



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Механички преносници

Број индекса: 32/2014

Никола Н. Богдановић

Прорачун зупчасто каишног преносника бицикла са мотором

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Блажа Стојановић, доцент - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- да основне информације о зупчасто каишним преносницима,
- изврши поделу зупчастих каишева на основу профила,
- прикаже главне начине производње зупчастих каишева,
- изврши прорачун зупчастог каишног преносника бицикла са мотором.

Препоручена литература:

[1] Б. Стојановић, М. Благојевић, Механички преносници, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2015. године.

[2] С. Танасијевић, Механички преносници, ланчани преносници, зупчасти каишни преносници, кардански преносници, Машински факултет Крагујевац, 1994. године.

[3] Каталог произвођача зупчастих каишних преносника.

Крагујевац, 2017.

ментор:

Др Блажа Стојановић - доцент

Резиме: Зупчасти каишни преносници спадају у синхроне преноснике. Пријењују се за повезивање вратила која се налазе на великом осном расатојању. Одликују се изузетно малим шумом у експлоатационим условима, као и минималном потребом за одржавањем. Своју примену нашли су у готово свим гранама индустрије. Најпознатија примена зупчастог каишног преносника је у аутоиндустрији, иако је то само мали део целокупне примене зупчасти каишних преносника. У оквиру завршног рада, дате су основне карактеристике зупчасти каишних преносника, као и историја развоја самог преносника. Извршен је и прорачун да би се утврдило, да ли зупчасти каиш стандардног профила може да замени специјално дизајниран зупчасти каиш за бицикл са електричним мотором. Такође, разматрано је и како ће замена специјалног зупчастог каиша утицати на цену производње самог бицикла.

Кључне речи: зупчасти каиш, зупчасти каишник, преносник снаге, бицикл.

Abstract: Timing belt belong to the group of synchronous belt drives. Their main purpose is to connect the shafts on a large axial distances. The main characteristic of timing belt drives is very low noise in exploitation conditions, as well as minimal maintenance requirements. They found their application in almost all industries. The most common use of the timing belt drives is in the auto industry, although this is only a small part of the overall application of the toothed belt drive. Within this paper, the basic characteristics of the toothed belt drives are given, as well as the history of the development of the drive unit itself. A calculation has also been made to determine if the standard timing belt can replace the specially designed toothed belt for a bicycle with an electric motor. Also, it is also taken into considerations how will the replacement of the special timing belt will affect the production cost of the bike itself.

Key words: timing belt, timing belt pulley, power drive, bicycle.

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

32/2014, Никола Богдановић

Садржај:

1. УВОД	2
2. ЗУПЧАСТИ КАИШНИ ПРЕНОСНИЦИ	4
2.1 Историја зупчастих каишних преносника	5
2.2 Делови зупчастог каиша	7
2.3 Подела зупчастих каишева	8
2.3.1 АТП профил	9
2.3.2 АТ профил	9
2.3.3 Т профил	10
2.3.4 К профил	10
2.3.5 БАТ профил	11
2.3.6 СФАТ профил	11
2.3.7 АТК/ТК профил	12
2.3.8 Стреласти (<i>Eagle</i>) профил	12
2.4 Производња зупчастих каишева	13
2.4.1 Ливени затворени зупчасти каишеви	13
2.4.2 Отворени екструдирани зупчасти каиш	14
3. ЗУПЧАСТИ КАИШНИЦИ	16
4. ПРОРАЧУН ЈЕДНОГ ЗУПЧАСТОГ КАИШНОГ ПРЕНОСНИКА	19
4.1 Прорачун за зупчасти каиш Т10	20
4.2 Прорачун за зупчасти каиш Т5	24
5. АНАЛИЗА ПРОРАЧУНА	29
6. ЗАКЉУЧАК	31
7. ЛИТЕРАТУРА	33

1. Увод

Механички преносници су склопови који имају задатак да пренесу снагу, обртни момент или кретање са погонске машине (погонског мотора или претходног преносника) на радну машину или извршни уређај. Механички преносници, такође врше и трансформацију улазних параметара снаге, обртног момента, броја обртаја и прилагођавају их потребним излазним карактеристикама [1].

У зависности да ли се од преносника захтева трансформација улазних карактеристика и прилагођавање прописаним карактеристикама радне машине, или се само преносе карактеристике како би се премостило осно растојање, разликујемо следеће преноснике:

- редукторе (преносни однос $i > 1$),
- мултипликаторе (преносни однос $i < 1$) и
- линијске преноснике. [2]

Редуктори, као што сам назив говори, редукују улазне величине, обично су то број обртаја, угаона брзина и снага како би се повећала вредност излазног обртног момента. Код мултипликатора, је обрнут случај, они повећавају излазну вредност брзине и броја обртаја, док смањују вредност обртног момента. Линијски преносници не врше трансформацију вредности величина. Њихов задатак је, да се премосте разлике осног растојања вратила као и промена смера обртања вратила.

Свој принцип рада заснивају на преносу снаге, обртног момента и кретања посредством везе облика (зупчасти, ланчани, зупчасто каишни преносници,...) и трењем (фрикциони и каишни преносници). Како би се усвојио одговарајући механички преносник, потребно је познавати, како карактеристике погонске и радне машине, тако и експлоатационе услове.

Уколико је потребно да преносник буде малих димензија, великог степена искоришћења, малог шума при раду, онда су прва опција за одабир зупчасти преносници, који су и најзаступљенији преносници у машинству. Ако је положај вратила променљив у току експлоатације машине, или се вратила секу под одређеним углом, користи се кардански преносник. За потребе остваривања преноса међу вратилима која се налазе на већем осног растојању, а притом је потребно остварити константни преносни однос, користе се ланчани или зупчасто каишни преносници.

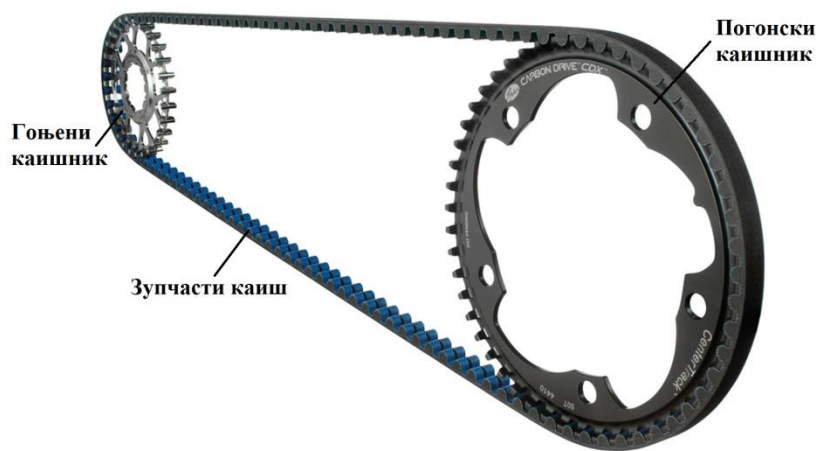
Зупчасти преносници, као што је већ напоменуто имају најширу примену, и могу бити зупчасти парови са правим, косим, хеликоидним зупцима. Такође у зависности од положаја оса вратила деле се на:

- цилиндричне - осе вратила су паралелне,
- коничне – осе вратила се секу под неким углом и
- хиперболоидне – осе вратила се мимоилазе[1].

Ланчани преносници датирају још из доба Византије, где су коришћени као механизми за затезање војног оружја (самострел), и упоредо са развојем машинства развијао се и ланчани преносник. Ланчани преносник може пренети изузетно велике обртне моменте и остварити сталан преносни однос. Може се остварити пренос снаге на више од два вратила уколико је то потребно. Недостатак ланчаних преносника је велика бука при експлоатацији, интензивно хабање ланца и ланчаника услед неадекватног одржавања, као и услов да се вратила налазе у хоризонталном положају како би преносник несметано функционисао.

2. Зупчасти каишни преносници

Ови преносници представљају комбинацију ланчаних и зупчастих преносника. Зупчасто каишни преносници спадају у групу синхроних преносника снаге, из разлога што се спрезањем профила зупца каиша и каишника остварује константан преносни однос, за разлику од каишних (ремених) преносника [3]. Један зупчасто каишни преносник се састоји из погонског и гоњеног каишника, као и озубњеног каиша који преноси снагу са једног на други каишник (слика 1).



Слика 1. Каишни преносник бицикла Калкхоф Интеграле и8

За разлику од ланчаних преносника, који се такође одликују особином да премосте велика међуосна растојања погонског и гоњеног вратила, зупчасти каишни преносници, иако су релативно нови преносници заступљени у машинству, мање су захтевни за одржавање. Основне карактеристике зупчастих каишних преносника су [1]:

- мало клизање,
- синхроност преносника (остварују константан преносни однос),
- релативно ниска цена одржавања због одсуства додира металних делова, па није потребно подмазивање,
- могућност преноса великих снага (до 400 kW),
- мало загревање,
- мали габарити преносника,
- низак ниво шума и
- велики степен искоришћења.

Недостаци:

- скупа израда,
- осетљивост на продор страних тела и
- могућност прескакања каиша.

Иако се зупчasti каишни преносник највише везује за аутомобилску индустрију, то је заправо само 2% примене овог преносника [1]. Примењује се у текстилној индустрији, код склопова електричних уређаја, производним индустријама као погонски елементи роботских рука, разних конвејера,...

2.1 Историја зупчastих каишних преносника

Првобитни зупчasti каишни преносник конструисао је инжењер Ричард Кејс (*Richard Y. Case*) 1946. године. Намена овог каишног преносника је да се оптимизује производња у текстилној идуcтрији. Први зупчasti каиш имао је трапезни облик зуба, замишљен је као замена за, до тада у употреби, каиш са металним прстеновима, (слика 2).



Слика 2. Каиш са металним прстеновима

Овом иновациом, умногоме је смањен ниво буке и вибрација приликом рада на шиваћој машини, а такође повећана поузданост каиша.

Прва компанија која креће да производи зупчaste каишеве била је америчка компанија Униројал (*Uniroyal*) која креће са производњом 1960-их година. Убрзо након тога,

ова компанија креће са развојем зупчато каишног преносника са криволинијским профилмом зуба који се одликује способношћу да пренесе већа оптерећења (HTD – *High Tension Belt*). Убрзо након тога, зупчасти каишеви почињу да се производе у Европи. 1950. године, Немачка компанија Мулко (*MULCO Group*) почиње са производњом зупчастих каишева са метричким кораком, а европска фирма Пирели (*Pirelli*) избацује на тржиште зупчасти каиш са параболичним обликом зупца 1986. године. Основни материјал за израду ових каишева био је полиуретан, тврдоће по Шор-у 90. Израђивали су се ливењем у калупима и били су ојачани челичним ужетом.

Своје место у аутомобилској индустрији, зупчати каишни преносник налази када је представљен аутомобил *Глас 1004*, 1961. године. Овај немачки аутомобил, који је производила компанија *Hans Glas GmbH*, на свом редном четворо-цилиндарском мотору први пут примењује зупчати каишни преносник, компаније Мулко, за погон брегастог вратила [4].

Крајем шездестих година 20-ог века, креће масовна примена зупчастог каиша у аутомобилској индустрији. Мотори са унутрашњим сагоревањем на којима је до тада, за погон брегастог вратила коришћен ланчани или зупчати преносник, модификовани тако да уместо њих користе зупчато каишни преносник са или без затезача. Постепена експанзија узима маха седамдесетих година, када се појајвљује Фолцвагенов модел Голф серије 1 (слика 3), који је дизајнирао италијан Ђиорђето Ђуђаро, а инжењерски тим из Фолсбурга прелази са застарелог ваздушно хлађеног бокстер мотора на редни четвороцилиндарски мотор са зупчато каишним погоном брегастог вратила и воденим хлађењем [1, 5].



Слика 3. *Фолцваген Голф серије 1 из 1974. године*

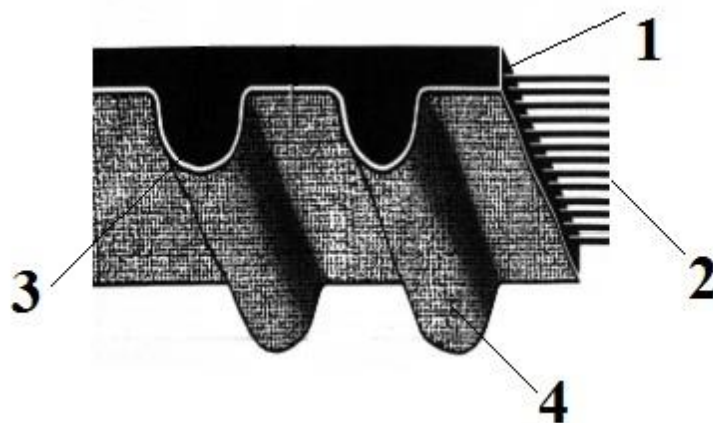
Даљи развој материјала, гуме и полимерних пластичних маса, омогућио је развој зупчастих каишева веома велике издржљивости, Данас, зупчасто каишни преносници, могу да пренесу снагу и до 400kW [1].

Водећи светски произвођачи зупчастих *каишева* су: Мицубоши (*MITSUBOSHI*), Гејтс (*Gates*), Континентал (*Continental*), Дајко (*DAYCO*), Мегадајн (*Megadayn*), Форбо (*Forbo*),...

2.2 Делови зупчастог каиша

Зупчасти каиш се састоји од 4 елемента који су кључни за пренос снаге. Елементи су направљени од синтетичких материјала, и сваки од њих даје одређену карактеристику каишу. Делови зупчастог каиша су, (слика 4):

- леђна површина (1).
- вучни елемент (2),
- зупци каиша (3),
- омотач (4). [1]



Слика 4. Делови зупчастог каиша

Леђна површина зупчастог каиша израђује се изједна са зупцима. Има улогу заштите вучног елемента од нежељених спољашњих фактора. Материјали који се користи за израду зубаца и леђне површине су најчешће пластичне масе као што су природни каучук, неопрен и полиуретан. Ове пластичне масе користе се из разлога што су више отпорне на хабање [1].

Вучни елемент је хеликоидно намотано непрекидно уже одређеног корака које омогућава сам пренос обртног момента и снаге. Од овог основног елемента каиша очекује се велика отпорност на савијање, уздужна крутост, као и дуг век трајања.

Материјали од којих се израђује вучни елемент су:

- спирално намотане челичне жице,
- уже од намотаних стакло-vlakана,
- полиестерско уже.

Зупци и леђна површина чине једну целину. Захтевају већу отпорност на смицање због свог положаја и кинематике. Као и код конвенцијалних зупчастих преносника, како би се обезбедило несметано спрезање, зупци морају бити израђени са великом прецизношћу и тачном поделом. Постављају се тако да се, приликом савијања каиша лучни корак не мења [1, 6].

Омотач се израђује од еластичне тканине капрона, док се пластични каишеви превлаче најлоном због малог коефицијента трења. Има улогу да смањи хабање зупчастог каиша. У нормалним условима рада, омотач има дужи век трајања од осталих елемената каиша.

2.3 Подела зупчастих каишева

Зупчасти каишеви су због, захтева високе прецизности израде, данас ригорозно стандардизовани машински елементи. Свака мера каиша мора бити по прописима и у прописаним границама. Каишеви се израђују у метричким и цоловним мерама. Метрички каиш није компатибилан за каишнике са цоловним мерама и обрнуто. Каишеви, се такође израђују као двострани. Зупци су постављени тако да, каиш може променити смер других вратила која су са њиме у спрези. Конструкција каиша је таква, да су зупци постављени наизменично на леђној површини како би се задржала носивост каиша [6].



Слика 5. Двострани зупчасти каиш

Данас се од каишева захтева веома дуг радни век, велика носивост и јако мали шум при експлоатацији. Код каишева који преносе велике снаге, увек се тежи усавршавању профила зупца ради несметаног спрезања зубаца, као и коришћењу материјала отпорних на хабање приликом рада преносника.

Савремени каишеви се израђују од полиуретана и вучног елемента израђеног од челичне, хеликоидно намотане жице како би се смањило издужење каиша [1].

Најчешћа подела каишева врши се према облику профила зупца каиша. У зависности од намене и експлоатационих услова рада машине са зупчасто каишним преносником, израђују се и примењују се каишеви различитих профила зупца [1].

2.3.1 АТП профил

Каиш АТП профила зупца се користи код машина алатки, грађевинских машина и код преносника који преносе велике снаге. Овај профил (слика 6) заснован је на каишу трапезног профила зупца, с тим да је зубац каиша подењен на два независна зупца. Експлоатационе карактеристике овог профила су знатно смањен шум приликом рада преносника и изражено повећана носивост самог каиша, захваљујући вучним елементима од побољшаног челика. Израђује се, искључиво са кораком од 10 и 15 mm. Конструисао га је Вилхелм Херн (*Wilhelm Hern*) 1992. године и производи га фирма Мулко [6].



Слика 6. АТП профил каиша

2.3.2 АТ профил

АТ каиш је у основи каиш са трапезним обликом зупца који је заобљен на ивицама. Настао је повећањем ширине зупца каиша са Т профилем. Повећањем ширине зупца и применом вучног елемента од побољшаог челика, добила се за 30% већа носивост каиша. Користе се код машина алатки код којих је потребно прецизно позиционирање (CNC машине) [7] и тачан пренос обртног кретања. Примена је јако распрострањена и израђује се у широком спектру корака (слика 7).



Слика 7. Каиш АТ профила [7]

2.3.3 Т профил

Зупчасти каиш са димензијама у метричком систему јединица по стандарду DIN 7721. Израђује се као једностран и као двострани са корацима 2; 2,5; 5; 10 и 20 *mm*. Зупчасти каиш са Т профила је преносник са трапезним профилем зупца.

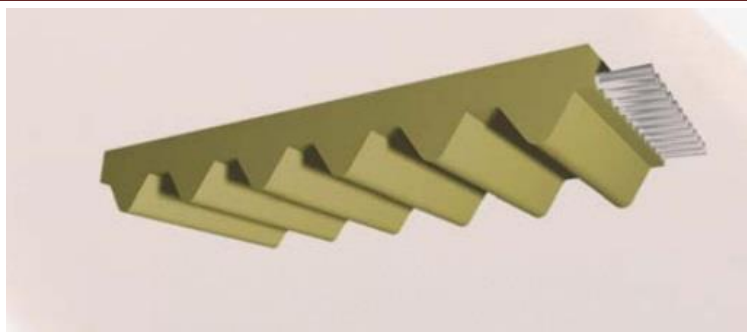


Слика 8. Каиш Т профила зупца

2.3.4 К профил

Каиш троугластог профила зупца. Савремени дизајн зупчастог каиша чији попречни пресек профила зупца представља једнакократи троугао заобљеног врха (слика 9) који заклапа угао од $\beta=70^\circ$. Користи се код канцеларијских електронских уређаја као што су штампач, плотер и фотоапарата [8]. Према стандарду производи се са корацима од 1 и 1,5 *mm*. Карактеристике каиша са К прафилом зупца су:

- мала маса,
- велика отпорност на хавање,
- велика фелксибилност,
- добра отпорност на негативни утицај спољашних фактора и
- јефтино одржавање [1].



Слика 9. К профил зупца

2.3.5 БАТ профил

Каишеви са БАТ профилима се израђују од полуретана са вучним елементом израђеним од челичних влакана. Главна карактеристика им је то што су зупци трапезног попречног пресека, лучно заобљени тако да, приликом израде каишника није потребно размишљати и о изради ободног прстена (слика 10). Развијен је 1990. године и производи га искључиво фирма Мулко [8]. Производи се само са кораком од 10 *mm*.



Слика 10. БАТ профил каиша

2.3.6 СФАТ профил

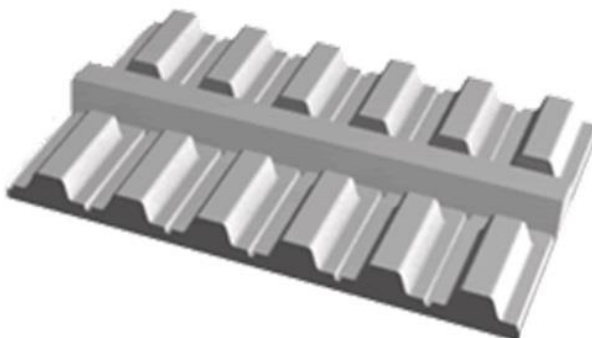
СФАТ профил каиша је у основи каиш са АТ профилем зупца. Разлика је у томе што је СФАТ каиш дворедни АТ каиш код кога су зупци померени за половину корака (слика 11), тако да наизменично улазе и излазе из спреге са каишником [1]. Овај профил се још назива и самонавођени профил јер не изискује израду ободног прстена код каишника [1, 7]. Доступан је са корацима од 10 и 20 *mm*. Примењује се у текстилној, грађевинској индустрији као и код машина алатки. Главна одлика овог профила је веома низак ниво шума приликом експлоатације [1].



Слика 11. СФАТ профил каиша

2.3.7 АТК/ТК профил

АТК/ТК профил је комбинација зупчастог и клинастог каиша. У основи овог каиша је АТ каиш са трапезним обликом зупца, постављеним у два реда. Између ова два реда зубаца постављен је елемент који се понаша као клинасти ремени преносник (слика 12).



Слика 12. АТК/ТК профил каиша

Овом изведбом каиша умногоме је повећана носивост каиша, тако да се првенствено користи код транспортних машина за транспорт материјала. Као и код осталих специјалних профила зупчастих каишева, ни код АТК профила није потребна израда ободног прстена на каишнику. Израђује се само са кораком од 10 mm[1].

2.3.8 Стреласти (Eagle) профил

Овај профил је конструисан 1994. године у фирми Гуд Јир (Good Year). По својој конструкцији, највише подсећа на зупчасте преноснике са стреластим зупцима. Зупци су распоређени у два реда наизменично, са размаком величине пола корака [6]. Оба реда су зубаца су постављена симетрично под углом, тако да образују стреласту „шару“ (слика 13). Имају могућност самопоравнавања у оба смера кретања и далеко мањи шум од осталих специјалних профила каишева. Израђују се од синтетичке гуме, а вучни елемент је направљен од побољшаног челика [6].



Слика 13. Стреласти профил каиша

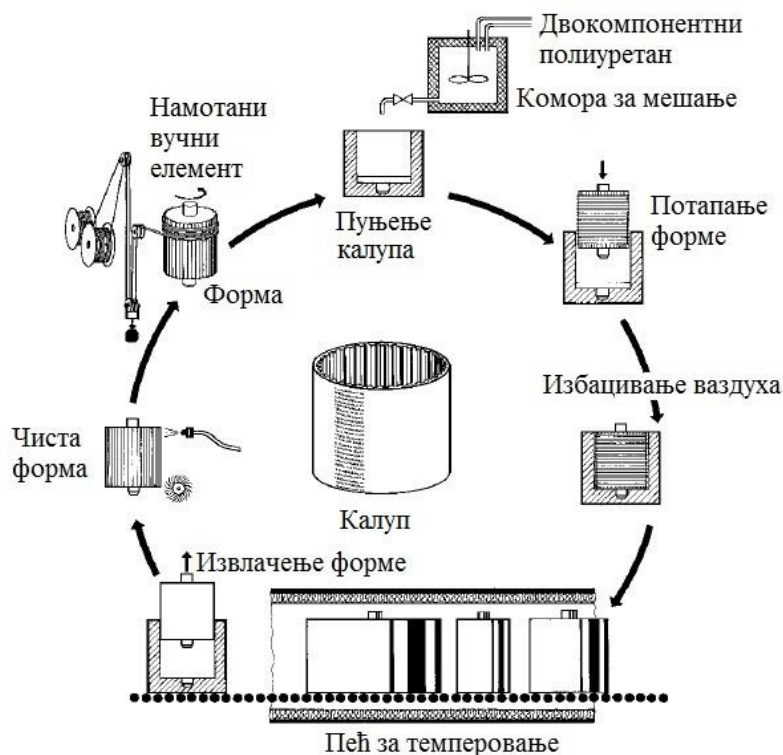
2.4 Производња зупчастих каишева

Зупчасти каишеви се производе ливењем у калупима или екструдирањем. У зависности од задатка који је потребно да обаве, да ли је то пренос изузетно великих снага и обртних момената, или прецизно позиционирање, бирају се различити материјали за израду вучних елемената као и еластомери. Сам процес производње каишева умногоме зависи од избора материјала, како би се одабрао тачан редослед операција и како би се омогућиле и задржале карактеристике каиша које су од њега захтеване. Избор еластомера (пластичних маса) такође доста утиче на то, да ли ће се каиш производити као отворени каишни преносник (димензије иду на метар, накнадно се спајају крајеви) за покретне траке или као затворени каиш за пренос великих обртних момената.

2.4.1 Ливени затворени зупчасти каишеви

Постоје каишеви од мешавине полиуретана који се лију у калупима. Ова мешавина полиуретана има јако малу вискозност и погодна је за ливење. Још једна карактеристика мешавине је та што каиш може да поднесе велике деформације и да се након растерећења врати у првобитни облик.

Ливење затвореног каиша се врши тако што се вучни елемент од хеликоидно намотане жице, намотава на такозвану форму која представља назубљени цилиндар. Намотана форма се након тога спушта у калуп, који може бити назубљен са унутрашње стране, уколико је у питању двострани зупчасти каиш. Калуп се потом пуни полиуретанском мешавином у који се урања форма. Потапање форме у саму мешавину помаже избацивању заробљеног ваздуха у мешавини. Након затварања, калуп пролази кроз пећ која темперује каиш и „умирује“ материјал (слика 13). Када се форма охлади, она се вади из калупа где следи сечење каишева на жељену ширину и финална обрада каиша, испитивања тврдоће и издржљивости каиша [6].

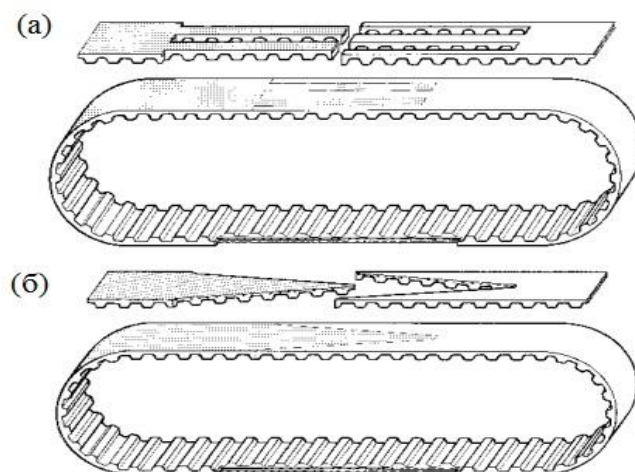


Слика 14. Процес израде каиша

2.4.2 Отворени екструдирани зупчасти каиш

Процес производње отворених каишева је далеко једноставнији. Влакна вучних елемената се не намотавају на форму, већ су паралелно распоређена дуж производне траке, паралелне са ивицом каиша. Растопљени полиуретан се доводи између два точка, од којих је један назубљен профилем каиша (код двостраног каиша, оба точка садрже профил каиша), који га притискају око влакана и истискују изван калупа. Даље овај каиш пролази кроз пећ, која пече каиш на температури од 180°C . Затим следи обрада ивица каишева, сечење на жељену ширину и дужину. Потом иде хлађење на намотаним шпулнама. Ови каишеви се производе у свим корацима са максималном ширином од 150 mm [1].

Спајање отворених каишева врши се заваривањем. Крајеви каишева се посебно обраде (слика 15), пре заваривања како би се створила већа контактна површина. Потом се два краја стављају између две плоче од којих је једна равна, због леђне површине а друга назубљена. Припремљени крајеви се спајају и потом под притиском заварују [6].



Слика 15. Спајање каиша, (а) П-спој, (б) В-спој

Приликом заваривања не јављају се промене у кораку, као ни скраћење жељене дужине каиша.

Последњих година, компанија Бреко (*BRECO*) развила је нови метод спајања зупчастих каишева који не захтевају заваривање. Метод се своди на П-спој, као код заваривања, само што се спој остварује уметањем осовиница кроз зупце спојених страна (слика 16). На тај начин, омогућује се велика савитљивост каиша, изузетно лака замена и оджавање зупчастог каишног преносника [6].



Слика 16. Механички спој каиша

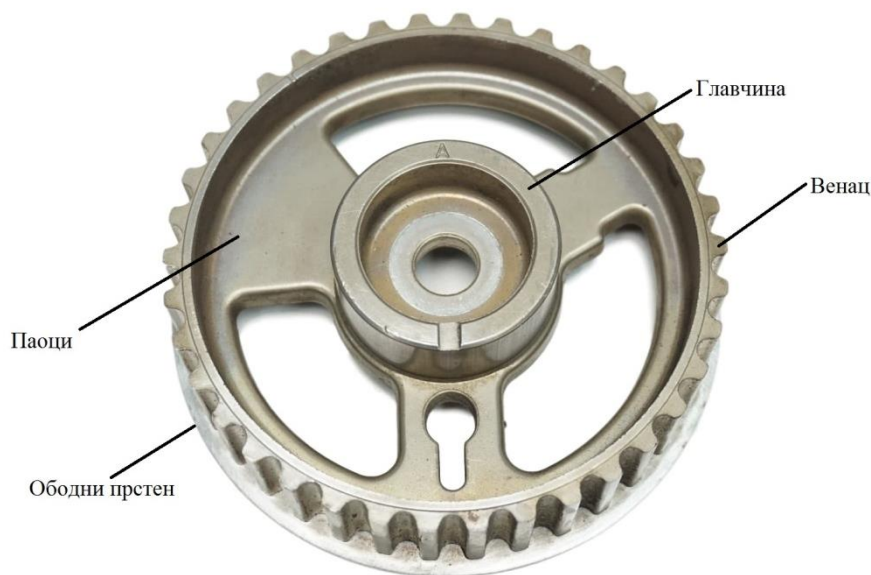
3. Зупчасти каишници

Зупчасти каиш са каишницима (ременицама) чини заједно зупчасти каишни преносник. Каишник је елемент преносника који преноси обрно кретање са каиша на вратила (слика 17). Каишник игра важну улогу код самог преносника, почевши од исправног избора каишника како би се остварио жењени преносни однос и синхроност преносника, до саме конструкције каишника [1, 6].

Као и зупчасти каишеви, каишници се међусобно разликују. Израђују се тако да зупци каиша несметано улазе и излазе из спреге са занемарљивим трењем. Исправна спрега настаје зато што међузубља каиша имају одређене, толерисане зазоре. Зазори такође компензују нагомилавање грешака теменог пречника и искошења оса вратила.

Сваки каишник се састоји из:

- венца,
- главчине,
- плоче или паока, која спаја венац са главчином и
- ободног прстена [1].



Слика 17. Зупчасти каишник мотора СУС

Каишници се могу израђивати са или без ободног прстена, у зависности да ли је, при експлоатационим условима потребан. Прстен се може израђивати само са једне или са обе стране [1].

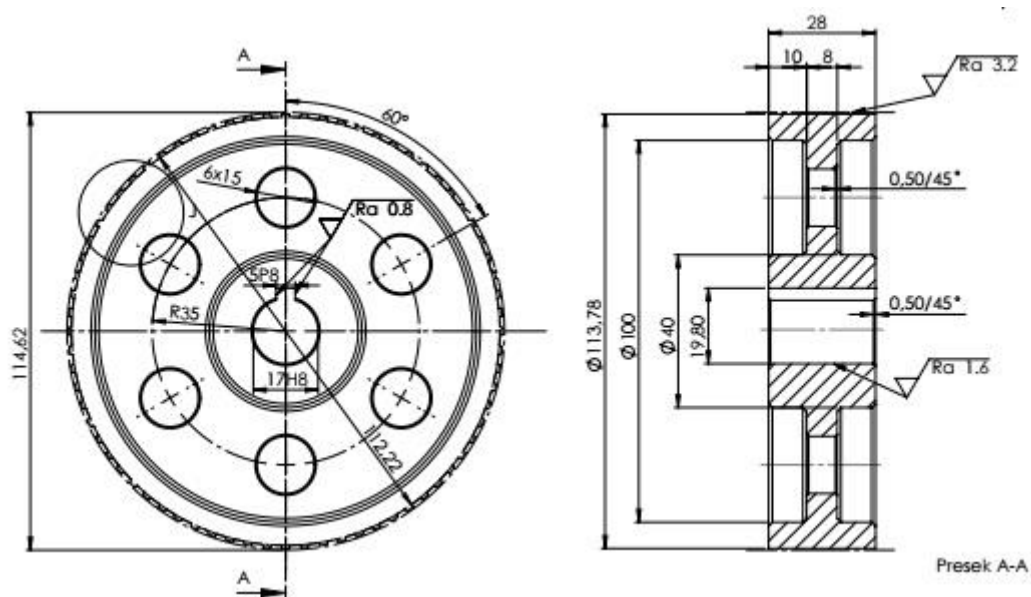
Ободни прстен служи да би се спречило спадање каиша са каишника. Приликом израде, препорука је да се ободни прстен израђује на погонском каишнику уколико је осно

растојање веће од 8 пречника погонског каишника [1]. Могу се израдити изједна са каишником, док се код већих пречника причвршћују закивцима и завртњевима.

Унутрашња страна ободног прстена је конусна, како би се спречило спадање каиша са каишника. Често се, приликом израде каишника, након глодања зубаца, и обраде венца, остављају благо подигнути зупци на крајевима, који служе као ободни прстен. Предност овог поступка је та, што приликом спрезања зубаца каиша и каишника, ваздух лакше напушта међузубље.

Каишници мањих пречника, најчешће се израђују као једноделни, док се већих пречника израђују као дводелни или вишеделни. Венац може бити израђен заједно са плочом и главчином, уколико се каишник добија поступком ливења [1]. У супротном, он се на главчину спаја паоцима или плочом, која је симетрично избушена ради смањења масе преносника.

Каишници могу бити симетрични и асиметрични. Симетричност каишника зависи од положаја главчине (слика 18).



Слика 18. Технички цртеж симетричног каишника

Код остваривања споја главчине и вратила, мора се водити рачуна о толеранцијама мера и налегањима. Најчешће се користи лабаво налегање толеранцијског поља H . Пренос снаге и обртног момента се са каишника на вратило остварује посредством клина (слика 18), а у неким специјалним случајевима се користи и веза обликом, где вратило и отвор на главчини каишника имају специфичне облике [2].

Каишници се израђују поступком ливења под притиском у калупима. Зупци се потом наредују на каишник специјалним профилисаним глодалима. Код израде каишника јако велики утицај на миран рад и дуг век трајања има обрађена површина као и тачност корака.

Како би зупци каиша несметано улазили и излазили из спреге, глава зупца каишника је благо заобљена [1].

Материјали који су највише у употреби за израду каишника су: челик, алуминијумске легуре, ливено гвожђе. При великосеријским производњама, најпримењиванији материјал за израду каишника су цинк и легуре алуминијума, међутим, метални каишници имају велику масу, па се све више тежи употреби пластичних маса као материјала. Највише су у употреби: поликарбонат, ацетал, лексан 500, стаклена влакна (армирана) и делрин 500 [1]. Предност употребе пластичних маса и композита је далеко мања маса при великим димензијама каишника, али лоша страна је изузетно мања носивост у односу на металне преноснике (слика 19).



Слика 19. Метални и каишници направљени од пластичних маса

4. Прорачун једног зупчастог каишног преносника

Како бисмо извршили анализу, потребно је усвојити зупчасти каишни преносник бицикла. Бицикл који, као погонски елемент користи зупчasto каишни преносник, јесте Калкхоф Интеграле и8 (*Kalkhoff Integrale i8*) производи Немачка фирма Калкхоф (слика 20). Овај бицикл, поред педала, има и уграђени електрични мотор снаге 250 W, максималног броја обртаја 175 min^{-1} , са максималним обртним моментом од 100 Nm са паметним системом за промену брзина [9, 10, 11].

Као погонски систем, користи зупчasto каишни преносник са два каишника, погонски (већи) и гоњени (мањи). Ланчани погон је, иако је и данас у употреби, замењен зупчастим каишним преносом због изузетно малог одржавања [9]. Није потребно подмазивање као и заштита од спољашњих утицаја који могу да изазову корозију ланца. Вучни елемент каиша израђен је од стаклених влакана, док су леђна површина и зупци израђени од полиуретана [12]. Каиш је превучен најлоном како би се смањило трење. Попречни пресек зубаца је полукруг.



Слика 20. Бицикл Калкхоф Интеграле и8

Погонски каишник (предњи) има 60 зубаца, гоњени 20, а зупчасти каиш 113. Ознака каиша је 113T CDN и производи га фирма Гејтс [9, 12].

Циљ овог прорачуна јесте да утврдимо, да ли неки од стандардних профила каишева може да задовољи захтеве. Као замену за овај каиш специјалне намене, усвојићемо каиш Т

профила, проверити његову носивост и утврдити да ли може да замени оригинални каиш, прописан од стране произвођача.

4.1 Прорачун за зупчасти каиш Т10

Полазни подаци:

- Снага електромотора (ЕМ) $P_{EM} = 0,25 [kW]$;
- Број обртаја електромотора $n_{EM} = 175 \text{ min}^{-1}$;
- Преносни однос $i = 0,33$;
- Врста радне машине – Бицикл са електричним погоном;

Избор каиша

За задате податке усваја се каиш Т10 са следећим подацима (табеле 4.3 и 4.5) [1]:

- корак каиша, $p = 10 \text{ mm}$;
- модул, $m = 3,183 \text{ mm}$;
- висина зупцаа, $h = 2,5 \text{ mm}$;
- скраћење главе зупца, $c = 0,92 \text{ mm}$;
- носивост каиша, $F_N = 720 \frac{N}{cm}$;

Усваја се:

Број зубаца погонског каишника, из конструкционих разлога, износи:

$$z_1 = 60$$

А број зубаца гоњеног зупчастог каишника добија се из преносног односа:

$$z_2 = i \cdot z_1 = 0,33 \cdot 60 = 19,8$$

Усвајам: $z_2 = 20$

4.1.1. Геометријски параметри зупчастог каишног преносника

4.1.1.1 Подеони пречници;

Подеони пречник погонски каишника,

$$d_{w1} = m \cdot z_1 = 3,183 \cdot 60 = 190,98 \text{ mm}$$

Подеони пречник гоњеног каишника,

$$d_{w2} = m \cdot z_2 = 3,183 \cdot 20 = 63,66 \text{ mm}$$

4.1.1.2 Темени пречници:

Темени пречник погонског зупчастог каишника,

$$d_{a1} = d_{w1} - 2 \cdot c = 190,98 - 2 \cdot 0,92 = 188,258 \text{ mm}$$

Темени пречник гоњеног зупчастог каишника,

$$d_{a2} = d_{w2} - 2 \cdot c = 63,66 - 2 \cdot 0,92 = 61,82 \text{ mm}$$

4.1.1.3 Подножни пречници:

Подножни пречник погонског зупчастог каишника,

$$d_{f1} = d_{w1} - 2 \cdot h = 190,98 - 2 \cdot 2,5 = 185,98 \text{ mm}$$

Подножни пречник гоњеног зупчастог каишника.

$$d_{f2} = d_{w2} - 2 \cdot h = 63,66 - 2 \cdot 2,5 = 58,66 \text{ mm}$$

4.1.1.4 Приближна вредност осног растоја

$$a \cong (0,5 \div 2) \cdot (d_{w1} + d_{w2}) = 1,65 \cdot (190,98 + 63,66) = 419,94 \text{ mm}$$

4.1.1.5 Обвојни угао:

$$\alpha = \arcsin \frac{|d_{w2} - d_{w1}|}{2 \cdot a} = \arcsin \frac{|63,66 - 190,98|}{2 \cdot 419,94} = 8,67^\circ$$

Обвојни угао каиша,

$$\beta_1 = 180^\circ - 2\alpha = 180^\circ - 2 \cdot 8,67^\circ = 162,66^\circ$$

4.1.1.6 Рачунска дужина каиша:

$$\begin{aligned} L_{wr} &= 2 \cdot a \cdot \cos \alpha + \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) + \frac{p \cdot \alpha}{180} \cdot (|z_2 - z_1|) \\ &= 2 \cdot 419,94 \cdot \cos 8,67^\circ + \frac{10}{2} \cdot (60 + 20) + \frac{10 \cdot 19,4}{180} \cdot (|20 - 60|) \\ &= 1233,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Рачунска дужина каиша, $L_{wr} = 1233,98 \text{ mm}$

4.1.1.7 Рачунски број зубаца каиша:

$$z_{kr} = \frac{L_{wr}}{p} = \frac{1233,98}{10} = 123,398$$

Усваја се рачунски број зубаца каиша: $z_{kr} = 124$ (табела 4.4)[1]

4.1.1.8 Стварна дужина каиша одређује се на следећи начин:

$$L_w = z_k \cdot p = 124 \cdot 10 = 1240 \text{ mm}$$

4.1.1.9 Стварно осно растојање:

$$\begin{aligned} a &= 0,25 \cdot \left[L_w - \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) + \sqrt{\left(L_w - \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{p}{\pi} \cdot (|z_2 - z_1|) \right)^2} \right] = \\ &= 0,25 \cdot \left[1240 - \frac{10}{2} \cdot (60 + 20) + \sqrt{\left(1240 - \frac{10}{2} \cdot (60 + 20) \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{10}{\pi} \cdot (|20 - 60|) \right)^2} \right] \\ &= 417,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

Стварно осно растојање: $a = 417,56 \text{ mm}$

4.1.2.Ширина каиша:

4.1.2.1 Број зубаца у спреси:

$$z_o = z_1 \cdot \frac{\beta_1}{2\pi} = 20 \cdot \frac{162,66^\circ}{2 \cdot 180} = 9,03 \rightarrow z_o = 9$$

По препорукама из литературе [1], усваја се: $z_o = 9$

4.1.2.2 Потребна ширина каиша:

$$b = \frac{P \cdot C_A}{z_o \cdot P_N} = \frac{0,25 \cdot 10^3 \cdot 1}{8 \cdot 52,37} = 0,54 \text{ cm} \rightarrow b = 5,4 \text{ mm}$$

Где су:

- Фактор радних услова (табела 3.4) [1]: $C_A = 1$;
- Јединична носивост каиша (табела 4.6) [1]: $P_N = 52,37 \frac{W}{cm} \rightarrow$ (интерполација)

Усваја се: $b = 20 \text{ mm}$ (табела 4.2) [1].

4.1.3. Провера дозвољене затезне силе:

4.1.3.1 Обимна брзина:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{w1} \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 193,98 \cdot 175}{60 \cdot 1000} = 1,74 \frac{m}{s}$$

4.1.3.2 Обимна сила:

$$F_t = \frac{P}{v} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{1,74} = 143,52 \text{ N}$$

4.1.3.3 Дозвољена сила затезање каиша:

$$F_{doz} = \frac{F_N \cdot b}{C_A} = \frac{720 \cdot 2}{1} = 1440 \text{ N}$$

$$F_t \leq F_{doz} = 1440 \text{ N} > F_t = 143,52 \text{ N}$$

4.1.3.4 Ободни прстенови:

Ободни прстенови се не усвајају на оба каишника због:

$$a < d_{w1}$$

$$d_{w1} = 63,66 \cdot 8 = 509,28 \text{ mm} \rightarrow a = 417,56 \text{ mm}$$

$$a = 417,56 \text{ mm} < 8d_{w1} = 509,28 \text{ mm}$$

Пречници ободног прстена:

- Спољашње пречник ободног прстена: $d_s = d_{a1} + (5 \div 9) \text{ mm}$
 $d_s = 188,258 + 7 = 195,258 \text{ mm},$
- Унутрашњи пречник ободног прстена: $d_u = d_{a1} - (3 \div 5) \text{ mm}$

$$d_u = 188,258 - 4 = 184,258 \text{ mm},$$

- Ширина ободног прстана: $e = (1,20 \div 2,10) \text{ mm} = 1,65 \text{ mm}$,
- Цела ширина ободног прстена: $t = (1,25 \div 3) \text{ mm} = 2 \text{ mm}$,
- Ширина каишника: $B = b + (4,5 \div 9) \text{ mm} = 20 + 6 = 26 \text{ mm}$,

4.2 Прорачун за зупчасти каиш Т5

Пошто каиш Т10, задовољава потребе прописане од стране произвођача, чак је и предимензионисан, проверићемо да ли ће каиш Т5 бити компатибилан и како ће драстична промена корака утицати на основне геометријске карактеристике каиша и каишника.

Полазни подаци:

- Снага електромотора (ЕМ) $P_{EM} = 0,25 \text{ [kW]}$;
- Број обртаја електромотора $n_{EM} = 175 \text{ min}^{-1}$;
- Преносни однос $i = 0,33$;
- Врста радне машине – Бицикл са електричним погоном;

Избор каиша

За задате податке усваја се каиш Т5 са следећим подацима (табеле 4.3 и 4.5) [1]:

- корак каиша, $p = 5 \text{ mm}$;
- модул, $m = 1,529 \text{ mm}$;
- висина зупцаа, $h = 1,2 \text{ mm}$;
- скраћење главе зупца, $c = 0,42 \text{ mm}$;
- носивост каиша, $F_N = 360 \frac{N}{cm}$;

Како бисмо задржали прописани преносни однос, искористићемо вредност подеоног пречника из претходног прорачуна како бисмо одредили број зубаца погонског ланчаника.

$$d_{w1} = m \cdot z_1$$

$d_{w1} = 190,98 \text{ mm}$, из овога следи да је:

$$z_1 = \frac{d_{w1}}{m} = \frac{190,98}{1,529 \text{ mm}} = 124,9$$

Усваја се број зубаца погонског каишника: $z_1 = 125$

Број зубаца гоњеног зупчастог каишника

$$z_2 = i \cdot z_1 = 0,33 \cdot 125 = 41,25$$

Усвајам: $z_2 = 41$

4.2.1. Геометријски параметри зупчастог каишног преносника

4.2.1.1 Подеони пречници;

Подеони пречник погонског каишника,

$$d_{w1} = m \cdot z_1 = 1,529 \cdot 125 = 191,25 \text{ mm}$$

Подеони пречник гоњеног каишника,

$$d_{w2} = m \cdot z_2 = 1,529 \cdot 41 = 62,69 \text{ mm}$$

4.2.1.2 Темени пречници:

Темени пречник погонског зупчастог каишника,

$$d_{a1} = d_{w1} - 2 \cdot c = 191,125 - 2 \cdot 0,42 = 190,285 \text{ mm}$$

Темени пречник гоњеног зупчастог каишника,

$$d_{a2} = d_{w2} - 2 \cdot c = 62,69 - 2 \cdot 0,42 = 61,85 \text{ mm}$$

4.2.1.3 Подножни пречници:

Подножни пречник погонског зупчастог каишника,

$$d_{f1} = d_{w1} - 2 \cdot h = 191,125 - 2 \cdot 1,2 = 188,75 \text{ mm}$$

Подножни пречник гоњеног зупчастог каишника.

$$d_{f2} = d_{w2} - 2 \cdot h = 62,69 - 2 \cdot 1,2 = 60,29 \text{ mm}$$

4.2.1.4 Приближна вредност осног растоја

$$a \cong (0,5 \div 2) \cdot (d_{w1} + d_{w2}) = 1,65 \cdot (191,125 + 62,69) = 418,9 \text{ mm}$$

4.2.1.5 Обвојни угао:

$$\alpha = \arcsin \frac{d_{w2} - d_{w1}}{2 \cdot a} = \arcsin \frac{191,125 - 62,69}{2 \cdot 418,9} = 8,81^\circ$$

Обвојни угао каиша,

$$\beta_1 = 180^\circ - 2\alpha = 180^\circ - 2 \cdot 8,81^\circ = 162,36^\circ$$

4.2.1.6 Рачунска дужина каиша:

$$\begin{aligned}
 L_{wr} &= 2 \cdot a \cdot \cos \alpha + \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) + \frac{p \cdot \alpha}{180} \cdot (|z_2 - z_1|) \\
 &= 2 \cdot 418,9 \cdot \cos 8,81^\circ + \frac{5}{2} \cdot (125 + 41) + \frac{5 \cdot 8,81^\circ}{180} \cdot (|41 - 121|) \\
 &= 1263,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Рачунска дужина каиша, $L_{wr} = 1263,47 \text{ mm}$

4.2.1.7 Рачунски број зубаца каиша:

$$z_{kr} = \frac{L_{wr}}{p} = \frac{1263,47}{5} = 252,694$$

Усваја се рачунски број зубаца каиша: $z_{kr} = 276$ [13]

4.2.1.8 Стварна дужина каиша одређује се на следећи начин:

$$L_w = z_k \cdot p = 276 \cdot 5 = 1380 \text{ mm}$$

4.2.1.9 Стварно осно растојање:

$$\begin{aligned}
 a &= 0,25 \cdot \left[L_w - \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) + \sqrt{\left(L_w - \frac{p}{2} \cdot (z_1 + z_2) \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{p}{\pi} \cdot (|z_2 - z_1|) \right)^2} \right] = \\
 &= 0,25 \cdot \left[1240 - \frac{5}{2} \cdot (125 + 41) + \sqrt{\left(1380 - \frac{5}{2} \cdot (125 + 41) \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{5}{\pi} \cdot (|41 - 125|) \right)^2} \right] \\
 &= 415,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Стварно осно растојање: $a = 415,78 \text{ mm}$

4.2.2.Ширина каиша:

4.2.2.1 Број зубаца у спреси:

$$z_o = z_1 \cdot \frac{\beta_1}{2\pi} = 20 \cdot \frac{162,36^\circ}{2 \cdot 180} = 9,02 \rightarrow z_o = 9$$

По препорукама из литературе [1], усваја се: $z_0 = 9$

4.2.2.2 Потребна ширина каиша:

$$b = \frac{P \cdot C_A}{z_0 \cdot P_N} = \frac{0,25 \cdot 10^3 \cdot 1}{9 \cdot 4,125} = 6,73 \text{ cm} \rightarrow b = 67,3 \text{ mm}$$

Где су:

- Фактор радних услова (табела 3.4) [1]: $C_A = 1$;
- Јединична носивост каиша (табела 4.6) [1]: $P_N = 4,125 \frac{W}{cm} \rightarrow$ (интерполација)

Усваја се: $b = 75 \text{ mm}$ (табела 4.2) [1].

4.2.3. Провера дозвољене затезне силе:

4.2.3.1 Обимна брзина:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{w1} \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 191,125 \cdot 175}{60 \cdot 1000} = 1,75 \frac{m}{s}$$

4.2.3.2 Обимна сила:

$$F_t = \frac{P}{v} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{1,75} = 142,85 \text{ N}$$

4.2.3.3 Дозвољена сила затезање каиша:

$$F_{doz} = \frac{F_N \cdot b}{C_A} = \frac{320 \cdot 7,5}{1} = 2400 \text{ N}$$

$$F_t \leq F_{doz} = 2400 \text{ N} > F_t = 142,85 \text{ N}$$

4.2.3.4 Ободни прстенови:

Ободни прстенови се не усвајају на оба каишника због:

$$a < d_{w1}$$

$$d_{w1} = 62,69 \cdot 8 = 501,52 \text{ mm} \rightarrow a = 415,78 \text{ mm}$$

$$a = 417,56 \text{ mm} < 8d_{w1} = 501,52 \text{ mm}$$

Пречници ободног прстена:

- Спољашње пречник ободног прстена: $d_s = d_{a1} + (5 \div 9) \text{ mm}$
 $d_s = 190,285 + 7 = 197,285 \text{ mm},$
- Унутрашњи пречник ободног прстена: $d_u = d_{a1} - (3 \div 5) \text{ mm}$

$$d_u = 190,285 - 4 = 184,258 \text{ mm},$$

- Ширина ободног прстана: $e = (1.20 \div 2.10) \text{ mm} = 1,65 \text{ mm}$,
- Цела ширина ободног прстена: $t = (1.25 \div 3) \text{ mm} = 2 \text{ mm}$,
- Ширина каишника: $B = b + (4,5 \div 9) \text{ mm} = 75 + 6 = 86 \text{ mm}$,

5. Анализа прорачуна

Као што се може закључити из самих прорачуна, могуће је заменити каиш 113T CDN, специјалне намене, који је произвођач овог бицикла специјално дизајнирао наменски за бицикл.

Извршен је прорачун за зупчасте каишеве трапезног профила, ознаке Т, корака 5 и 10 *mm*. Зупчасти каиш ознаке Т10, погоднији је за уградњу на бицикл, због своје мале димензије, али су оба каиша задовољила потребну носивост прописану од стране произвођача. У табели 1, приказане су израчунате вредности за каишеве за које је извршен прорачун.

Табела 1. Рачунске димензије зупчастих каишева Т5 и Т10

Каиш	Снага мотора [kW]	Обртни момент [Nm]	Корак каиша [mm]	Ширина каиша [mm]	Дужина каиша [mm]	Број зуба каиша	Обимна сила [N]	Носивост каиша [N]
113T CDN	0,25	100	11	10	1243	113	/	/
T5	0,25	100	5	75	1380	276	142,85	2400
T10	0,25	100	10	20	1240	124	143,52	1440

Из табеле 1 видимо, да носивости зупчастих каишева премашују рачунску обимну силу, за задате параметре више од 10 пута, тако да је и степен сигурности против кидања каиша (отказивања зупчастог каишног преносника) задовољен, чак и предимензионисан.

Зупчасти каиш профила Т10 би, у овом случају, био компатибилни за уградњу на овај бицикл. Првенствено због свог корака од 10 *mm*, који се врло мало разликује од корака оригиналног каиша, који је произвођач преписао. Након тога, ту је и дужина самог каиша и ширина, које су приближне вредностима зупчастог каиша 113T CDN. Једина ставка која, није готово иста са оригиналним зупчастим каишом 113T CDN јесте ширина зупчастог каиша Т10, која износи 20 *mm*. Ово је најмања стандардна вредност ширине зупчастог каиша Т10, у којој се он масовно производи. Такође постоји и опција наручивања од произвођача зупчастих каишева да се изради зупчасти каиш Т10 ширине 10 *mm*, који ће задовољити прописану носивост и такође омогућити компактност ове конструкције.

Зупчасти каиш Т5, по прорачуну такође задовољава израчунате вредности обимне силе, која се јавља приликом експлоатације ове конструкције преносника. Иако, због мањег

корака од 5 *mm*, изискује већи број зуба како би се задовољила потребна дужина каиша овог зупчастог каишног преносника, он по својој израчунатој ширини од 75 *mm* (стандардна каталошка вредност), носивошћу далеко премашује вредност обимне силе. Проблематика код овог зупчастог каиша је та, што због својих каталожних вредности дужина прописаних од стране произвођача, не постоји дужина које не изискује употребу затезног елемента, који компензује велику дужину каиша.

Још једна од мана зупчастог каиша ознаке Т5, је изузетно велика ширина каиша која је прорачуном добијена као резултат (чак 75 *mm*). Ово итекако неповољно утиче на компактност конструкције овог зупчasto каишног преносника. Гледано и са ергономских аспеката, јако би незгодно било уклопити педале, које код бицикла, морају бити симетрично постављене, и на одређеном рестојању, како би вожња овог бицикла била пријатна. Уколико, би се усвојио каиш овог профила, мање ширине, јер по каталозима, распон ширине каиша Т5 профила се креће од 10 до 100 *mm* [1], видећемо да би и ширина каиша од 10 *mm* задовољила захтеве произвођача.

Са економске тачке гледишта, примена стандардних профила зупчастих каишева би умногоме смањила трошкове производње, како зупчастог каишног преносника, тако и бицикла као самог производа. Уопште не би постојала потреба за израдом зупчастих каишева специјалних профила и специјалне намене. Зупчасти каишеви Т профила се масовно производе у многим компанијама, а са њима и зупчасти каишници свих димензија. Цену једног зупчasto каишног пара за овај бицикл можемо видети на слици 21.

FRONT PULLEY (CHAINRING)	60T	+\$ 95.00 AUD
	55T	+\$ 95.00 AUD
	50T	+\$ 95.00 AUD
	46T	+\$ 95.00 AUD
REAR SPROCKET	20T FOR SHIMANO 9 SPLINE, STAINLESS STEEL	+\$ 90.00 AUD
	22T FOR SHIMANO 9 SPLINE, STAINLESS STEEL	+\$ 90.00 AUD
	24T FOR SHIMANO 9 SPLINE, STAINLESS STEEL	+\$ 90.00 AUD
	21T, THREAD ON FIXED COG,	+\$ 85.00 AUD
	22T, FOR SHIMANO ALFINE/	+\$ 105.00 AUD
	24T, FOR SHIMANO ALFINE/	+\$ 105.00 AUD
		+\$ 104.00 AUD
BELT	113T	+\$ 85.00 AUD

Слика 21. Цене погонског и гоњеног зупчастог каишника као и зупчастог каиша (зелено)[9]

Из приложене слике се може видети да су цене елемената овог зупчasto каишног преносника изузетно високе, само за зупчасти каиш је потребно издвојити 85 долара [9], док цена зупчастог каиша профила Т5 креће од 9,45 долара [14].

6. Закључак

Зупчасто каишни преносници спадају у групу синхроних преносника због константног преносног односа. Пренос снаге се преноси посредством везе облика, односно спрезањем зубаца зупчастог каиша и каишника. Користе се код преносника, код којих је потребно премостити велика осна растојања вратила, као за повезивање већег броја вратила или промену смера обртања истих.

Историјски развој зупчастих каишева креће са развојем текстилне индустрије, када се из употребе избацује каиш са металним прстеновима, који је коришћен на шиваћим машинама. Експанзија у примени у аутомобилској индустрији креће 70-их година 20. века, када се увиђа пун потенцијал зупчастог каишних преносника.

Зупчасти каишеви се израђују као једностранни или двострани. Двострани се користе код повезивања више вратила или код промене смера обртања одређеног вратила радне машине. Производе се као каишеви затвореног или отвореног типа. Код затвореног типа зупчастог каиша број зубаца и душина су коначни и стандардизовани, док су каишеви отвореног типа доступни у било којој потребној дужини и накнадно се спајају механички или заваривањем. Материјали за израду зупчастих каишева су полимерни пластични материјални, а најзаступљенији је полиуретан. Вучни елемент каиша је смештен унутар каиша, између леђне површине и зубаца, и он омогућава изузетно велику носивост каиша. Најчешће је израђен од хеликоидно намотаног ужета стаклених влакана. Каиш је обложен материјалом са јако малим коефициентом трења како би се смањило хабање зубаца приликом уласка у спрегу.

Профили зубаца каиша су делови који су прописани стандардом. У зависности од намене преносника, користе се различити профили зубаца. Постоје и профили зубаца каишева специјалне намене, који се одликују посебним карактеристикама, као што су заобљени (БАТ профил) или зупци постављени у два реда наизменично (СФАТ профил).

Зупчасти каишници су такође стандардизовани елементи зупчастог каишног преносника. Израђују се као једноделни или вишеделни, у зависности од габаритних димензија каишника. Добијају се ливењем у калупима под притиском, па се након тога, машински обрађују специјалним профилисаним глодалима како би мере биле у прописаним толеранцијама. Приликом израде, потребно је омогућити несметан улазак и излазак из спреге зупца каиша са зупцем каишника. Материјали који се користе за израду зупчастих каишника су металне легуре и пластичне масе.

Данас се све више тежи изнајавењу јефтинијих метода за израду зупчастих каишних преносника, како би се оптимизирала производња и снизила цена производа. Све више су у употреби композитни материјали попут угљеничних и стаклених влакана, како за израду зупчастих каишника тако и за израду самих зупчастих каишева.

Приликом израде прорачуна, проверили смо да ли је могуће заменити специјално дизајниран зупчасти каиш за овај бицикл, стандардним каишем Т профила. При прорачуну смо користили каишеве Т5 и Т10 са корацима од 5 и 10 *mm*. Прорачун је показао да је каиш Т10 компатибилнији за овај бицикл због своје мале ширине и одговарајуће стандардне дужине. Зупчасти каиш Т5 такође задовољава потребну носивост, прописану од стране произвођача, али због неодговарајућих стандардних дужина каиша, доста неповољно утиче на цену израде преносника јер захтева уградњу затезача зупчастог каиша.

7. Литература

- [1] Б. Стојановић, М. Благојевић, Механички преносници, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2015. године.
- [2] В. Николић, Машински елементи, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [3] Б. Стојановић, Л. Ивановић, Н. Милорадовић, Испитивање зупчасатих каишних преносника, ИМК – Испитивање и развој, година XVI, број 37, 2010. године
- [4] <https://bringatrailer.com/2013/12/26/timing-belt-pioneer-1963-glas-1004-cabriolet/> приступљено 08.10.2017. године
- [5] <https://www.vwheritage.com/mk1-golf-history> приступљено 08.10.2017. године
- [6] R. Perneder, I. Osborne, Handbook Timing Belts, Principles, Calculations, Applications, Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2012.
- [7] MULCO Catalogue, PULLEYS AND COMPONENTS for polyurethane timing belt drives, MULCO-Europe EWIV 2014.
- [8] <http://www.mulco.de/en/content/products/breco/brecoflex%C2%AE-timing-belts> приступљено 17.10.2017. године
- [9] <http://www.flyingmachine.com.au/product/carbon-drive-centretrack/> приступљено 17.10.2017. године
- [10] <https://www.kalkhoff-bikes.com/en/bikes/2018/e-bikes/e-trekking/kalkhoff-integrale-excite-i8.html> приступљено 17.10.2017. године
- [11] <http://newwheel.net/motor-systems> приступљено 17.10.2017. године
- [12] Gates Carbon Drive, online catalogue, <http://www.gatescarbondrive.com/products/belts/113t-cdn> приступљено 20.10.2017. године
- [13] <http://uk.rs-online.com/web/p/timing-belts/4745549/> приступљено 24.10.2017. године