKA	35
SLIKA 18:	STRUŽENJE DRUGE STRANI VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA	36
SLIKA 19:	STROJ TOS FO-6 ZA IZDELAVO ZUNANJEGA OZOBLJENJA VALJASTIH ZOBNIKOV PO POSTOPKU ODVALNEGA REZKANJA.....	37

SLIKA 20: PRIKAZ ODVALNEGA REZKANJA ZUNANJEGA OZOBLENJA VALJASTEGA ZOBNIKA NA STROJU TOS FO-6	37
SLIKA 21: ODVALNI REZKAR, KI SEM GA IZBRAL ZA IZDELAVO VALJASTEGA ZOBNIKA	39
SLIKA 22: VALJAST ZOBNIK PO KONČANI MEHANSKI OBDELAVI OZOBLENJA	41
SLIKA 23: DELOVNA RISBA ZA BRUŠENJE LEŽAJNIH POVRŠIN.....	44
SLIKA 24: VALJASTI ZOBNIK PO MEHANSKI OBDELAVI OKROGLINSKEGA BRUŠENJA SEDEŽEV ZA LEŽAJE	44
SLIKA 25: VALJASTI ZOBNIK PO MEHANSKI OBDELAVI BRUŠENJA OZOBLENJA NA STROJU REISHAUER	45

KAZALO TABEL

TABELA 1: NAJPOGOSTEJŠE POŠKODBE VALJASTIH ZOBNIKOV.....	20
TABELA 2: OSNOVNI PODATKI VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA	25
TABELA 3: REZULTATI GEOMETRIJSKEGA PRERAČUNA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA	26
TABELA 4: TOLERANCA LEŽAJNIH MEST.....	28
TABELA 5: DIMENZIJSKA TOLERANCA SEDEŽA, KAMOR BO NAMEŠČEN TRETJI ZOBNIK, TER ZUNANJEGA PREMERA OZOBLENJA ZOBNIKA	28
TABELA 6: SEZNAM USTREZNEGA ORODJA ZA STRUŽENJE VALJASTEGA ZOBNIKA.....	34
TABELA 7: TEHNIČNI PODATKI STROJA ZA ODVALNO REZKANJE TOS FO-6	38
TABELA 8: PODATKI ODVALNEGA REZKARJA, UPORABLJENEGA ZA IZDELAVO VALJASTEGA ZOBNIKA	39
TABELA 9: PODATKI ZA PRERAČUN REŽIMOV IN OBDELOVALNEGA ČASA	40
TABELA 10: REZULTAT PRERAČUNA REŽIMOV IN OBDELOVALNEGA ČASA.....	40
TABELA 11: MENJALNI ZOBNIKI DELILNIKA ZA IZDELAVO VALJASTIH ZOBNIKOV, KI IMAJO 13 ZOB ...	41
TABELA 12: DELOVNI POTEK TOPLOTNE OBDELAVE VALJASTEGA ZOBNIKA.....	43
TABELA 13: OBDELOVALNI ČAS BRUŠENJA OZOBLENJA VALJASTEGA ZOBNIKA NA STROJU REISHAUER	45
TABELA 14: KONTROLNO MERILNE METODE VALJASTEGA ZOBNIKA	47

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Problem, s katerim se bom ukvarjal v diplomskem delu, predstavlja poškodovan valjasti zobnik, na katerem so med obratovanjem nastale poškodbe, zaradi katerih se je pojavila potreba po zamenjavi zobnika. Tehnološki proces izdelave novega valjastega zobnika sestavlja več različnih delovnih operacij, ki pa so med seboj izredno povezane, saj le pravilno izvedena prejšnja delovna operacija lahko vodi v pravilno izvedbo naslednje delovne operacije, vse do končnega izdelka. Zaradi tega bom diplomsko delo poleg prvega dela, kjer bom na osnovi pregledane strokovne literature predstavil teoretične osnove valjastih zobnikov, ki so potrebne za razumevanje diplomskega dela, v praktičnem delu diplomsko delo razdelil na tri glavne dele. Prvi del bo analiza poškodovanega valjastega zobnika, kjer bom poiskal vzroke za nastanek poškodb na samem valjastem zobniku. Drugi del bo vseboval pripravo tehnične dokumentacije, ki bo vsebovala izbiro primerne materiala ter opravljen geometrijski preračun, katerega podatke bom vključil v delavniško risbo valjastega zobnika. Le-ta bo služila kot osnova za tretji del praktičnega dela diplomskega dela, ki bo v tehnološki dokumentaciji vseboval mehansko obdelavo valjastega zobnika, vključno s toplotno obdelavo ter kontrolno merilnimi metodami.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je pripraviti primerno tehnično in tehnološko dokumentacijo valjastega zobnika ter ugotoviti ukrepe za preprečevanje poškodb valjastega zobnika s ciljem, da se zagotovi ustrezna dokumentacija, ki bo vsebovala potrebne podatke za izdelavo novega zobnika.

1.3 Predpostavke in omejitve

Za obravnavo zastavljene problematike je ključnega pomena poznavanje tematike valjastih zobnikov, zato bom pri izdelavi diplomskega dela uporabil do sedaj pridobljene delovne izkušnje na področju zobniških gonil. Zaradi obsežnosti tematike bodo nekatera področja omejeno predstavljena, s tistimi izpostavljenimi stališči, ki so potrebna za razumevanje problematike.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri nastajanju diplomskega dela sem uporabil naslednje raziskovalne metode:

- metodo pridobivanja potrebnih podatkov iz strokovnih virov,

- metodo združevanja stališč in sklepov drugih avtorjev ter lastnih spoznanj,
- metodo zbiranja podatkov iz internih virov.

2 OSNOVE VALJASTIH ZOBNIŠKIH GONIL

2.1 Teoretične osnove valjastih zobniških gonil

S terminom gonilo imenujemo skupek strojnih elementov, katerih naloga je prilagajanje vrtilne hitrosti pogonskega stroja vrtilni hitrosti delovnega stroja. Zobniki so osrednji element zobniškega gonila, z nalogo prenašati vrtilno gibanje in vrtilne momente z ene gredi na drugo, z medsebojnim ubiranjem zob. Dobre lastnosti zobniških gonil so med drugim široko območje prestavnih razmerij, zanesljivo obratovanje, dober izkoristek, enostavnost za vzdrževanje ter dolga življenjska doba. Poznamo več različnih izvedb zobniških gonil za različne namene in pozicije osi. V primerih, ko sta si osi zobniške dvojice vzporedni, se za prenos vrtilnega gibanja in vrtilnih momentov uporabljajo zobniška gonila, ki nosijo poimenovanje valjasta zobniška gonila. (Podlesnik, 1981a)

V praksi se večinoma pojavljajo naslednje izvedbe valjastih zobniških dvojic :

- zunanje valjaste zobniške dvojice z ravnim in poševnim ozobljenjem,
- notranje valjaste zobniške dvojice z ravnim in poševnim ozobljenjem,
- valjaste zobniške dvojice z dvojnim poševnim ozobljenjem,
- valjaste zobniške dvojice s puščičastim ozobljenjem,
- valjasti zobnik z zobnico. (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)



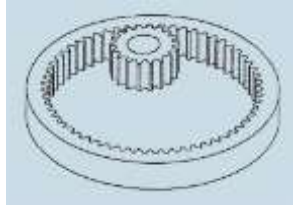
Slika 1: Valjasti zobnik z ravnim ozobljenjem

Vir: (<http://si.maedler.de/product/1643/1618/1034/1035/stirnzahnraeder-aus-edelstahl-gerade-verzahnt-modul-15>, 2017)



Slika 2: Valjasti zobnik s poševnim ozobljenjem

Vir: (<http://si.maedler.de/product/1643/1618/2133/stirnzahnraeder-stahl-schraeg-verzahnt-rechts-und-links-modul-1>, 2017)



Slika 3: Notranja valjasta zobniška dvojica

Vir: (<http://www.arrowgear.com/products/internal-spur-gear.jpg>, 2017)



Slika 4: Valjasta zobniška dvojica z dvojnim poševnim ozobljenjem

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)



Slika 5: Valjasta zobniška dvojica s puščičastim ozobljenjem

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

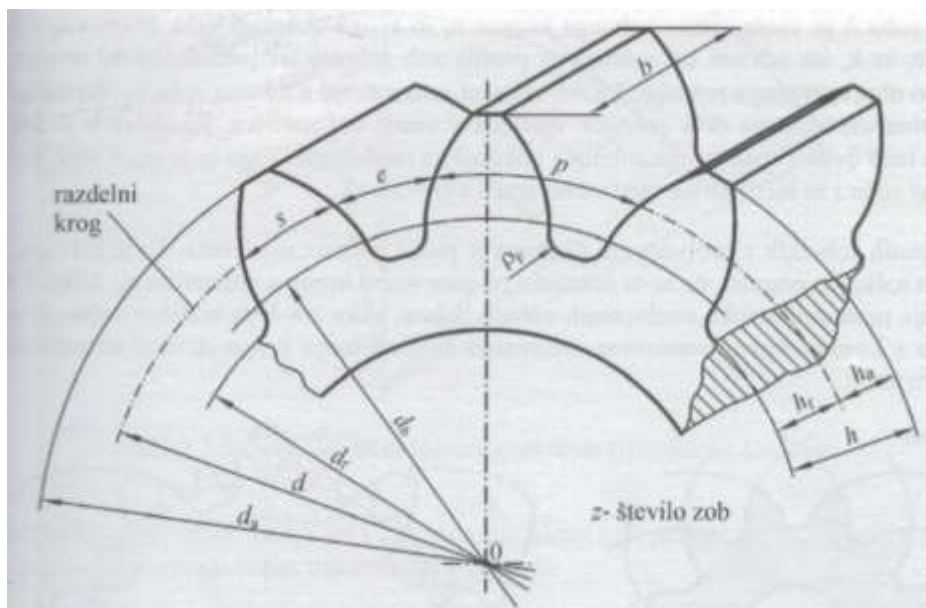


Slika 6: Valjasti zobnik z zobnico

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

V tem diplomskem delu bom obravnaval zunanji valjasti zobnik z ravnim ozobljenjem.

Osnovni parametri zunanjega valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem so prikazani na sliki 7.



Slika 7: Osnovni parametri zunanjega valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Pomen oznak:

d_a – premer temenskega kroga,

d – premer razdelnega kroga,

d_f – premer vznožnega kroga,

d_b – premer osnovnega kroga,

h_f – višina zobnega korena,

h_a – višina zobnega vrha,

h – višina zoba,

s – debelina zoba,

e – širina medzobne vrzeli,

p – razdelek,

b – širina zoba,

ρ_r – zaokroževanje v korenu zoba. Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Premier temenskega kroga lahko izračunamo po spodnji enačbi:

$$d_a = d + 2 \cdot h_a \quad (1.1)$$

kjer so:

d_a – premer temenskega kroga [mm],

d – premer razdelnega kroga [mm],

h_a – višina zobnega vrha [mm].

Premier razdelnega kroga lahko izračunamo po spodnji enačbi:

$$d = m \cdot z \quad (1.2)$$

kjer so:

d – premer razdelnega kroga [mm],

m – modul [mm],

z – število zob.

Premier vznožnega kroga lahko izračunamo po spodnji enačbi:

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

kjer so:

d_f – premer vznožnega kroga [mm],

d – premer razdelnega kroga [mm],

h_f – višina zobnega korena [mm].

Višino zoba lahko izračunamo po spodnji enačbi:

$$h = h_f + h_a \quad (1.4)$$

kjer so:

h – višina zoba [mm],

h_f – višina zobnega korena [mm],

h_a – višina zobnega vrha [mm].

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Višini zobnega korena in zobnega vrha, katerih vsota predstavlja višino zoba, sta odvisni od izdelovalnega orodja in osnovnega profila zob zobnice, prav tako pa je od njiju odvisno zaokroževanje v korenu zoba. (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Razdelek p lahko izračunamo po spodnji enačbi:

$$p = s + e \quad (1.5)$$

kjer so:

p – razdelek [mm],

s – debelina zoba [mm],

e – širina medzobne vrzeli [mm].

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Osrednji parameter zobniških gonil nosi poimenovanje modul in oznako **m**. Na ta parameter se navezujejo orodja za izdelavo zobnikov. Njegove vrednosti so standardizirane po standardu SIST ISO 54, z namenom zmanjšanja števila potrebnih orodij. (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

m [mm] ^{1), 2)}									
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	1,125	2	2,25	4	4,5	8	7	16	14
1,25		2,5		5		9		18	
	1,375		2,75		5,5	10		20	
1,5		3		6		11		22	
	1,75		3,5		6,5 ³⁾	12		25	
								50	45

Slika 8: Vrednosti standardnih modulov valjastih zobnikov po SIST ISO 54

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

V državah s colskim merskim sistemom uporabljajo za preračunavanje zobnikov in označevanje izdelovalnih orodij parameter Diametral Pitch z oznako DP, ki je število zob na eno colo dolžine premera razdelnega kroga, ter Circular Pitch z oznako CP, ki je razdelek na razdelnem krogu. (Podlesnik, 1981a)

Valjasti zobniki imajo najpogosteje evolventno ozobljenje, pri katerem ima bok zoba obliko evolvente. Evolventa je poimenovanje za krivuljo, ki jo opiše točka na premici v primeru, da jo kotalimo po osnovnem krogu s premerom d_b . (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

2.2 Primerni materiali za izdelavo valjastih zobniških gonil

Material za valjaste zobnike se izbere glede na želene lastnosti in predvidene pogoje obratovanja zobniškega gonila. V glavnem se v praksi, glede na predvidene obremenitve, uporabljajo naslednji materiali:

- manjše obremenitve: siva litina;
 - manjše in srednje obremenitve: navadna jekla in jeklene litine;
 - večje obremenitve: jekla za poboljšanje, jekla za nitriranje, jekla za cementiranje.
- (Podlesnik, 1981b)

Siva litina (oznaka po standardu DIN):

- GG-20,
- GG-25,
- GG-35.

Navadna jekla (oznaka po standardu DIN):

- St50-2,
- St60-2,
- St70-2.

Jekla za poboljšanje (oznaka po standardu DIN):

- C45,
- 34CrMo4,
- 42CrMo4,
- 34CrNiMo6.

Jekla za nitriranje (oznaka po standardu DIN):

- 31CrMoV9,
- 15CrMoV5-9,

Jekla za cementiranje (oznaka po standardu DIN):

- 16MnCr5,
- 20MnCr5,
- 15CrNi6,
- 17CrNiMo6. Vir:(Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

2.3 Delujoče sile na valjasti zobniški dvojici

V primeru določitve sil, ki delujejo na valjasto zobniško dvojico, se kot osnova vzame normalna sila na zobni bok F_{bn} , ki jo prostorsko razstavimo na:

- obodno silo:

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_1}{d_{w1}} = -F_{t2} \quad (1.6)$$

kjer so:

F_{t1} – obodna sila na pastorku z_1 [N],

F_{t2} – obodna sila na zobniku z_2 [N],

T_1 – vrtilni moment na gredi pastorka z_1 [Nm],

d_{w1} – premer kinematičnega kroga pastorka [mm];

- radialno silo:

$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \tan \alpha_{wt} = -F_{r2} \quad (1.7)$$

- aksialno silo:

$$F_{a1} = F_{t1} \cdot \tan \beta_w = -F_{a2} \quad (1.8)$$

kjer so:

F_{r1} – radialna sila na pastorku z_1 [N],

F_{r2} – radialna sila na zobniku z_2 [N],

F_{a1} – aksialna sila na pastorku z_1 [N],

F_{a2} – aksialna sila na zobniku z_2 [N],

α_{wt} – vpadni kot radialnega profila na kinematičnem krogu [°],

β_w – kot poševnosti zob na kinematičnem krogu [°].

Vir: (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

2.4 Priprava konstrukcijske risbe valjastega zobnika

Potrebne dimenzije oziroma mere valjastega zobnika se kotirajo neposredno na konstrukcijski risbi, kjer je kotirana oblika valjastega zobnika. Poleg kotiranih mer pa je potrebno v

konstrukcijsko risbo valjastega zobnika vključiti tudi potrebne podatke o ozobljenju. Te podatke vključimo v preglednico, ki jo vključimo v konstrukcijsko risbo. (Glodež, 2010)

Smernice o tem, katere veličine je potrebno vključiti v konstrukcijsko risbo v obliki simbolov in kotiranih mer, navaja standard SIST ISO 1340:

- premer temenskega kroga skupaj s toleranco,
- širino zoba,
- premer izvrtine skupaj s toleranco,
- premer tečajev gredi skupaj s toleranco,
- referenčni element A,
- geometrične tolerance krožnega tega in opletanja valjastega zobnika,
- oznako kakovosti površine ozobljenja in površine zobnika. (Glodež, 2010)

Preglednica podatkov o ozobljenju pa vsebuje naslednje podatke:

- modul,
- število zob,
- oznako profila osnovne zobnice,
- kot poševnosti ozobljenja,
- smer poševnosti ozobljenja,
- medosno razdaljo skupaj s toleranco,
- mero preko zob, s podatkom o številu zob, preko katerih merimo navedeno mero,
- koeficient profilnega premika,
- premer razdelnega kroga,
- kakovostni razred za izdelavo ozobljenja,
- število zob zobniškega para.

Vir:(Glodež, 2010)

3 ANALIZA POŠKODOVANEGA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAINA

Analizo poškodb valjastega zobnika sem opravil z namenom ugotovitve vzroka nastanka poškodb ter zaradi uvedbe določenih sprememb, ki bi zmanjšale možnost nastanka poškodb pri obratovanju valjastega zobnika v prihodnje. Valjast zobnik lahko vrtilno gibanje prenaša ustrezno le, če površina zobnih bokov ne kaže znakov večjih poškodb. Poškodovan valjast zobnik, ki ga prikazuje slika 9, ima vidno poškodovano ozobljenje, kar onemogoča njegovo nadaljnje obratovanje kot sestavni del zobniškega gonila, vgrajenega v delovni stroj kombajn, zato ga je v tem primeru potrebno zamenjati. Da bo lahko nov valjast zobnik nemoteno obratoval za čas predvidene življenjske dobe, pa je potrebno ugotoviti razloge, zakaj so nastale poškodbe na prejšnjem zobniku (slika 9). Za nastanek poškodb in nepravilnosti na samem valjastem zobniku je lahko več vzrokov. Tiste poškodbe, ki se v praksi najpogosteje pojavljajo, so prikazane v tabeli 1.



Slika 9: Poškodovani valjasti zobnik kombajna

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Tabela 1: Najpogostejše poškodbe valjastih zobnikov

Utrujenostni lom zoba	Zlom zoba zaradi nenadne preobremenitve zobnih bokov
Obraba na površini zobnih bokov	Jamičenje na površini zobnih bokov
Luščenje na površini zobnih bokov	Razpoke na površini zobnih bokov
Plastična deformacija zaradi preobremenitve	Razjedanje

Vir: (Podlesnik, 1981b)

Zlom zoba je vrsta poškodbe, ki v večini primerov prepreči nadaljnje obratovanje zobniškega gonila, saj pride pri nastanku same poškodbe do zloma enega ali več zob. (Flašker, Glodež, & Ren, 2010)

Plastična deformacija se kot poškodba v večini primerov pojavlja na površini zobnih bokov kot udrтина, ki nastane zaradi nenadnih preobremenitev, ki jih površina zobnih bokov ne prenese, kar privede do nastanka udrтine. Takšne vrste deformacij se pri kaljenih zobnikih pojavljajo le redko. (Podlesnik, 1981b)

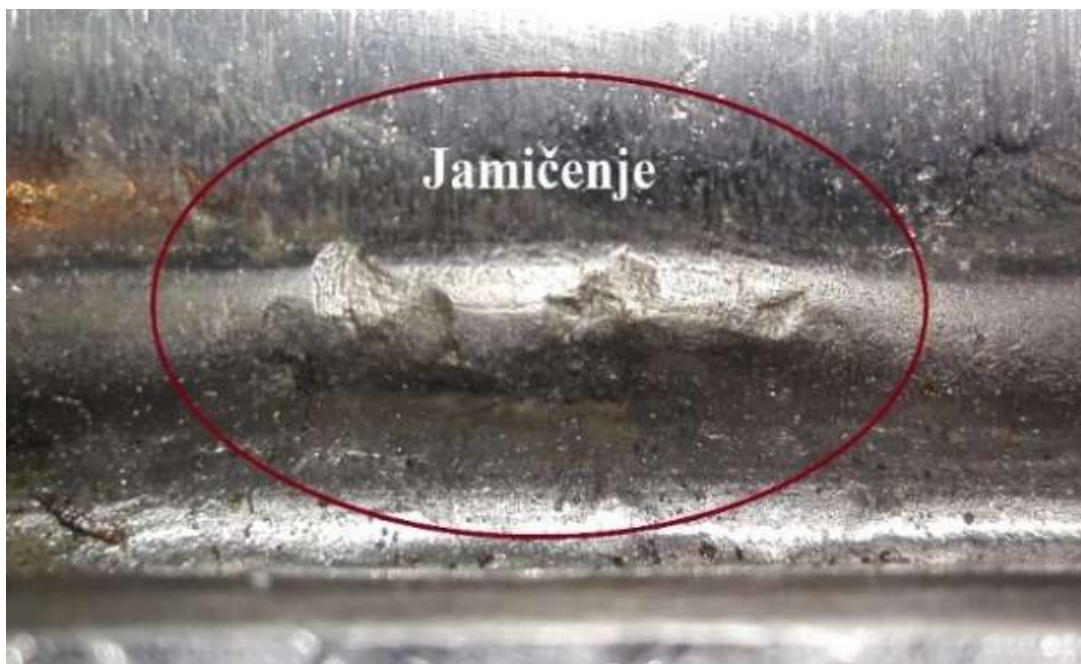
Jamičenje spada pod površinske poškodbe zobnih bokov in je v večini primerov posledica prekoračitve dopustnih vrednosti Hertzovega tlaka, kar vodi v nastajanje majhnih jamic na površini zobnih bokov. Jamičenje se lahko kaže kot začetno jamičenje, pri katerem zobniško gonilo še lahko obratuje, ali progresivno jamičenje, ki lahko vodi do večje poškodbe zobnih bokov. (Podlesnik, 1981b)

Na obravnavanem poškodovanem valjastem zobniku, prikazanem na sliki 9, je prisotnih več, med seboj različnih, poškodb. Navezujoč se na tabelo 1 ocenjujem, da se te poškodbe kažejo kot zlom zoba in plastična deformacija, ki ju prikazuje slika 10, ter kot jamičenje, ki je nastalo na boku zoba in ga prikazuje slika 11.



Slika 10: Zlom zoba in plastična deformacija na poškodovanem valjastem zobniku

Vir: (Lastna raziskava, 2017)



Slika 11: Jamičenje na poškodovanem valjastem zobniku

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Po videzu poškodb in kombinaciji poškodbe zloma zoba ter plastične deformacije zobnega boka sklepam, da je do zloma zoba prišlo zaradi nenadne velike obremenitve, ki je nastala na površini zobnih bokov. Večja obremenitev površine zobnika od dopustne je lahko bila posledica tega, da se je med obratovanjem med zobniško gonilo zataknil odlomljen trd predmet, ki je ob zatiku na eni strani povzročil plastično deformacijo zobnega boka, na drugi pa zlom zoba.

Vzrok za jamičenje, ki ga prikazuje slika 11 in se kaže kot progresivno oz. napredujoče jamičenje, je najverjetneje v tem, da je poškodba v zdajšnje stanje napredovala po daljšem obratovalnem obdobju iz začetnega jamičenja, ki se je kazalo v obliki majhnih jamic.

Možnost nastanka poškodb bi se lahko zmanjšala z izbiro kvalitetnejšega materiala od tistega, iz katerega je izdelan obravnavan poškodovan zobnik, tako da bi se izbral material z večjo natezno trdnostjo ter dodanimi legirnimi elementi, ki ugodno vplivajo na trdnostne lastnosti materiala. Z izbiro kvalitetnejšega materiala se lahko valjastemu zobniku podaljša življenjska doba obratovanja.

4 TEHNIČNA DOKUMENTACIJA VALJASTEGA ZOBNIKA

Tehnična dokumentacija se v praksi uporablja kot posebno sredstvo medsebojnega sporazumevanja med strokovnimi sodelavci v podjetju, na primer med inženirji ter delavci v proizvodnji, saj takšna dokumentacija vsebuje vse potrebne podatke o samem izdelku. Tehnična dokumentacija, ki se uporablja, mora biti strokovna ter sestavljena po pravilih tehničnega risanja. (Glodež, 2010)

To poglavje bo vsebovalo tehnično dokumentacijo, katere glavni del bo konstrukcijska risba valjastega zobnika, ki bo vsebovala dimenzije zobnika, ustrezne dimenzijske in geometrijske tolerance, oznake hrapavosti površine, podatke o ozobljenju ter predvideno vrsto materiala za obdelovanec, prikazan na konstrukcijski risbi, vključno s predpisano primerno toplotno obdelavo zanj. Opravljen bo tudi geometrijski preračun obravnavanega valjastega zobnika, opravljen v programu, imenovanem Zar 1, čigar podatke bom uporabil pri pripravi konstrukcijske risbe.

4.1 Izbira primerne materiala

Izbira primerne materiala, iz katerega bo izdelan valjasti zobnik, je zelo pomemben korak, saj ima izbira ustreznega materiala velik vpliv na doseganje želenih lastnosti zobniškega gonila. Kot je bilo že omenjeno v poglavju 2.2, so za valjasta zobniška gonila v uporabi različni materiali, ki se uporabijo glede na predvidene obratovalne razmere.

Želim, da ima izdelan valjast zobnik:

- dobre trdnostne lastnosti in odpornost proti vplivom obrabe,
- dolgo življenjsko dobo obratovanja,
- sposobnost vzdržati sile, ki delujejo nanj med obratovanjem.

Za zobniška gonila, predvidena za večje obremenitve, se v praksi največ uporabljajo jekla za cementiranje.

Za izdelavo valjastega zobniškega gonila sem izbiro materiala omejil na dve izbiri:

- jeklo za cementiranje z oznako 16MnCr5, iz katerega je izdelan poškodovan valjast zobnik;
- jeklo za cementiranje z oznako 17CrNiMo6.

Temeljna razlika med zgoraj navedenima jekloma za cementiranje je v dodanih legirnih elementih, ki se dodajajo jeklom za dosego želenih lastnosti jekla, kot so npr. boljša žilavost, trdnost, boljša sposobnost za mehansko obdelavo ipd.

Jeklo 16MnCr5 vsebuje spodnje elemente (SIST EN 10027-1):

- 0,16 % C,
- 1,15 % Mn,
- maksimalno 0,035 % S,
- 0,95 % Cr. (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2011)

Jeklo 17CrNiMo6 vsebuje spodnje elemente (SIST EN 10027-1):

- 0,17 % C,
- 0,75 % Mn,
- maksimalno 0,035 % S,
- 0,95 % Cr,
- 0,20 % Mo,
- 1,40 % Ni. (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2011)

Oznake:

- C – ogljik,
- Mn – mangan,
- S – žveplo,
- Cr – krom,
- Mo – molibden,
- Ni – nikelj.

Vsak od dodanih legirnih elementov je jeklu dodan z namenom vplivanja na njegove lastnosti. Pri izbiri materiala je potrebno predvideti tudi, v kakšnih obratovalnih razmerah bo zobniško gonilo obratovalo. Zobniško gonilo, ki ga obravnavam, je predvideno za vgradnjo v delovni stroj kombajn, kar pomeni, da bodo med obratovanjem na zobniško gonilo vplivale nepredvidljive sile, nastale bodisi zaradi grbin, preko katerih bo delovni stroj zapeljal, bodisi zaradi nepravilnega upravljanja, kar lahko močno obremeni samo zobniško gonilo. Zato moram izbrati material, katerega lastnosti bodo po ustrezni toplotni obdelavi pripomogle k temu, da bo imelo zobniško gonilo dolgo življenjsko dobo, kljub težjim obratovalnim razmeram.

Želim, da ima material, ki ga bom uporabil za valjasto zobniško gonilo:

- dobro žilavost,
- dobre trdnostne lastnosti,
- dobre obdelovalne lastnosti,
- dobre trdnostne lastnosti tudi pri višjih temperaturah.

Navezujoč se na vpliv legirnih elementov na lastnosti materiala sem za izdelavo valjastega zobnika kombajna izbral material z oznako 17CrNiMo6, saj prav tako kot 16MnCr5 vsebuje elemente, kot so ogljik, mangan, žveplo in krom, ki ugodno vplivajo na lastnosti jekla, poleg tega pa še molibden ter nikelj, ki ugodno vplivata predvsem na žilavost ter trdnostne lastnosti jekla. Prednost materiala 17CrNiMo6 je tudi v večji natezni trdnosti, ki znaša 900–1250 N/mm² (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2011), medtem ko natezna trdnost za material 16MnCr5 znaša 770–1120 N/mm² (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2011). Tudi v praksi se v več primerih za zobniška gonila, za katera je predvideno obratovanje v težjih obratovalnih razmerah, uporabi material 17CrNiMo6. Z ustrezno toplotno obdelavo izbranega jekla za cementacijo z oznako 17CrNiMo6 se zobniku zagotovi trda in proti obrabi odporna površina ter žilavo jedro.

4.2 Preračun geometrije valjastega zobnika kombajna po standardu DIN 3960

Preračun geometrije valjastega zobnika po standardu DIN 3960 sem opravil z namenom vključitve izračunanih podatkov v konstrukcijsko risbo valjastega zobnika kombajna. Opravil sem ga v namenskem računalniškem programu, imenovanem Zar 1, namenjenem preračunu geometrije valjastih zobnikov. Osnovni podatki, prikazani v tabeli 2, služijo kot osnova za izdelavo preračuna valjastega zobnika.

Tabela 2: Osnovni podatki valjastega zobnika kombajna

Število zob z_1	13
Modul normalni m_n	5,25
Ubirni kot α	22,5°
Širina zoba b	137,1 mm
Kvalitetni razred	7 DIN 3967
Število zob proti zobniku z_2	64
Medosna razdalja a	209,7 mm

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Preračun sem opravil za sledeče veličine, ki sem jih v poglavju 4.5 vključil v konstrukcijsko risbo:

- profilni premik x ,
- premer razdelnega kroga d ,
- premer vznožnega kroga d_f ,
- premer temenskega kroga d_a ,
- mera preko zob W_k ($k=3$).

Rezultati so prikazani v tabeli 3:

Tabela 3: Rezultati geometrijskega preračuna valjastega zobnika kombajna

Profilni premik x	0,54
Premer razdelnega kroga d	68,2 mm
Premer vznožnega kroga d_f	60,6 mm
Premer temenskega kroga d_a	82,7 mm
Merno število zob k	3
Mera čez zobe $W_3 \text{ max}$	41,55 mm
Mera čez zobe $W_3 \text{ min}$	41,51 mm

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

4.3 Tolerance

Predpisano odstopanje izdelanih mer strojnega elementa imenujemo toleranca. Pri sami mehanski obdelavi strojnih elementov večkrat prihaja do odstopanj doseženih mer od zahtevanih, kar v praksi privede do vprašanja točnosti izdelanih mer. Pravilno delovanje samega strojnega elementa v obratovalnem okolju ni nujno pogojeno s tem, da imajo izdelane mere identično vrednost od želenih. Ugotoviti, katere so tiste mere, ki imajo lahko večja odstopanja, in tiste, katerih odstopanje je lahko minimalno, je delo samega konstrukterja, ki konstruira strojni del. Konstrukter predvidi, kje bo strojni del obratoval, in določi, za katere mere je potrebna večja stopnja natančnosti in za katere manjša. Iz stroškovnega vidika je smiselno, da se večja stopnja natančnosti predpiše za tiste mere, ki imajo velik vpliv na samo delovanje strojnega elementa. Pri strojnih elementih se v splošnem tolerance uporabljajo za toleriranje dolžin in kotov ter same geometrije strojnega dela (oblike, lege, teka, orientacije). (Glodež, 2010)

4.3.1 Dimenzijske tolerance valjastega zobnika

Valjasti zobnik, ki ga obravnavam v tem diplomskem delu, ima štiri premere, za katere sem določil tolerance dimenzij in jih uporabil pri pripravi konstrukcijske risbe. Druge mere, pri katerih majhni odstopi niso bistvenega pomena, se izdelajo kot proste mere, po srednjem tolerančnem razredu prostih mer, ki ga navaja standard ISO 2768-1. Dimenzijske mere, ki sem jim določil toleranco, so prikazane na sliki 12. Določanje toleranc olajša dejstvo, da se bo novi valjast zobnik izdelal na podlagi poškodovanega vzorca, kar pomeni, da sem lahko mere izmeril z mikrometrom in pomičnim merilom na samem vzorcu in nato za te mere poiskal ustrezne tolerance.



Slika 12: Tolerirane dimenzijske mere valjastega zobnika komba

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Za sedeže ležajev, kamor je nasajen ležaj, je točnost izdelanih mer premerov gredi zelo pomembna, kar pomeni tudi zelo majhna dovoljena odstopanja. Dovoljeno odstopanje od predpisane mere sedežev za ležaje je odvisno od zahtevanega ujema med luknjo ležaja ter sedeža za ležaj na zobniku, kamor bo ležaj nameščen. Za nameščanje ležajev se uporablja tesen ujem. Vzorec ima na dveh ležajnih sedežih, kamor bo nameščen ležaj, premer gredi, izmerjen z mikrometrom, $\varnothing 55,02$ mm ter $\varnothing 50,01$ mm. Za ti dve izmerjeni vrednosti sem izbral toleranco gredi k6, katere dovoljene odstopke prikazuje tabela 4.

Tabela 4: Toleranca ležajnih mest

Območje premera gredi (od, do vključno) [mm]	Izbrana toleranca	Dovoljeno odstopanje od imenske mere, določeno s toleranco gredi k6 [mm]
$\varnothing 40 - \varnothing 50$	k6	$\varnothing 50^{+0,018}_{+0,002}$
$\varnothing 50 - \varnothing 65$	k6	$\varnothing 55^{+0,021}_{+0,02}$

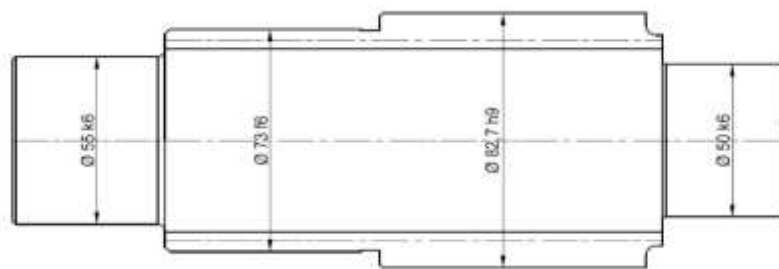
Vir: (<http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/shaft-housing-tolerances-fits/index.html>, 2017)

Ker je zobniško gonilo, katerega sestavni del je zobnik, ki ga obravnavam, večstopenjsko, vsebuje poleg obravnavanega zobnika ter njegovega zobniškega para še več zobniških dvojic, ki so povezane. Eden takšnih zobnikov druge zobniške dvojice pride nameščen na zobnik, ki ga obravnavam. V nadaljevanju bo ta zobnik nosil poimenovanje tretji zobnik. Sedež, kamor bo na obravnavan zobnik nasajen tretji zobnik, mora imeti tolerirano vrednost premera. Imenska mera premera te površine je $\varnothing 73$ mm. Za to mero sem izbral toleranco f6. Toleranco pa je potrebno dodati tudi zunanemu premeru ozobljenja zobnika, ki ima premer $\varnothing 82,7$ mm. Zunanemu premeru ozobljenja zobnika sem določil toleranco h9. Vrednosti odstopkov izbranih toleranc za sedež, kamor bo nameščen tretji zobnik, ter zunanji premer ozobljenja zobnika prikazuje tabela 5.

Tabela 5: Dimenzijska toleranca sedeža, kamor bo nameščen tretji zobnik, ter zunanjega premera ozobljenja zobnika

Območje premera gredi (od, do vključno) [mm]	Izbrana toleranca	Dovoljeno odstopanje, določeno z izbrano toleranco [mm]
$\varnothing 65 - \varnothing 80$	f6	$\varnothing 73^{-0,03}_{-0,049}$
$\varnothing 80 - \varnothing 100$	h9	$\varnothing 82,7^{-0}_{-0,087}$

Vir: (<http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/shaft-housing-tolerances-fits/index.html>, 2017)

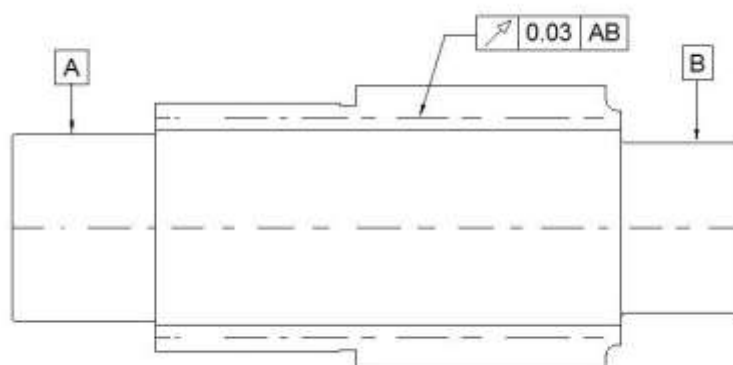


Slika 13: Dimenzijske tolerance valjastega zobnika

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

4.3.2 Geometrijske tolerance krožnega teka valjastega zobnika

Geometrijske tolerance krožnega teka so v uporabi za določitev dovoljenih odstopov krožnega teka strojnega elementa. (Glodež, 2010) Za pravilno delovanje zobnika morajo imeti takšni odstopi čim manjšo vrednost odstopa krožnega teka. Zobnik, ki ga obravnavam, je izdelan v 7. kvalitetnem razredu po standardu DIN 3967, ki po rezkanju ozobljenja ter toplotni obdelavi določa tudi brušenje ozobljenja, zato sem za zahtevano vrednost odstopa krožnega teka izbral vrednost 0,03 mm, ki je v skladu z zahtevami 7. kvalitetnega razreda po DIN 3967.



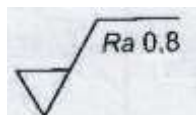
Slika 14: Toleranca krožnega teka valjastega zobnika kombajna, izdelanega v 7. kvalitetnem razredu po DIN 3967

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

4.4 Označitev hrapavosti površine

Označitev hrapavosti površine na konstrukcijski risbi poda informacije o tem, kakšne kakovosti je površina obdelovanja. Kakovost površine obdelovanja se na tehniški risbi označi v obliki parametra hrapavosti Ra, ki ga podamo v enoti mikrometer, z oznako μm . (Glodež, 2010) Dosežena kakovost površine je odvisna od pogojev mehanske obdelave, s katero površino obdelovanja obdelamo. Obravnavan valjasti zobnik bo mehansko obdelan s struženjem ter

rezkanjem ozobljenja, pri čemer se doseže parameter hrapavosti površine $Ra\ 3,2\ \mu m$. Pri toplotni obdelavi pride do posameznih deformacij materiala, zato sem z namenom lažje namestitve ležajev ter mirnejšega teka za ozobljenje ter ležajna sedeža predpisal še mehansko obdelavo brušenja, ki se bo opravila po toplotni obdelavi in s katero se lahko doseže fina površina s parametrom hrapavosti $Ra\ 0,8\ \mu m$. S tem parametrom sem tudi označil brušene površine na konstrukcijski risbi.



Slika 15: Simbol za označitev hrapavosti površine s parametrom hrapavosti $Ra\ 0,8\ \mu m$ (ISO 1302 -1992)

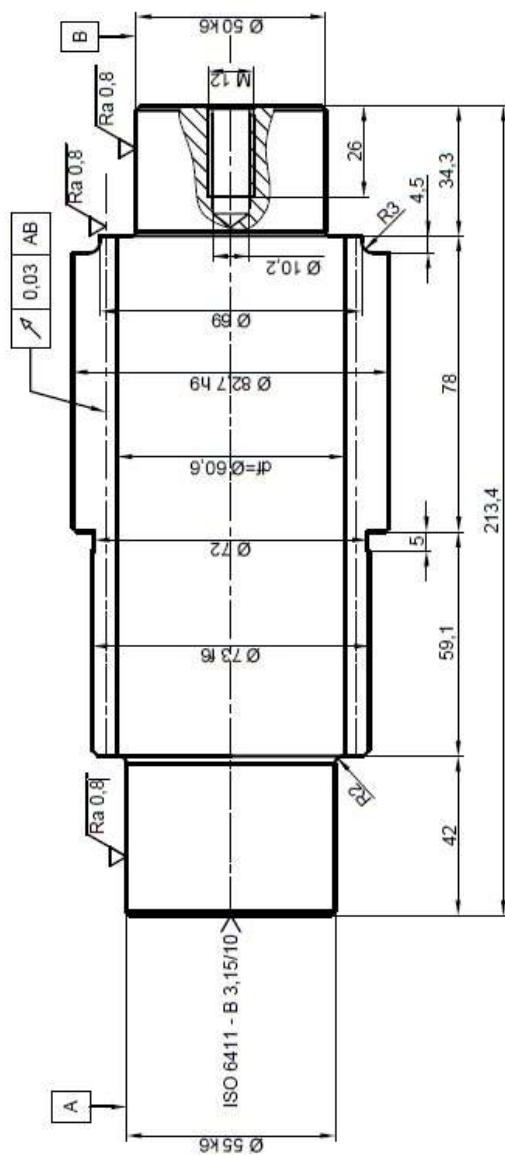
Vir: (Glodež, 2010)

4.5 Konstrukcijska risba valjastega zobnika kombajna

Konstrukcijska risba valjastega zobnika je pomemben dokument, ki prikazuje končno obliko in dimenzije izdelka. Izdelava se z namenom prikaza tehničnih in geometrijskih podatkov zobnika, ki služijo strokovnjakom pri procesu izdelave zobnika. Na konstrukcijski risbi (slika 16) sem predstavil obdelovanec s potrebnimi kotiranimi merami, vključno z dodanimi dimenzijskimi tolerancami za zunanji premer valjastega zobnika, za oba ležajna sedeža in za sedež, kamor bo nameščen tretji zobnik. Dimenzijske tolerance sem določil v poglavju 4.3.1. Na konstrukcijsko risbo sem dodal tudi geometrijsko toleranco za lastnost krožnega teka, ki sem jo določil v poglavju 4.3.2 ter simbol za označitev hrapavosti površine na predvidenih brušenih površinah, ki sem ga določil v poglavju 4.4. Na konstrukcijski risbi predstavljenega valjastega zobnika pa je potrebno poleg potrebnih dimenzijskih in geometrijskih toleranc ter označitve kakovosti površine z ustreznim simbolom dodati tudi:

- preglednico s podatki o ozobljenju,
- preglednico s podatki o predvidenem materialu in toplotni obdelavi.

V preglednico s podatki o ozobljenju sem vključil tiste podatke, ki sem jih poleg že znanih podatkov pridobil z geometrijskim preračunom, prikazanem v poglavju 4.2. Poleg podatkov o ozobljenju sta v prilogi na konstrukcijski risbi prav tako podatek oz. oznaka za izbrano vrsto materiala zobnika 17CrNiMo6 in postopek toplotne obdelave zobnika. Z izbranim postopkom in pogoji toplotne obdelave – cementiranjem bom izdelanemu zobniku zagotovil zahtevane uporabne lastnosti – trdo proti obrabi odporno površino in žilavo jedro. Izdelano konstrukcijsko risbo prikazuje slika 16.



Vajjasti zobnik	Materiat: 17CrNiMo6
Izdelat: Krajnc David	Cementitirati 0,9 - 1,1 mm
Datum: 2.5.2017	Kaliti: 60 + 2 HRC

Slika 16: Konstrukcijska risba valjastega zobnika kombajna

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5 TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA VALJASTEGA ZOBNIKA KOMBAJNA

Tehnološka dokumentacija valjastega zobnika je strokovni dokument, pomemben za nadaljnje tehnološke operacije izdelave zobnika. Vključuje tehnološke postopke in pogoje mehanske obdelave, toplotne obdelave ter postopke končne kontrole valjastega zobnika. Spodaj so navedeni predvideni postopki odrezavanja oz. mehanske obdelave obravnavanega valjastega zobnika:

- razrez, struženje in vrtanje surovca,
- odvalno rezkanje ozobljenja,
- okroglinško brušenje po toplotni obdelavi,
- brušenje ozobljenja po toplotni obdelavi.

Poleg mehanske obdelave so predvideni še drugi potrebni postopki, ki zagotavljajo ustrezne uporabne lastnosti zobnika:

- toplotna obdelava,
- končna kontrola izdelka.

5.1 Razrez materiala

Postopek, imenovan razrez materiala, predstavlja začetek izdelave valjastega zobnika, pri katerem se opravi razrez izbranega materiala na zahtevane dolžine. Iz stroškovnega vidika je smiselno, da je, kolikor je mogoče, malo odpadnega materiala, zato se material razreže na dolžinske mere z dodatkom 5 mm na končne dolžinske mere valjastega zobnika. Material za valjasti zobnik, ki ga obravnavam v tem diplomskem delu, sem izbral v poglavju 4.1 in se imenuje 17CrNiMo6. Na konstrukcijski risbi, ki sem jo naredil v poglavju 4.5, je vidno, da ima valjast zobnik zunanji premer $\varnothing 82,7$ mm ter dolžino 213,4 mm. Za izdelavo valjastega zobnika sem izbral polni material v obliki palice, ki ima zunanji premer $\varnothing 90$ mm ter predpisal dolžino za razrez 218,4 mm, pri kateri je upoštevan dodatek 5 mm, potreben pri sami obdelavi struženja.

5.2 Postopek struženja

Struženje sledi razrezu materiala in je postopek mehanske obdelave, pri katerem se material mehansko obdela s postopkom struženja na predvidene dimenzije in obliko. Mehanska

obdelava struženja se bo izvedla na delovnem stroju, imenovanem univerzalna stružnica. Proces mehanske obdelave struženja se začne z vpenjanjem materiala, predvidenega za obdelavo v tričeljustno stružno glavo stružnice, pri čemer je potrebno posebno pozornost nameniti temu, da material po tem, ko ga vpnemo, ustrezno centriramo, da nima prevelikega opleta. Pri tem si pomagamo z merilnim pripomočkom, imenovanim merilna ura, s katerim lahko merimo vrednost opleta in nam kot tak služi pri tem, da izbrani material, vpet v vpenjalni glavi, umerimo in centriramo v željene vrednosti opleta.

Pri obdelavi sta pomembni ustrezna izbira vrste in geometrije rezalnega orodja ter izbira ustreznih vrtljajev stružne glave.

Orodje z ustrezno geometrijo je treba izbrati glede na:

- vrsto obdelave (groba obdelava, fina obdelava),
- material obdelovanca.

Za grobo obdelavo je značilen večji odvzem materiala, kar pripomore k temu, da sorazmerno hitro obdelamo obdelovanec z odrezovanjem na okvirno obliko, vendar pa ima to za posledico slabšo površino obdelovanca.

Končne dimenzijske mere in oblika se dosežejo s fino obdelavo, za katero sta značilna manjši odvzem materiala in kakovostnejša površina obdelovanca.

Poleg orodja za grobo in fino obdelavo so potrebni za struženje obravnavanega valjastega zobnika tudi orodje za izdelavo utora, širine 5 mm, orodje za izdelavo dveh radijev, sveder za izdelavo izvrtine, navojni sveder ter sredilni sveder.

Ustrezne vrtljaje stružne glave za obdelavo obdelovanca izberemo na podlagi enačbe 1.6:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \quad (1.9)$$

kjer so:

n – število vrtljajev stružne glave [min^{-1}],

V_c – rezalna hitrost [m/min],

D – zunanji premer obdelovanca [mm].

Vir: (Sumitomo Electric Hartmetall GmbH, 2014)

Spodnja tabela prikazuje potrebno orodje za obdelavo valjastega zobnika z mehansko obdelavo struženja.

Tabela 6: Seznam ustreznega orodja za struženje valjastega zobnika

Ustrezno orodje za struženje valjastega zobnika
Držalo Sumitomo DCLNR 2020 K12 z rezalno ploščico Sumitomo CNMG 120408 NME AC820
Držalo Sumitomo DCLNR 2020 K12 z rezalno ploščico Sumitomo CNMG 120404 NSE AC820P
Držalo Sumitomo GNDM-R 2020 K 518 z rezalno ploščico Sumitomo GCM N5008 MG AC830P
Stružna noža iz hitroreznega jekla, ki imata ustrezno zbrušeno rezilno površino za izdelavo radijev R2 mm in R3 mm
Sveder ø 10,2 mm
Navojni sveder M12
Sredilni sveder

Vir:(Lastna raziskava, 2017)

Med izvajanjem mehanske obdelave struženja je treba biti pozoren na obrabo orodja in po potrebi zamenjati obrabljene rezilne ploščice ter naostriti rezilni rob stružnega noža iz hitroreznega jekla in svedrov, če ocenimo, da se orodje med delovanjem ne odziva v skladu s pričakovanji ter zahtevami.

Poleg ustrezne izbire obdelovalnih pogojev in vrste ter geometrije rezalnega orodja je za kakovostno obdelavo pomembno tudi natančno vpetje obdelovanca v obdelovalni prostor stroja. Vpenjalna priprava zagotovi natančno in kakovostno vpetje.

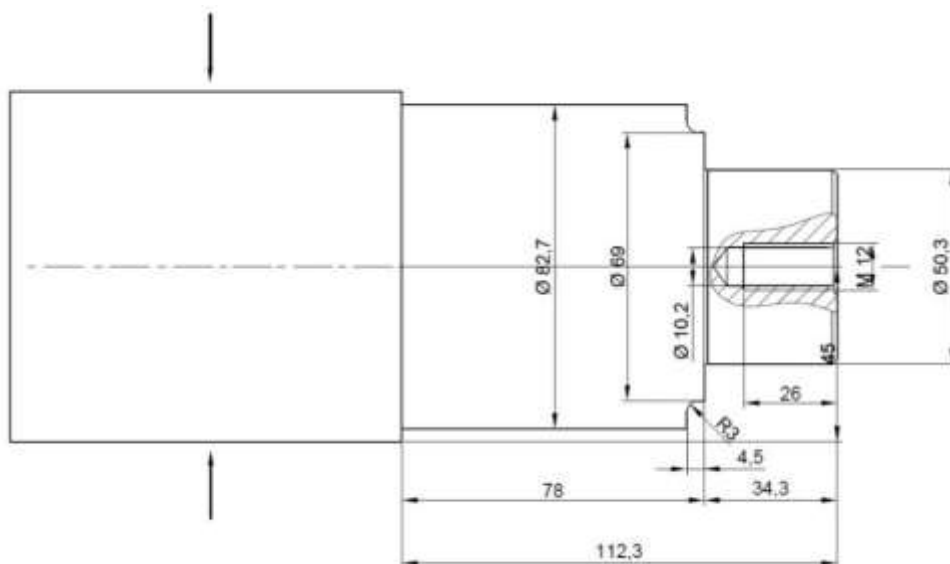
Primerno vpet material z vpenjalno pripravo se nato mehansko obdela s postopkom struženja.

Obravnavan valjast zobnik se bo obdelal v dveh stopnjah:

- struženje prve polovice oz. desne strani valjastega zobnika,
- struženje druge polovice oz. leve strani valjastega zobnika.

5.2.1 *Struženje prve polovice oz. desne strani valjastega zobnika*

Pri prvi stopnji se struži prva polovica valjastega zobnika, kot prikazuje slika 17. Pri tej fazi se prva polovica materiala obdela s struženjem na želene dimenzije. Na sedežu za ležaj je potrebno pustiti dodatek za brušenje, ki znaša okvirno 0,3 mm in se mehansko obdela na mero $\varnothing 50,3$ mm. Poleg struženja pa je potrebno tudi izvrtati izvrtino ter z uporabo navojnega svedra vrezati navoj M12. Za navoj M12 je potrebno material predhodno središčiti s sredilnim svedrom ter nato zvrtati predpisano luknjo premera $\varnothing 10,2$ mm. Šele nato, ko je predpisana luknja zvrtna, se vreže željen navoj. Operacija vrtanja se prav tako opravi na univerzalni stružnici, tako da se sveder vstavi v vrtalno glavo, ta pa se nato vpne v konjiček stružnice, vrtilno gibanje z materialom pa opravi tričeljustna stružna glava.

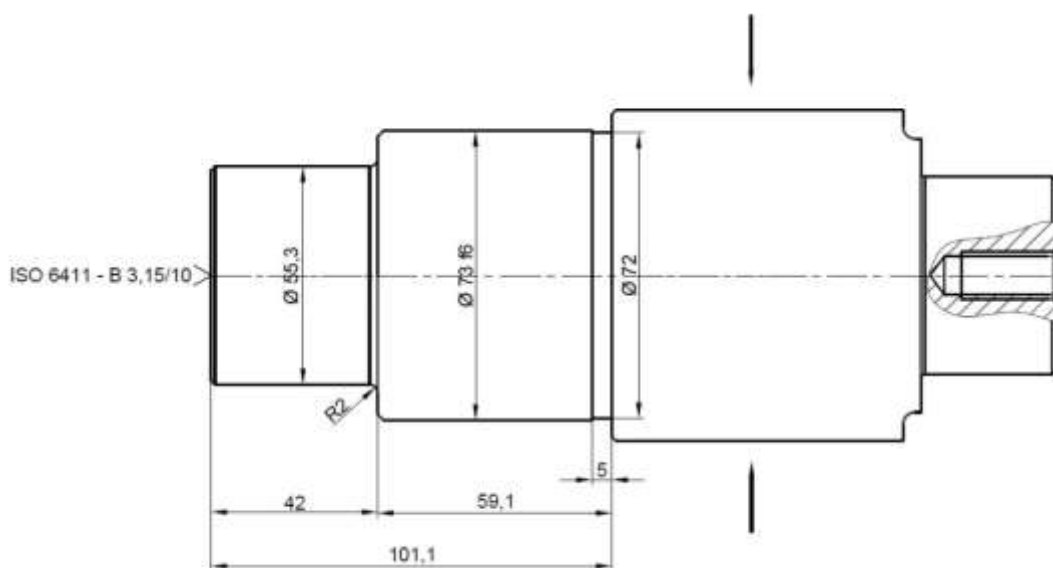


Slika 17: Struženje prve strani valjastega zobnika

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.2.2 Struženje druge polovice oz. leve strani valjastega zobnika

Potem, ko se zastruži prva polovica valjastega zobnika, se obdelovanec obrne z namenom obdelave druge polovice. Pri tem je potrebno posebno pozornost nameniti temu, da se potem, ko se material vpne, le tega umeri in centrira na primeren oplet, pri čemer se ponovno uporabi merilni pripomoček, imenovan merilna ura. Pri umerjanju materiala za mehansko obdelavo struženja druge strani valjastega zobnika je potrebno upoštevati že obdelano prvo polovico, tako da bosta po končanem struženju oba dela imela isto vrednost odstopka krožnega teka. Potem, ko je material ustrezno vpet in centriran, se lahko prične s struženjem druge polovice valjastega zobnika na dimenzije, kot prikazuje slika 18. Na konstrukcijski risbi, ki jo prikazuje slika 16, je vidno, da je za površino premera $\varnothing 55$ k6 mm predvidena končna obdelava okroglinkega brušenja, zato se na tej površini, prav tako kot pri struženju prve polovice, na sedežu za ležaj pusti dodatek za brušenje, ki znaša okvirno 0,3 mm. Mero $\varnothing 73$ mm se zastruži na končno vrednost z upoštevajočo dimenzijsko toleranco f6, saj za to površino mehanska obdelava okroglinkega brušenja ni potrebna.



Slika 18: Struženje druge strani valjastega zobnika kombajna

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.3 Odvalno rezkanje

Ozobljenje valjastega zobnika, ki ga obravnavam, bo izdelano na stroju za odvalno rezkanje, imenovanem TOS FO-6, ki ga prikazuje slika 19, po postopku odvalnega rezkanja.

Stroj TOS FO-6 je namenski stroj in je namenjen izdelavi ozobljenja:

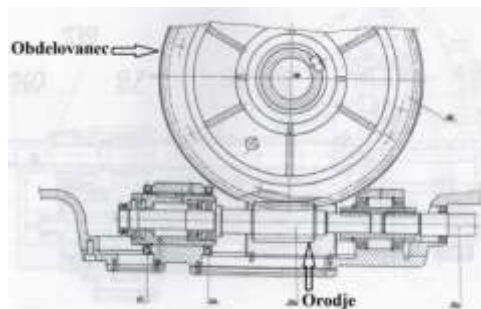
- valjastih zobnikov z ravnim ozobljenjem,
- valjastih zobnikov s poševnim ozobljenjem,
- polževih koles.



Slika 19: Stroj TOS FO-6 za izdelavo zunanega ozobljenja valjastih zobnikov po postopku odvalnega rezkanja

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Izdelavo zunanega ozobljenja obdelovanca, po postopku imenovanem odvalno rezkanje, prikazuje slika 20.



Slika 20: Prikaz odvalnega rezkanja zunanega ozobljenja valjastega zobnika na stroju TOS FO-6

Vir: (TOS ČELÁKOVICE n. p., 1964)

Tabela 7: Tehnični podatki stroja za odvalno rezkanje TOS FO-6

Največji modul za rezkanje	6
Najmanjši modul za rezkanje	1
Največji premer valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem, primeren za rezkanje	600 mm
Največja širina rezkanja valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem in premera 600 mm	280 mm
Največja širina rezkanja valjastega zobnika z ravnim ozobljenjem in premera 75 mm	200 mm
Največji premer orodja	120 mm
Največja širina orodja	130 mm
Premeri vpenjalnih trnov	22,27,32 mm
Razpon obratov vretena	15–190 obratov/minuto
Premer delovne mize	420 mm
Največja teža obdelovanca	500 kg
Nazivna moč glavnega motorja	4 kW
Teža stroja	4 t

Vir: (TOS ČELÁKOVICE n. p., 1964)

5.3.1 Izbira orodja za odvalno rezkanje valjastega zobnika kombajna

Za izdelavo ozobljenja valjastega zobnika je bilo potrebno izbrati primerno orodje, imenovano odvalni rezkar. Izbral sem odvalni rezkar, ki ima enak ubirni kot α in enak modul m kot valjasti zobnik, ki se bo izdelal. Vrednost ubirnega kota je $22,5^\circ$ ter modula 5,25. Zaradi predvidenega brušenja ozobljenja po toplotni obdelavi sem za izdelavo ozobljenja valjastega zobnika predvidel uporabo odvalnega rezkarja, ki ima oznako profil III po DIN 3972, katerega namen je, da pri rezkanju ozobljenja pusti dodatek za brušenje na boku zoba valjastega zobnika.

Tabela 8: Podatki odvalnega rezkarja, uporabljenega za izdelavo valjastega zobnika

Modul normalni m_n	5,25
Ubirni kot α	22,5°
Zunanji premer rezkarja D	Ø 100 mm
Širina rezkarja L	88 mm
Premer luknje rezkarja d	Ø 32 mm
Profil III po DIN 3972	
Razred A po DIN 3968	
Enohodno	
Brušen profil	

Vir: (WILHELM FETTE GMBH, 1997)



Slika 21: Odvalni rezkar, ki sem ga izbral za izdelavo valjastega zobnika

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.3.2 Preračun režimov in obdelovalnega časa odvalnega rezkanja valjastega zobnika

Režime in obdelovalni čas odvalnega rezkanja valjastega zobnika sem preračunal v namenskem programu, izdelanem v programskem orodju Microsoft Excel. Vhodne podatke sem pridobil na podlagi podatkov orodja za kotalno rezkanje, ki sem ga izbral v poglavju 5.3.1, in glede na vrsto materiala 17CrNiMo6, ki sem ga izbral za izdelavo valjastega zobnika. Izračun sem opravil z namenom pridobitve naslednjih podatkov:

- potrebni obrati orodja [obr/min],
- razmerje med številom žlebov ter vijačnic kotalnega rezkarja,
- debelina odrezka [mm],
- obdelovalni čas odvalnega rezkanja valjastega zobnika [min].

Tabela 9: Podatki za preračun režimov in obdelovalnega časa

Modul normalni m_n	5,25
Število zob z	13
Ubirni kot α	22,5°
Kot poševnosti ozobljenja valjastega zobnika β	0°
Širina zoba F	137,1 mm
Koeficient profilnega premika x	0,54
Zunanji premer rezkarja D	Ø 100 mm
Aksialni pomik d_a	1 mm/obr
Globina rezkanja	12 mm
Število žlebov odvalnega rezkarja	9
Število vijačnic odvalnega rezkarja	1
Rezalna hitrost V_C	40 m/min

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Tabela 10: Rezultat preračuna režimov in obdelovalnega časa

Potrebni obrati kotalnega rezkarja	127 [obr/min]
Razmerje med številom žlebov in številom vijačnic odvalnega rezkarja	9
Debelina odrezka	0,311 mm
Obdelovalni čas kotalnega rezkanja valjastega zobnika	17,58 min

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.3.3 Odvalno rezkanje ozobljenja valjastega zobnika

Po določitvi orodja za odvalno rezkanje valjastega zobnika, izračunanih režimih in predvidenem obdelovalnem času pride na vrsto nastavitvev stroja v obliki vstavljanja menjalnih

zobnikov, preko katerih delilnik, ki je del stroja, pravilno deli za želeno število zob, ki jih je potrebno izdelati na valjastem zobniku. Predpisal sem menjalne zobnike, namenjene za valjaste zobnike, ki imajo število zob $z=13$. Podatek o potrebnih menjalnih zobnikih sem našel v pogonskem navodilu za stroj TOS FO-6.

Tabela 11: Menjalni zobniki delilnika za izdelavo valjastih zobnikov, ki imajo 13 zob

a	b	c	d
$z=80$	$z=60$	$z=54$	$z=78$

Vir: (TOS ČELÁKOVICE n. p., 1964)

Namestitvi menjalnih zobnikov delilnika sledi nastavitve geometrije stroja, vstavljanje odvalnega rezkarja v primeren vpenjalni trn ter vpenjanje obdelovanca v vpenjalno glavo. Temu sledi centriranje z merilnim pripomočkom, imenovanim merilna ura, ter ustrezna pričvrstitev, da se obdelovanec med obdelavo ne premakne.

V poglavju 5.3.1 sem za odvalno rezkanje ozobljenja določil orodje odvalni rezkar z oznako profil III po DIN 3972, ki pri rezkanju ozobljenja pusti dodatek za brušenje na boku zoba. Takšni odvalni rezkarji so predvideni za izdelavo valjastih zobnikov, pri katerih se po toplotni obdelavi opravi še mehanska obdelava brušenja ozobljenja na končno mero, z namenom doseganja fine kakovosti površine.

Mera preko treh zob, z upoštevanjem dodatkom za brušenje, ki se mora doseči pri odvalnem rezkanju ozobljenja, znaša $W_3=41,77^{-0,04}$ mm, premer vznožnega kroga pa $d_f=\varnothing 60,6$ mm.



Slika 22: Valjast zobnik po končani mehanski obdelavi ozobljenja

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.4 Toplotna obdelava zobnika

Toplotna obdelava predstavlja pomembno fazo izdelave obravnavanega valjastega zobnika, saj pomembno pripomore k izboljšanju trdnostnih lastnosti zobnika. Zobniki v delovnih strojih so podvrženi velikim pritiskom in silam med obratovanjem ter posledično obrabi in poškodbam, ki nastanejo največkrat na površini zoba. V veliki meri lahko verjetnost nastanka poškodb in pojava obrabe zmanjšamo tako, da se zobnik po mehanski obdelavi izdelave ozobljenja še toplotno obdela z namenom izboljšanja trdnostnih lastnosti zobnika in preprečitve poškodb ter obrabe na površini zoba.

Izbiri vrste toplotne obdelave obravnavanega valjastega zobnika je treba nameniti veliko mero pozornosti in izbrati takšno, ki bo zagotovila dobre trdnostne lastnosti ter omogočila zobniku uspešno kljubovanje silam in nenadnim obremenitvam, ki bodo delovale nanj med obratovanjem delovnega stroja.

Temeljni zahtevi, za kateri želim, da se pri toplotni obdelavi zobnika dosežeta, sta:

- trda površina zobnika in
- žilavo jedro.

Zanesljiv in v praksi preizkušen postopek toplotne obdelave, s katerim se lahko zadosti zgoraj navedenima zahtevama, se imenuje cementiranje.

Cementiranje je vrsta toplotne obdelave, pri kateri jeklo v primernem sredstvu, ki je vir ogljika, naogljčimo pri temperaturi 850–950 °C. Jeklo lahko naogljčimo v različnih sredstvih za ogličenje, ki so lahko trdna, tekoča ali plinasta. Pri tem je pomemben čas ogličjenja, saj vpliva na globino ogličene plasti. Po postopku ogličjenja zobnik še kalimo in popuščamo, z namenom odprave notranjih napetosti. Rezultat je trda površina ter žilava notranjost. (Zupanič & Anžel, 2007)

V poglavju 4.1 sem predpisal material za izdelavo obravnavanega zobnika, ki je primeren za toplotno obdelavo, imenovano cementiranje. Material ima oznako 17CrNiMo6.

Priprava obdelovanca na toplotno obdelavo je pomembno opravilo, pri katerem je treba opraviti pregled obdelovanca oz. konstrukcijske risbe in določiti površine, ki jih želimo zaščititi pred toplotno obdelavo. Površina na obravnavanem valjastem zobniku, ki jo želim zaščititi, je navojna izvrtina M12. Zaščititi jo je treba predvsem z namenom, da bo zaščitena površina tudi po toplotni obdelavi mehka.

Izbiral sem med dvema načinoma zaščite:

- zaščita z pasto, ki nosi oznako LUISO W31,
- zaščita z vijakom M12.

Pri prvem načinu zaščite pasto s pripomočkom nanesemo na navojno izvrtino in jo tako zaščitimo pred toplotno obdelavo, pri drugem načinu pa navojno izvrtino zaščitimo tako, da vanjo privijemo vijak M12.

Podatke za toplotno obdelavo cementiranja obravnavanega valjastega zobnika sem določil in vključil v konstrukcijsko risbo, ki jo prikazuje slika 16.

Pri toplotni obdelavi zobnika je treba doseči:

- globino cementacijske plasti v območju 0,9–1 mm in
- trdoto površine 60 + 2 HRC.

Delovni potek toplotne obdelave valjastega zobnika prikazuje tabela 12:

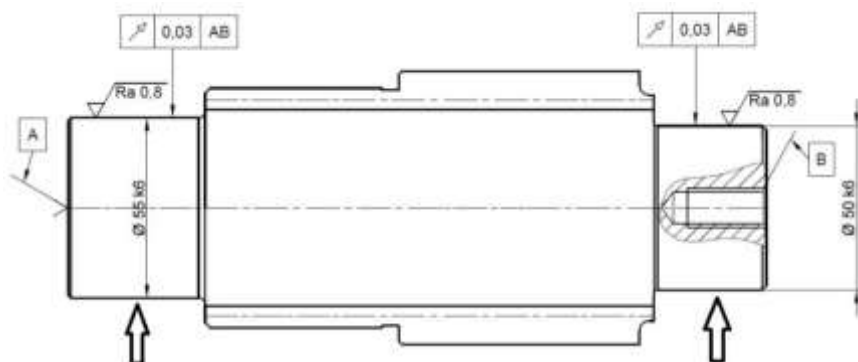
Tabela 12: Delovni potek toplotne obdelave valjastega zobnika

Delovni potek toplotne obdelave valjastega zobnika	
1.	Zaščititi navojno izvrtino z vijakom M12
2.	Cementirati: 0,9–1 mm
3.	Kaliti: 60 + 2 HRC
4.	Oprati
5.	Popuščati za odpravo notranjih napetosti
6.	Peskanje
7.	Končna kontrola: Globine cementacijske plasti (0,9–1 mm) Trdote površine (60 + 2 HRC) Deformacij
8.	Ravnanje

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.5 Okroglinsko brušenje sedežev za ležaje

Brušenje sedežev za ležaje se izvede po postopku zunanjega okroglega brušenja in sledi toplotni obdelavi. Izvede se na površinah, kamor bosta nameščena ležaja, z namenom fine obdelave površine in dosega parametra hrapavosti $Ra\ 0,8\ \mu m$.



Slika 23: Delovna risba za brušenje ležajnih površin

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Pri mehanski obdelavi zunanjega okroglega brušenja sedežev za ležaje je pomembno, da se na delovni risbi označeni površini, ki sta prikazani na sliki 23, natančno okroglinsko zbrusita na določeni meri, z ustrezno določenima tolerancama $\varnothing 55\ k6\ mm$ ter $\varnothing 50\ k6\ mm$.



Slika 24: Valjasti zobnik po mehanski obdelavi okroglinskega brušenja sedežev za ležaje

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.6 Brušenje ozobljenja valjastega zobnika

Zadnja faza mehanske obdelave valjastega zobnika, ki ga obravnavam v tem diplomskem delu, se imenuje brušenje ozobljenja, ki se bo izvedlo z namenom končne obdelave in dosega fine površine ozobljenja s parametrom hrapavosti $Ra\ 0,8\ \mu m$. Stroj, predviden za brušenje

ozobljenja valjastega zobnika, ki ga obravnavam, se imenuje Reishauer. Postopek, po katerem se bo zbrusilo ozobljenje, se imenuje kotalno brušenje, pri katerem se kot orodje uporablja brusni polž.

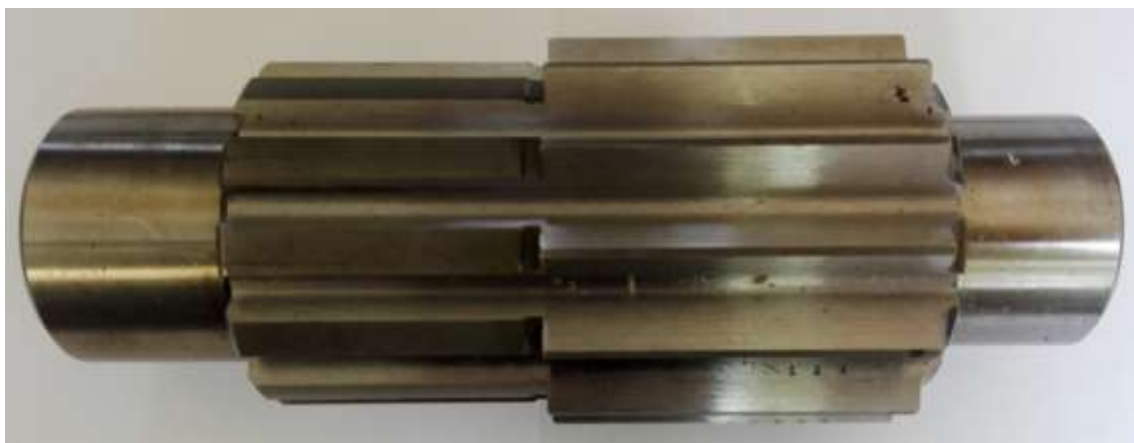
Predviden izračun časa obdelave brušenja ozobljenja se izračuna z namenom predvidevanja časa obdelave brušenja ozobljenja določenega obdelovanca. Sam sem obdelovalni čas brušenja ozobljenja valjastega zobnika, ki ga obravnavam, izračunal v namenskem programu za izračun tehnoloških časov stroja Reishauer in rezultate prikazal v tabeli 10.

Tabela 13: Obdelovalni čas brušenja ozobljenja valjastega zobnika na stroju Reishauer

Obdelovalni čas grobega brušenja ozobljenja	16 min
Obdelovalni čas finega brušenja ozobljenja	3 min
Skupen obdelovalni čas brušenja ozobljenja	19 min

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

Potrebna končna mera preko treh zob, ki jo je potrebno pri brušenju doseči, je znašala $W_3=41,55^{-0,04}$ mm in je tudi podana na konstrukcijski risbi, ki jo prikazuje slika 16.



Slika 25: Valjasti zobnik po mehanski obdelavi brušenja ozobljenja na stroju Reishauer

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

5.7 Kontrolno merilne metode valjastega zobnika

Končna kontrola se pri procesu izdelave valjastega zobnika izvede na koncu mehanske in toplotne obdelave. Namen končne kontrole je potrditev dimenzijske skladnosti izdelanega

valjastega zobnika z zahtevami konstrukcijske risbe. Končno kontrolo je potrebno izvesti, kljub temu da se je valjast zobnik kontroliral že med in po obdelavi s strani operaterjev strojev.

Pri končni kontroli obravnavanega valjastega zobnika so potrebni naslednji merilni pripomočki:

- pomično merilo [0–150 mm],
- pomično merilo [0–300 mm],
- mikrometer [50–75 mm],
- mikrometer s krožnikastimi nastavki za merjenje mere preko zob [25–50 mm],
- kontrolnik navojev [$M12 \times 1,75$],
- naprava za merjenje točnosti krožnega teka z merilno uro,
- merilnik hrapavosti površine,
- merilnik trdote [Rockwell].

Končno kontrolo sem opravil na merilni mizi, izdelani iz granita, ki je namenjena opravljanju meritev na različnih izdelkih, pri katerih je treba meritve opraviti v nadzorovanih razmerah.

Pri opravljanju meritev valjastega zobnika za potrebe končne kontrole sem kot vir potrebnih podatkov uporabil konstrukcijsko risbo valjastega zobnika, ki sem jo izdelal v poglavju 4.5.

Posebno pozornost je bilo pri končni kontroli treba nameniti naslednjim meritvam:

- skladnosti izdelanih dimenzijskih mer z zahtevanimi merami podanimi na konstrukcijski risbi, ki jo prikazuje slika 16,
- skladnosti odstopkov krožnega tega na toleriranih površinah z zahtevano zgornjo dovoljeno vrednostjo odstopka, ki je znašal 0,03 mm,
- skladnosti mere preko treh zob zobnika z zahtevano vrednostjo, podano na konstrukcijski risbi, ki jo prikazuje slika 16,
- skladnosti izmerjene trdote površine valjastega zobnika z zahtevano, ki je znašala $60 + 2$ HRC.

Kontrola valjastega zobnika po obdelavi je dala zadovoljive rezultate, saj so bile izmerjene mere na valjastem zobniku v skladu z zahtevami konstrukcijske risbe, ki sem jo izdelal. Kontrolo globine cementacijske plasti so izvedli v obratu kalilnice, kjer je bil valjast zobnik toplotno obdelan. Uspešno opravljena končna kontrola, ki je dala potrditev o skladu izdelanega valjastega zobnika z zahtevami na konstrukcijski risbi, daje potrditev, da je valjast zobnik primeren za vgradnjo in obratovanje v predvidenem delovnem stroju.

Tabela 14: Kontrolno merilne metode valjastega zobnika

Kontrola valjastega zobnika			
Vrsta kontrole	Merilni pribor	Zahteve	Skladnost opravljenih meritev s konstrukcijsko risbo
Kontrola dimenzijskih mer, navoja in mere preko zob	Pomično merilo [0–150 mm] Pomično merilo [0–300 mm] Mikrometer [50–75 mm] Kontrolnik navojev [M12 × 1,75] Mikrometer s krožnikastimi nastavki za merjenje mere preko zob [25–50 mm]	Zahtevane mere so podane na konstrukcijski risbi (slika 16)	DA
Kontrola krožnega teka	Naprava za merjenje točnosti krožnega teka z merilno uro	Zgornja meja 0,03 mm	DA
Kontrola hrapavosti površine na brušenih površinah	Merilnik hrapavosti površine	Zgornja meja 0,8 µm	DA
Kontrola trdote površine	Merilec trdote (Rockwel)	60–62 HRC	DA

Vir: (Lastna raziskava, 2017)

6 SKLEP

Tehnična dokumentacija se nanaša na geometrijske, oblikovne in trdnostne zahteve obdelovanca in nam služi kot pomemben vir podatkov, potrebnih za izdelavo v praksi. Osnovno vodilo med nastajanjem tega diplomskega dela je bilo, kako izboljšati lastnosti valjastega zobnika glede na poškodovani zobnik, ki ga je bilo potrebno zamenjati. Na ta način bi se na novo izdelanem zobniku lahko preprečil nastanek morebitnih poškodb, zaradi obratovanja v težjih obratovalnih razmerah, ter podaljšala življenjska doba obratovanja. Na kakovost samega valjastega zobnika vpliva več dejavnikov. Najpomembnejša sta optimalno izbrana vrsta materiala zobnika ter strokovno izvedene metode mehanske obdelave, toplotne obdelave ter končne kontrole izdelka.

Na začetku sem opravil podroben pregled poškodovanega valjastega zobnika, kjer sem ugotovil, da je prišlo do treh vrst med seboj različnih poškodb, ki so preprečile nadaljnje delovanje valjastega zobnika:

- zlom zoba,
- plastična deformacija zoba,
- jamičenje.

Sklepal sem, da je do poškodbe zloma zoba ter plastične deformacije prišlo zaradi določene nenadne preobremenitve, ki je vodila do nastanka vidnih poškodb. Zaradi premalo kvalitetnega materiala se pod vplivom večje obremenitve lahko pojavi plastična deformacija, ki povzroči spremembo oblike zoba in vodi v nadaljevanje poškodbe. Vzrok za nastanek jamičenja, ki je bilo že dokaj razširjeno, pa sem iskal v tem, da se je jamičenje v sedanje stanje razširilo zaradi dolgotrajnega obratovanja pod težjimi obremenitvami, ki jim je bil izpostavljen valjast zobnik.

Ugotovljene vzroke in ugotovitve glede nastalih poškodb valjastega zobnika sem nato vključil v pripravo tehnične dokumentacije. Z namenom izboljšanja lastnosti valjastega zobnika in vodilom, da mora novo izdelan valjast zobnik bolje prenesti različne obremenitve med obratovanjem skozi daljše časovno obdobje, sem za izdelavo novega valjastega zobnika predpisal material 17CrNiMo6, ki velja za kvalitetnejšega in primernejšega za obratovanje v težjih obratovalnih razmerah od materiala 16MnCr5, iz katerega je bil izdelan poškodovan zobnik. Z izbiro kvalitetnejšega materiala 17CrNiMo6 namesto 16MnCr5 ter predpisom za ta material primerne toplotne obdelave cementiranja globine 0,9–1 mm in kaljenja 60 + 2 HRC lahko sklepam, da bo nov valjast zobnik bolje prenesel obratovanje pod različnimi

obremenitvami od predhodno vgrajenega, na katerem so nastale poškodbe med obratovanjem, ter imel daljšo življenjsko dobo obratovanja. Za zagotovitev kakovosti valjastega zobnika sem opravil tudi natančen geometrijski preračun, katerega podatke sem skupaj s predpisanim materialom in toplotno obdelavo vključil v konstrukcijsko risbo valjastega zobnika, vgrajenega v delovni stroj kombajn.

V nadaljevanju diplomskega dela sem v okviru tehnološke dokumentacije izbral postopke mehanske in toplotne obdelave ter metode končne kontrole. Mehanska obdelava je poleg razreza in priprave materiala vsebovala obdelavo s postopkom struženja na univerzalni stružnici, izdelavo ozobljenja po postopku odvalnega rezkanja, ki se uporablja za izdelavo ozobljenja pri kvalitetno izdelanih valjastih zobnikih, ter mehansko obdelavo okroglinkega brušenja ter brušenja ozobljenja, za zagotovitev zahtevane kakovosti površine.

Kakovost valjastega zobnika je bilo potrebno po mehanski in toplotni obdelavi preveriti s končno kontrolo, kjer sem skozi opravljene meritve ugotovil skladnost izdelanega valjastega zobnika z zahtevami konstrukcijske risbe, ki sem jo izdelal v okviru tehnične dokumentacije.

Sklepam, da bo novi valjast zobnik, izdelan iz materiala 17CrNiMo6, nemoteno deloval v kombinaciji z njegovo zobniško dvojico, ki jo predstavlja še prvotno nameščeno zobniško gonilo, izdelano iz materiala 16MnCr5, saj takšni primeri v praksi, kjer se pri valjasti zobniški dvojici zamenja samo en zobnik, dobro medsebojno delujejo. Z izbiro kvalitetnejšega materiala pri na novo izdelanem zobniku se le temu podaljša življenjska doba obratovanja.

Pri izdelavi diplomskega dela sem, poleg strokovno izvedene mehanske obdelave za zagotovitev končne kakovosti valjastega zobnika, ugotovil še pomembnost izbire ustrezne vrste materiala in primerne toplotne obdelave zanj,

Prišel sem do pomembnih ugotovitev in spoznanj, ki mi bodo koristile tudi pri mojem nadaljnjem delu na področju strojništva in zobniških gonil.

7 VIRI, LITERATURA

Flašker, J., Glodež, S., & Ren, Z. (2010). Zobniška gonila. Ljubljana: Pasadena.

Glodež, S. (2010). Tehnično risanje. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

<http://si.maedler.de/product/1643/1618/1034/1035/stirnzahnraeder-aus-edelstahl-gerade-verzahnt-modul-15>. (11. 7 2017). Pridobljeno iz Maedler: <http://si.maedler.de/product/1643/1618/1034/1035/stirnzahnraeder-aus-edelstahl-gerade-verzahnt-modul-15>

<http://si.maedler.de/product/1643/1618/2133/stirnzahnraeder-stahl-schraeg-verzahnt-rechts-und-links-modul-1>. (11. 7 2017). Pridobljeno iz Maedler: <http://si.maedler.de/product/1643/1618/2133/stirnzahnraeder-stahl-schraeg-verzahnt-rechts-und-links-modul-1>

<http://www.arrowgear.com/products/internal-spur-gear.jpg>. (5. 7 2017). Pridobljeno iz Arrow Gear Company: <http://www.arrowgear.com/products/internal-spur-gear.jpg>

<http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/shaft-housing-tolerances-fits/index.html>. (10. 7 2017). Pridobljeno iz SKF: <http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/radial-location-bearings/shaft-housing-tolerances-fits/index.html>

Kraut, B., Puhar, J., & Stropnik, J. (2011). Krautov strojniški priročnik. Ljubljana: Littera picta.

Lastna raziskava. (2017).

Podlesnik, M. (1981a). Gonila z valjastimi zobniki 1.del. Ljubljana: Dopolna delavska univerza Univerzum.

Podlesnik, M. (1981b). Gonila z valjastimi zobniki 2. del. Ljubljana: Dopolna delavska univerza Univerzum.

TOS ČELÁKOVICE n. p. (1964). Pogonsko navodilo za stroj TOS FO-6. ČELÁKOVICE: TOS ČELÁKOVICE n. p.

WILHELM FETTE GMBH. (1997). FETTE Verzahnungswerkzeuge. Schwarzenbek: WILHELM FETTE GMBH.

Zupanič, F., & Anžel, I. (2007). Gradiva. Maribor: Fakulteta za strojništvo Maribor.