

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Механички преносници

Број индекса: 20/2011

Марко Б. Антонијевић

**Прорачун и конструкција зупчасто-каишног
преносника
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 изврши класификацију каишних преносника са тежиштем на зупчасто каишне преноснике. Такође, кандидат треба да опише главне карактеристике зупчасто каишних преносника. На основу свеобухватне анализе кандидат треба да изврши избор и прорачун одговарајућег зупчасто каишног преносника. Изабрани зупчасто каишни преносник користи се као преносник снаге и кретања код машине за обраду дрвета. На крају рада кандидат треба да да модел изабраног зупчасто каишног преносника са својим саставним елементима.

Препоручена литература:

- [1] Танасијевић, С., *Механички преносници: ланчани преносници, зупчасти каишни преносници, кардански преносници*, Југословенско триболошко друштво, Крагујевац, 1994.
- [2] Николић, В., *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004
- [3] Стојановић, Б., *Карактеристике триболошких процеса зупчастих каишева*, Магистарска теза, Машински факултет, Крагујевац, 2007.

Крагујевац, 19.09.2014.год.

ментор:

Др Блажа Стојановић, доцент

Резиме: Зупчасти каишни преносници представљају еластичне преноснике снаге. Они су једноставне конструкције и преносе снагу и кретање између вратила. Најједноставнији тип оваквих преносника се састоји од две ременице и каиша, који је обавијен око њих. У оквиру рада извршен је опис зупчасто – каишних преносника. Представљене су нове конструкције и профили каишева, као и њихове главне карактеристике. У наставку рада извршен је прорачун зупчасто – каишног преносника за машину за обраду дрвета. Дат је такође и модел изабраног зупчасто – каишног преносника.

Кључне речи: каиш, каишник, зупчасто – каишни преносник.

Abstract: Timing belt transmissions are flexible power transmissions. They have a simple construction and transmit power and motion between shafts. The simplest type consists of two pulleys and belt that is enveloped around them. In the framework of the final project is a description of timing belt transmissions. Present the new constructions and belts profiles, and their main characteristics. In the further work was carried out calculation timing belt transmission for wood processing machine. Also is given the chosen model timing belt transmission.

Keywords: belt, pulley, timing belt drive.

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

20/2011 Марко Антонијевић

Садржај

1. Увод	7
2. Каишни преносници	8
2.1 Подела, врсте и карактеристике каишних преносника.....	9
3. Зупчасти каишни преносници	12
3.1 Увод	12
3.2 Историјски развој зупчастих каишева	12
3.3 Делови зупчастог каиша	13
3.4 Карактеристике зупчастих каишева	15
3.5 Конструкција зупчастих каишева	17
3.6 Нове конструкције зупчастих каишева	17
3.7 Основни параметри зупчастих каишних преносника.....	20
3.8 Претходно затезање зупчастих каишева	21
3.9 Примена зупчастих каишних преносника	22
4. Машина за обраду дрвета	26
4.1 Техничке карактеристике	26
4.2 Техничке могућности.....	26
5. Избор и прорачун зупчато – каишног преносника	27
6. Моделирање зупчато – каишног преносника.....	39
6.1 Електромотор АТБ „СЕВЕР“	39
6.2 Зупчато - каишни преносник.....	40
6.3 Остали елементи.....	41
6.4 Монтажа делова радне машине	42
7. Закључна разматрања.....	46
Литература.....	47

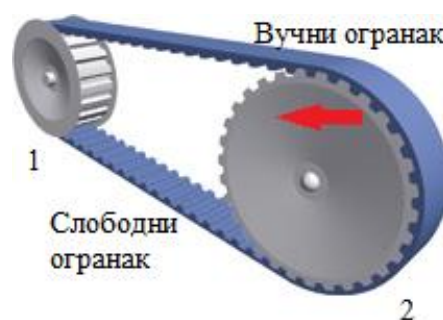
1. Увод

Зупчасто – каишни преносници представљају преноснике релативно једноставне конструкције, који омогућују пренос између вратила чије се осе секу или су паралелне. Ово је релативно млад преносник, који је прихваћен у свим областима индустрије, а користи се и код грађевинских, пољопривредних и транспортних машина.

Зупчасти преносници имају велику предност у односу на друге преноснике, па тако због своје еластичности не стварају буку при раду. Пренос се врши захватањем зуба каиша са зупцима каишника, што практично значи да се већи део снаге и кретања преноси обликом, а мањи део преноси трењем. Због своје конструкције и облика каиша зупчасто – каишни преносници имају константан преносни однос, и због тога спадају у синхроне преноснике. Они имају велику предност у односу на остале преноснике, јер имају константан преносни однос, широк опсег брзина, нема потребе за подмазивањем, имају миран рад у периоду уходавања итд. Предност представља и чињеница да стварају мало оптерећење на лежишта конструкције, и то због тога што они већим делом преносе снагу захватањем зубаца. Недостатак зупчастих каишева је тај што су осетљиви на разна уља и раствараче, који могу доћи у контакт са њим и довести до оштећења [1,2].

2. Каишни преносници

Каишни преносници омогућују преношење снаге и кретања између вратила која могу бити условљена, како малим, тако и на великим међуосним растојањем. Најпростији каишни преносник се састоји од два каишника (погонског и гоњеног), и каиша који их повезује. Поред тога, у саставу једног каишног преносника постоје и разни механизми за затезање и подешавање преносника. Услед затезања каиша, долази до стварања силе притиска између каиша и каишника, односно силе трења, која омогућује преношење обртног момента са погонског на гоњени каишник. Погонски каишник доводи у кретање гоњени каишник преко вучног огранка, док је други огранак каиша слободан (Слика 2.1) [3,4].



Слика 2.1 - Основни елементи каишног преносника

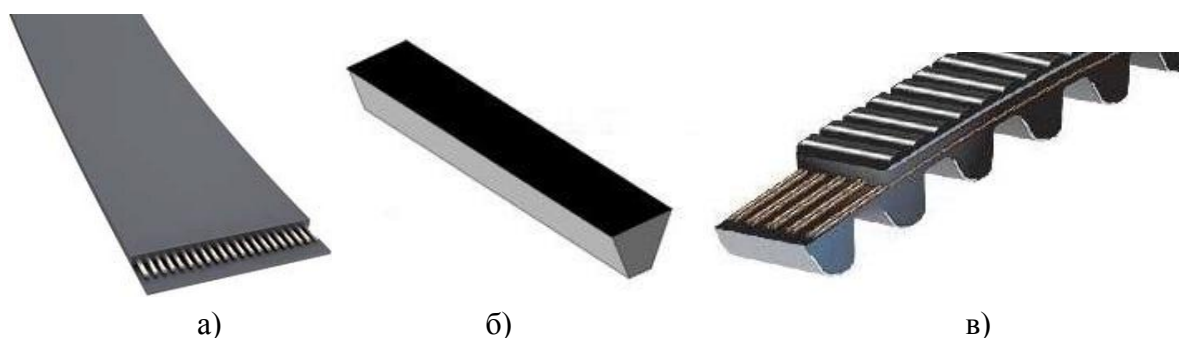
(1 – погонски каишник, 2 – гоњени каишник, стрелицом назначен смер окретања)

Они се углавном користе за преношење снага до 100 kW, али имају и могућност преношења снаге до чак 400 kW, а поседују и широк опсег брзина, од 0.5 m/s до преко 33 m/s. Преносни однос код каишних преносника није константан због могућег проклизавања каиша, који доводи и до смањења степена корисног дејства, што представља један од недостатака ових преносника. Да ли ће доћи до проклизавања зависи од затегнутости каиша, стања додирних површина, као и од величине обвојног угла. У циљу повећања сигурности преношења обртног момента развијен је зупчасти каиш. Тиме се и долази до главне поделе каишних преносника, на онај тип код кога се пренос врши путем трења на контакту између каишника и каиша, и захватањем зуба каиша са зупцима каишника [3,5].

2.1 Подела, врсте и карактеристике каишних преносника

Основна подела каишних преносника, према попречном пресеку је на [6] (Слика 2.2):

- а) Каишне преноснике са плоснатим каишем,
- б) Каишне преноснике са трапезним (ременим) каишем и
- в) Зупчато каишне преноснике.



Слика 2.2 - Подела каишних преносника према попречном пресеку

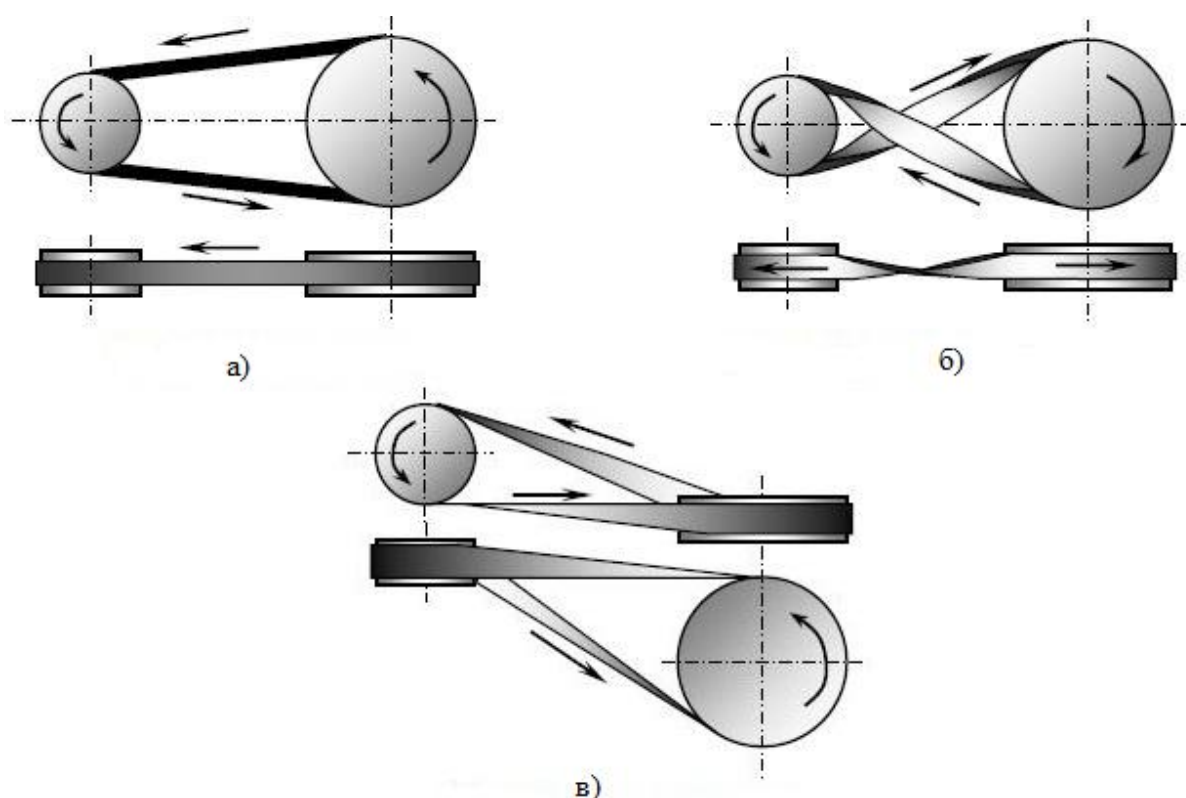
Каишни преносници са плоснатим каишем имају правоугаони попречни пресек, и могу да врше пренос снаге између вратила која се налазе на већим осним растојањима, као и између укрштених и мимоилазних вратила. Такође, они могу вршити и истовремени погон већег броја вратила. Ови каишеви се израђују од тканина, коже, памучног и гумираног текстила и вишеслојних материјала. Користе се за рад са већим обимним брзинама.

Каишни преносници са трапезним (ременим) каишем имају, како им и сам назив каже, трапезни попречни пресек каиша, и преносе снагу између вратила са мањим осним растојањем, али могу имати већи преносни однос. Ови каишеви, за разлику од плоснатих, имају две додирне површине са каишником.

Зупчато каишни преносници имају константни преносни однос, тј. спадају у синхроне преноснике. Ови преносници пренос снаге врше путем зуба, односно обликом, а не трењем, као што је био случај код претходних преносника. За разлику од плоснатих и трапезних каишева, зупчати каишеви имају предности, као што су: тачан преносни однос, висок степен корисног дејства, и мало оптерећење на вратила [1,6].

У зависности од тога, у каквом су међусобном положају осе вртила погонског и гоњеног каишника, као и какав је смер обртања потребан, постоје различита конструкциона извођења каишних преносника [6]. Па тако постоје (Слика 2.3 и 2.4):

- а) Отворени каишни преносник,
- б) Укрштени каишни преносник,
- в) Полуукрштени каишни преносник,
- г) Двоструки каишни преносник,
- д) Степенасти каишни преносник и
- ђ) Сложени каишни преносници.



Слика 2.3 - Извођења каишних преносника

Отворени каишни преносник је најчешћи тип који се среће у пракси, и у зависности од потребе, може бити постављен хоризонтално, вертикално или косо. Користи се када је потребно остварити исти смер обртања погонског и гоњеног каишника.

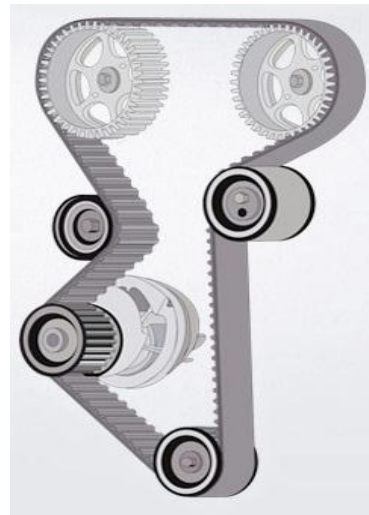
Укрштени каишни преносник такође може бити постављен хоризонтално, вертикално или косо. Разлика је у томе што су смерови окретања, погонске и гоњене ременице, код оваквог типа супротни. Укрштени каишни преносник се брже хаба од отвореног типа, због увијања и повећаног трења, па се због тога примењују само кад је то баш неопходно [6].

Код вратила чије се осе мимоилазе, користе се полуукрштени преносници. Код овакве изведбе користе се само пљоснати каишеви.

Уколико је потребна честа промена преносног односа користе се степенести каишни преносници, код којих се промена преносног односа врши тако што се пребацује каиш са једног пара каишника на други. У пракси је често потребно да погонско вратило погони два, или више вратила истовремено, па се тако добијају двоструки, односно сложени каишни преносници [6].



г, д)



ђ)

Слика 2.4 – Двоструки и степенести (г, д) и сложени каишни преносници (ђ)

Веома важну улогу на носивост каишног преносника има избор материјала, као и облик каиша. Пошто се од преносника захтева поузданост и безбедност при раду, најчешће се, у пракси код пројектовања за одређену машину, користе зупчасти каишни преносници, који ће детаљније бити описани у наредном поглављу.

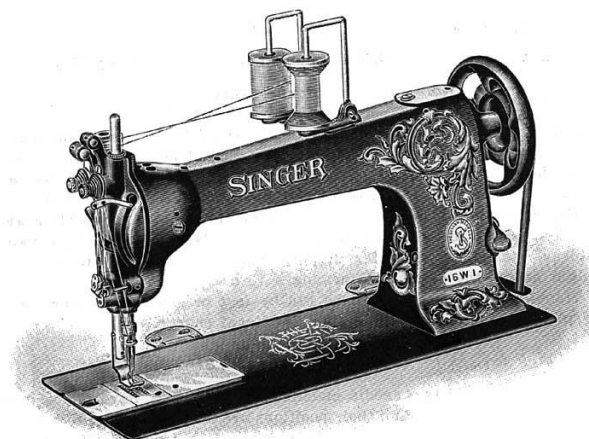
3. Зупчасти каишни преносници

3.1 Увод

Зупчасти каиш представља један од битних елемената зупчasto – каишног преносника. Он преноси обртни момент и кретање својим обликом. Са унутрашње стране се налазе равномерно распоређени зуби, у чија међузубља долазе зупци каишника, и спрезањем долази до остваривања везе између њих, која преноси снагу и кретање [7].

3.2 Историјски развој зупчастих каишева

Зупчасти каиш је патентирао Richard Y. Case, 1946. године, а прва употреба овог каиша била је на машини за шивење (Слика 3.1). Због тога су и почеци примене зупчastог каиша управо и везани за развој шиваћих машина. Први каиш који је био примењен на њима, био је каиш са металним зубима, који је стварао буку, и чија је замена била веома скупа. Примена зупчастих каишева се показала веома успешном, јер се њиме добила тачност у преносу, као и бешуман и миран рад [5,8].



Слика 3.1 – Машина “SINGER”[6]

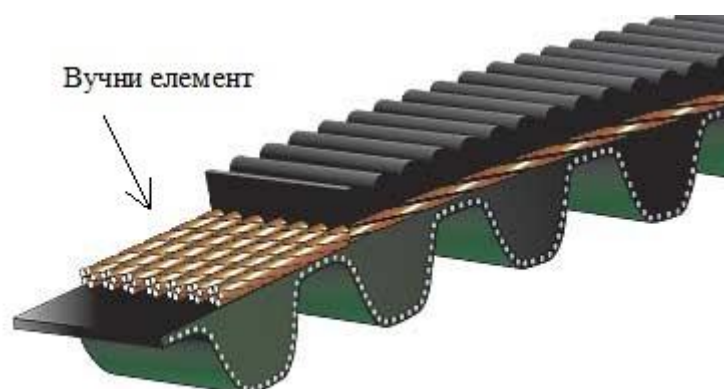
Зупчасти каишеви, након употребе код машина за шивење, почињу све више да се користе и у другим гранама индустрије. Овај проналазак је затим заменио употребу ланца код погона мотора са унутрашњим сагоревањем. Прва компанија која је применила зупчасти каиш код аутомобила била је немачка фирма „GLAS“. Масовна примена ових каишева у аутомобилској индустрији почиње крајем 60 - тих година уградњом у моделе италијанске фабрике „Fiat“, а права експанзија њихове примене почиње 1974. године, када произвођач аутомобила „Volkswagen“ представља нови модел аутомобила, „Golf I“, са уграђеним зупчастим каишем [5,9].

Са порастом примене зупчастих каишева, развијале су се и перформансе, па су се тако константно побољшавале његове карактеристике при експлоатацији. Зупчасти каиш је релативно млад преносник, који је тренутно прихваћен у свим областима индустрије, а користи се и код грађевинских, пољопривредних и транспортних машина.

3.3 Делови зупчастог каиша

Зупчасти каиш је по свом саставу и конструкцији веома сложен елемент, и састоји се из (Слика 3.2 и 3.3) [3]:

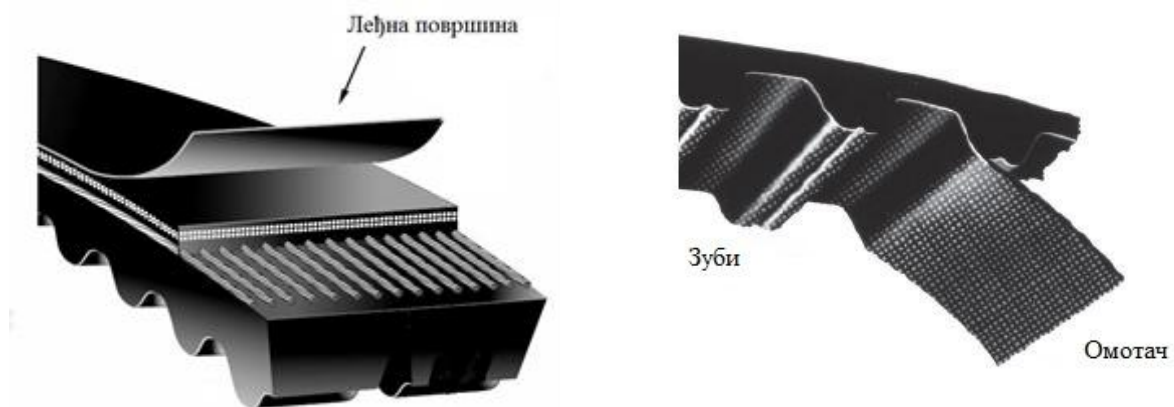
- а) вучног елемента,
- б) леђне површине,
- в) зуба и
- г) омотача.



Слика 3.2 – Вучни елемент

Вучни елемент је основни елемент зупчастог каиша, кога чине, по целој ширини каиша, распоређена арматура од челичне жице одређеног корака. Она је обложена претежно полиуретаном. Од ужета (жице) се очекује велика отпорност на савијање и дуг радни век. У зависности од произвођача и услова рада, разликује се и начин израде вучног елемента, као и самог каиша. Они се обично раде од намотане челичне жице или полиестерског ужета [3].

Леђна површина зупчастог каиша се прави изједна са зубима и затвара, претходно поменуто, намотано уже. Има задатак да штити вучни елемент од спољашњих утицаја, као што су влага, уље и прљавштина. За избор материјала леђне површине обично се користе гума, која мора бити отпорна на хабање, и пластичне масе, као што су неопрен и полиуретан, који поседују већу отпорност на хабање.



Слика 3.3 - Леђна површина, зуби и омотач

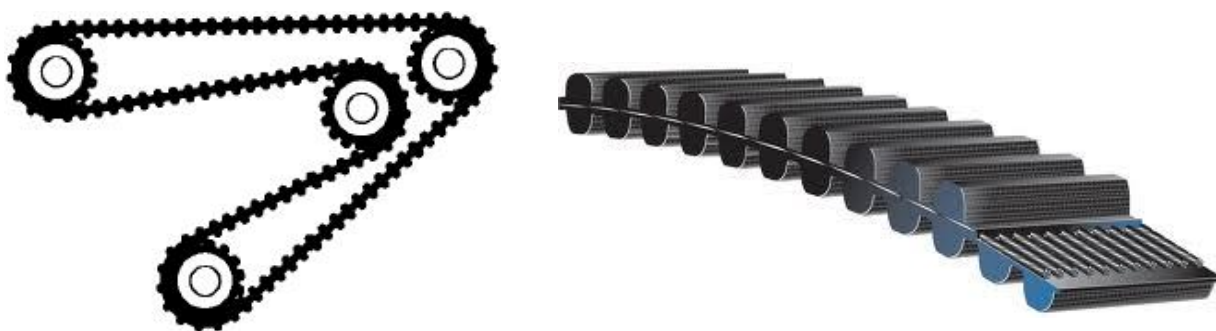
Зуби заједно са леђном површином чине једну целину. Они по свом облику могу бити трапезни или полукружни, у зависности од потребе, и морају имати већу отпорност на смицање од осталих делова зупчастог каиша. Најповољнију расподелу оптерећења имају управо зуби полукружног облика, и могу се користити за пренос већих обртних момената.

Омотачем су обложени зуби каиша, како би се повећала отпорност на хабање. Код гумених каишева, као омотач се користи еластична тканина односно капрон, док се код пластичних каишева користи најлон, као вид облоге, јер има мали коефицијент трења. У току рада, након употребе ових каишева, долази до тога да омотач постаје високо полиран, и он обично траје знатно дуже од осталих делова каиша [3].

3.4 Карактеристике зупчастих каишева

Зупчасти каишеви, у односу на остале типове каишева, имају низ предности, али и недостатака. Као што је раније било споменуто, они имају константан преносни однос, и висок степен корисног дејства, међутим постоје одређени недостаци, који се огледају у скупој изради. Они стварају већу буку при раду, а пошто код њих нема проклизавања, може доћи до преоптерећења, као и прескакања зуба каиша и каишника [2,3].

У данашње време се зупчасти каишеви могу правити и у двостраној конструкцији, односно са зубима са обе стране каиша (Слика 3.4) [10]. Производе се у великом броју различитих конструкција (Mulco, Uniroyal, Good Year, i td.) и имају широку примену у одређеним гранама индустрије [11]. Спољашњи и унутрашњи зуби су потпуно исти по кораку и величини, а разликују се по томе што спољашњи зуби не поседују најлон у свом омотачу. Главна разлика између спољашњих и унутрашњих зуба представља и то што немају исту моћ ношења. Она код спољашњих зуба износи свега 45 % моћи ношења унутрашњих зуба [2].



Слика 3.4 - Зупчасти каиш назубљен са обе стране

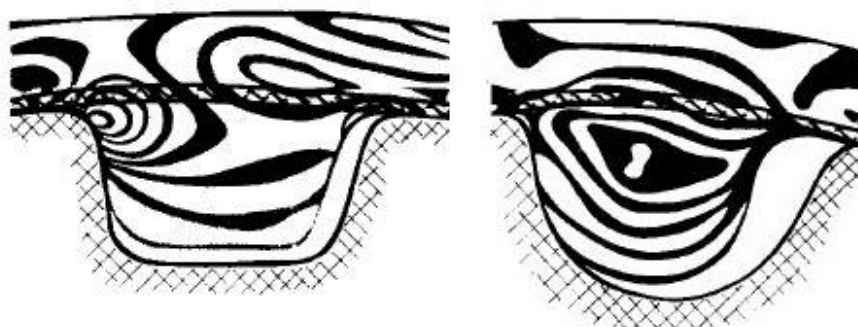
Профили зупчастих каишева су претежно трапезног облика, са јасно израженим праволинијским линијама, али се у последње време развијају новији облици зуба. Нови зупчасти каишеви су каишеви са криволинијским профилем зуба, који поседују знатно боље особине при самом раду [10].

Криволинијски тип зуба има већу дубину, па је тако мања вероватноћа да ће доћи до прескакања зуба у току експлоатације (Слика 3.5). У погледу расподеле напона, на упоредној слици се може видети да је код зуба трапезног облика највећа концентрација напона непосредно на крају корена, а како се иде ка врху она се смањује.

Код криволинијског профила зуба је нешто другачија ситуација, па се тако са слике 3.6 може уочити да је концентрација напона подједнако распоређена по целом пресеку, што доводи и до тога да је смањен притисак на сам зуб каиша [2,3].



Слика 3.5 –Трапезни и криволинијски профил зуба



Слика 3.6 - Упоредна слика концентрације напона зуба каиша

Осим основне поделе на каишеве са криволинијским и праволинијским профилем зуба, они се праве и у више различитих димензија и корака. Основна димензиона карактеристика зупчастих каишева је управо корак, по коме се они и означавају. Каишеви се праве различитих ширина. Оне су стандардне и налазе се у табелама каталога произвођача, заједно са дужином и кораком.

У каталозима произвођача налазе се и основне карактеристике зупчастих каишева, као што су [11]:

- допуштено радно затезање каиша,
- носивост каиша,
- профил зуба,
- димензије профила зуба и
- карактеристике вучног елемента и др.

3.5 Конструкција зупчастих каишева

Све већи захтеви у погледу поузданости, носивости и повећања радног века трајања, доводе до појаве нових конструкција и материјала при производњи зупчастих каишева. Нови типови каишева се састоје само од две компоненте, полиуретана, који је отпоран на хабање, и вучног елемента од побољшаног челика. Комбинацијом ове две компоненте добија се каиш који поседује боље карактеристике и особине при раду [2].

3.6 Нове конструкције зупчастих каишева

Нове конструкције зупчастих каишева према материјалу и облику делимо на [2,10]:

- а) АТР зупчасти каиш,
- б) Т/АТ зупчасти каиш,
- в) ВАТ зупчасти каиш са кривим зубима,
- г) SFAT зупчасти каиш са помереним зубима,
- д) АТК/ТК комбиновани зупчасти каиш и
- ђ) К троугласти (тестерасти) зупчасти каиш.

АТР зупчасти каиш (Слика 3.7) је свој развој доживео 1993. године, у периоду када су захтеви тржишта тежили ка побољшању карактеристика дотадашњих зупчастих каишева. Овај тип каиша има подељен зуб на два независна зуба, што и представља основни концепт АТР каиша. Он поседује и повећану отпорност на замор и смањено издужење каиша, због примене полиуретана и побољшаног челика. Предности се огледају у повећању вучних перформанси за 60 %, смањењу буке за 10 dB, и повећању радног века [2,10].



Слика 3.7 - АТР зупчасти каиш [10]

Трапезни зупчасти каиш, или Т каиш, се користи за стандардне трансмисије, али и када потребе захтевају велика и нагла савијања и контрасавијања. Усаглашен је по ДИН – у 7721 и односи се на класичне стандардне зупчасте каишеве. При даљем развоју ових каишева настаје АТ зупчасти каиш којег карактеришу нешто већи и заобљени зуби. Главна предност у односу на Т зупчасте каишеве је побољшање извршења за више од 50 % (Слика 3.8) [2,10].



Слика 3.8 – АТ (а) и Т (б) зупчасти каиш [10]

ВАТ зупчасти каиш (Слика 3.9) са кривим зубима је у основи зупчасти каиш за трапезним профилем, али чији су зуби “криви” тј. постављени лучно. Овај тип каиша поседује особину самовођења, тако да нису потребни додатни елементи за вођење. Израђује се само са кораком 10 mm. Имају широку примену, миран рад, и захтевају рад само у једном смеру [2,10].



Слика 3.9 - ВАТ зупчасти каиш [10]

SFAT зупчасти каиш (Слика 3.10) представља у основи АТ профил зупчастог каиша са зубима постављеним у два независна реда, која су померена за половину величине зуба и који су међусобно повезани. Овакав тип каиша обезбеђује миран и равномеран рад, са смањеном буком. SFAT зупчасти каиш не захтева конструкцију ободних прстенова код ременица.



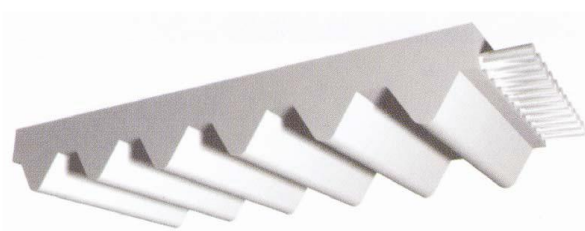
Слика 3.10 - SFAT зупчасти каиш [10]

АТК / ТК комбиновани зупчасти каиш, заправо и представља комбинацију трапезног зупчастог каиша и клинастог каиша. Тиме су се добиле предности у погледу вучних карактеристика, које су повећане, и због тога се најчешће користе за пренос транспортног материјала. Такође не захтевају конструкцију ободних прстенова.

К троугласти зупчасти каиш се због свог карактеристичног облика назива још и тестераста каиш. Своју примену налази код канцеларијских машина, као и фотоапарата, због своје мале масе, велике флексибилности и јефтиног одржавања (Слика 3.11) [2,10].



а)



б)

Слика 3.11 - АТК / ТК зупчасти каиш (а) и К троугласти зупчасти каиш (б) [10]

3.7 Основни параметри зупчастих каишних преносника

Снага

Зупчасти каишни преносници преносе снагу у веома широком опсегу, од стотих делова kW до стотине kW. Они преносе снагу до 250 kW, а у специјалним случајевима и до чак 750 kW [3].

Преносни однос

Преносни однос се дефинише као однос броја обртаја погонске и гоњене ременице. Зупчасти преносници раде без проклизавања, па им је преносни однос константан. Преносни однос је у опсегу преносних односа других преносника.

Брзина

Зупчасто каишни преносници имају константну угаону брзину, због особине да код њих нема проклизавања, а ни губитака у брзини због клизања или увијања као код осталих типова каишева. Брзина каишева не треба да прелази 30 m/s за каишеве са већим кораком, и 55 m/s за каишеве са мањим кораком [3].

Број зуба каиша

Број зуба каиша је веома важан параметар и има утицај на сам рад преносника. Са порастом броја зуба, расте и број зуба у спрези, али се смањује неопходно претходно затезање. Минимални број зуба је 10, препоручен од стране произвођача. Препорука је да број зуба у спрези не буде мањи од 6, а у супротном да се провери радни притисак на зубима каиша.

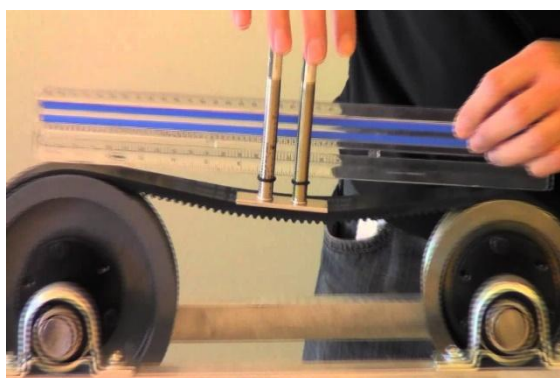
Корак

Основни параметар зупчастог каиша и каишника је корак. Он представља растојање између центара два узастопна зуба каиша и мери се на линији корака каиша. Корак каишника је растојање између центара два узастопна међузубља [3].

3.8 Претходно затезање зупчастих каишева

Да би зупчasto – каишни преносник правилно функционисао, неопходно је извршити претходно затезање каиша. Затезањем се постиже довољан отпор између каишника и каиша, и обезбеђује нормално спрезање и миран рад преносника. Уколико претходно затезање није остварено, а снага која се преноси велика, може доћи до тзв. „прескакања зуба“. Неопходно је правилно одредити која је сила потреба за затезање, јер претерано претходно затезање додатно оптерећује вратила и лежајеве, а такође и смањује степен корисног дејства [3].

Затегнутост каиша се може дефинисати преко угиба који изазива одређено оптерећење на већ затегнутом каишу, или помоћу новијих апарата, тензиометара (Слика 3.12).



а)



б)

Слика 3.12 – Мерење затегнутости каиша преко угиба (а) и тензиометром (б)

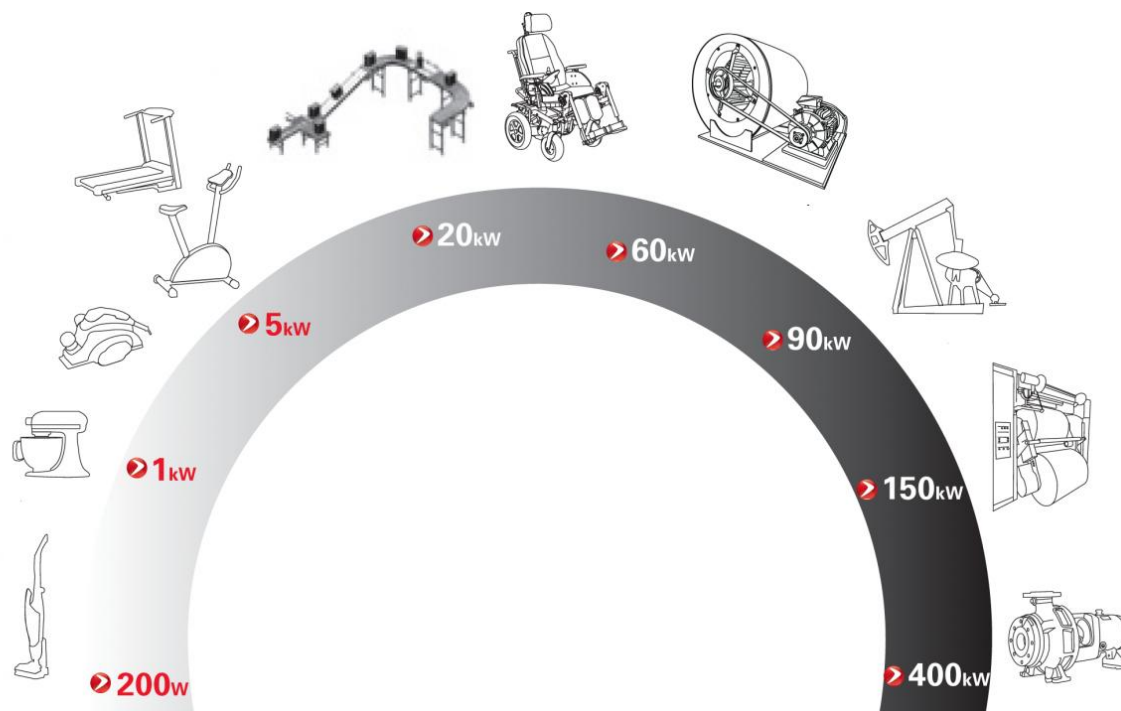
Према тим резултатима се каиш додатно затеже неким од поступака, као што је затезање затетним каишником, или еластичним издужењем каиша.

Затезни каишник делује на каиш са унутрашње, или спољашње стране, и помоћу тега или опруге, затеже каиш. На тај начин се остварује затезање каиша, али се и повећава обвојни угао.

Затезање каиша еластичним издужењем се врши пре почетка рада, тако што се повећава осно растојање каиша, и на тај начин остварује потребна сила притезања. Приликом рада, неопходно је додатно затезање каиша, што се остварује постављањем електромотора на шине и повременим затезањем помоћу завртњева.

3.9 Примена зупчастих каишних преносника

Зупчасти каишни преносници имају широку примену у свим областима индустрије. Користе се у машинској индустрији, текстилној, индустрији мотора, код разних индустријских и пољопривредних машина, као и код грађевинских и транспортних машина (Слика 3.13) [11].



Слика 3.13 – Примена зупчастог каиша [11]

Своју примену су пронашли и код тракастих транспортера (Слика 3.14). Они се могу користити за транспорт кутија, разних пакета, делова у производњи, као и за транспорт расутог материјала.



Слика 3.14 – Примена зупчастих каишева код тракастих транспортера

Своју примену су пронашли код аутомобила, код преноса снаге код мотора са унутрашњим сагоревањем (Слика 3.15).



Слика 3.15 – Примена зупчастих каишева код мотора са унутрашњим сагоревањем

Зупчasti каишеви се уграђују у бицикле и мотоцикле (Слика 3.16). Разлог томе је свакако мала маса каишева у односу на ланце, тих и миран рад, и не захтевају подмазивање.



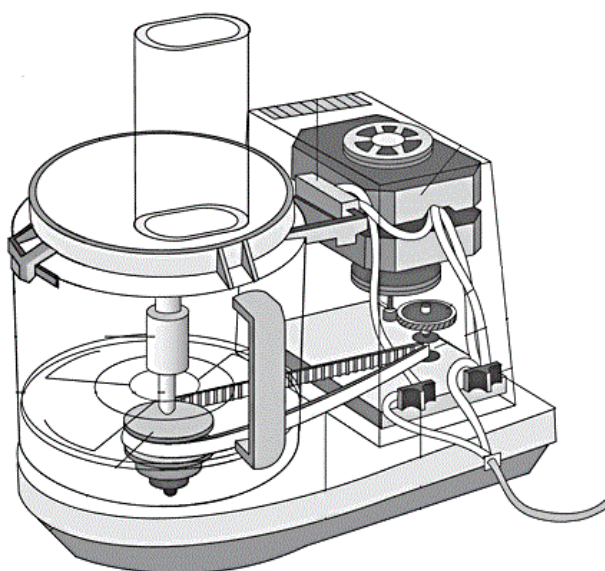
Слика 3.16 – Примена зупчастих каишева код бицикли и мотоцикала

Код разних справа за вежбање, као што су покретне траке и бицикле, такође се користе зупчасти каишеви (Слика 3.17).



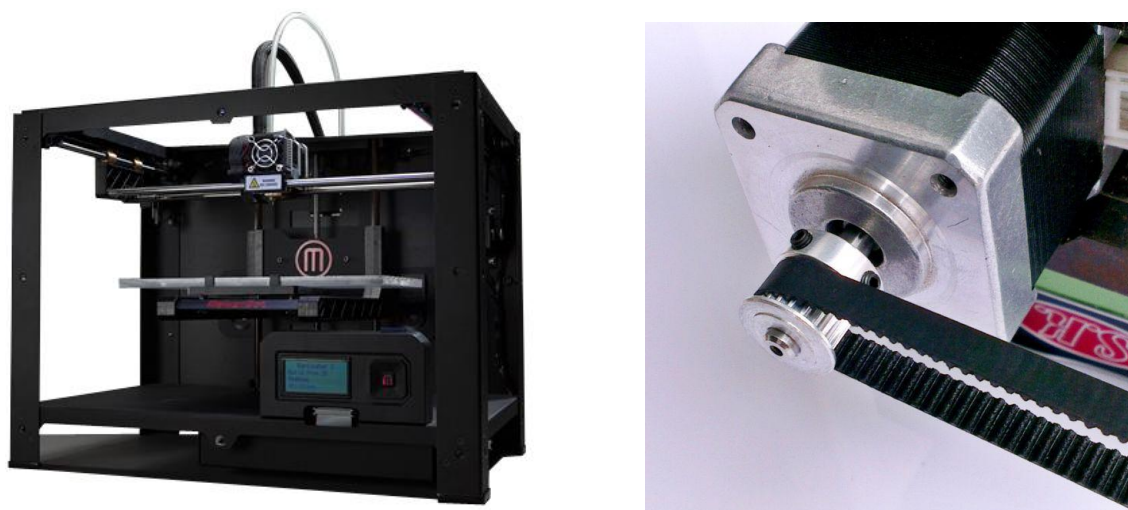
Слика 3.19 – Примена зупчастих каишева код справа за вежбање

Зупчасти каишеви се примењују код разних кућних апарата, као што је апарат за спремање хране (Слика 3.20).



Слика 3.20 – Примена зупчастих каишева код кућних апарата

Примена зупчастих каишева је заступљена код 3D штампача. На слици је приказан модел MakerBot Replicator 2 (Слика 3.21).



Слика 3.21 – Примена зупчастих каишева код 3D штампача

Своју примену су нашли и код робота, канцеларијских машина и компјутера. Зупчasti преносници имају такође примену и код машина за обраду дрвета (Слика 3.22).



Слика 3.22 – Примена зупчастих каишева код робота и компјутера

4. Машина за обраду дрвета

Машина за обраду дрвета, која је у овом раду представљена, је кружна тестера са постољем (Слика 4.1). Намењена је за резање иверице, дрвене грађе, шперплоче и пластике. Захваљујући зупчастом каишу се добија константан преносни однос, миран и тих рад.



Слика 4.1 – Машина за обраду дрвета

4.1 Техничке карактеристике

Конструктивно решење кружне тестере се састоји из зупчasto – каишног преносника, који врши пренос снаге и кретања од електромотора, погонске осовине, до тестере, тј. гоњеног вратила.

Подаци и карактеристике машине су:

Снага : $P = 1.6 \text{ [kW]}$ – „ АТБ Север “, ознака: 2.SZK 100 L – 2B [11]

Број обртаја електромотора (у празном ходу): $n_1 = 2920 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Број обртаја радне машине: $n_2 = 4500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$

Међуосно растојање: $A = 600 \text{ [mm]}$

Дужина рада: Од 10 до 16 [h / dan]

На основу ових задатих података треба димензионисати каишни преносник, тако да задовољава одређене захтеве машине, у погледу брзине, снаге и др.

4.2 Техничке могућности

Машина за обраду дрвета је предвиђена за обраду дрвета, иверице, пластике и дрвене грађе, средњих габарита. Предвиђена је за рад у две смене.

5. Избор и прорачун зупчасто – каишног преносника

Избор и прорачун зупчасто – каишног преносника има за циљ дефинисање основних параметара преноса, као и димензија каиша и кашника. Од правилног избора зупчастог каишног преносника зависи његово понашање у експлоатацији, рад целе конструкције, као и век трајања.

Постоји читав низ захтева који се постављају и траже од преносника и који се морају анализирати. Свакако да су најважнији:

- снага или момент,
- број обрта каишника,
- пречник вратила или клина,
- осно растојање (са одступањем),
- погонска снага (електромотор),
- радна машина (машина алатка, транспортер, итд.),
- врста оптерећења (равномерно, променљиво, са средњим ударима, итд.),
- услови експлоатације (број часова рада у једном дану, итд.) и
- разни конструкциони захтеви (димензије каишника, допуштена ширина, уградбени простор).

По анализи захтева од зупчастог каишног преноса, врши се избор и прорачун преносника. Све ово је најпрегледније радити поступно, етапу по етапу [3].

Полазни подаци:

- 1) Снага електромотора: $P = 1.6 [kW]$
- 2) Тип радне машине: Кружна тестера за обраду дрвета
- 3) Број обртаја погонске машине - електромотора: $n_1 = 2920 [min^{-1}]$
- 4) Број обртаја радне машине: $n_2 = 4500 [min^{-1}]$
- 5) Осно растојање: $A = 600 [mm]$
- 6) Дужина рада: од 10 до 16 [h / dan]

Упуство за прорачун из литературе [3,6,12].

Меродавна снага [12]:

$$P_k = P \cdot (C_1 + C_2 + C_3) \quad (5.1)$$

Фактор експлоатације: C_1

$$C_1 = 1.3 \quad (5.2)$$

Усваја се на основу класе и типа радне машине за коју се преносник пројектује. Подаци за овај фактор се узимају из табеле 2.15, на страни 107 [3].

Фактор преносног односа: C_2

$$C_2 = 0.1 \quad (5.3)$$

За преносни однос од 1,25 – 1,75, фактор преносног односа се узима из табеле 2.16, са стране 108 [3]. Преносни однос n_2 / n_1 је 1.54.

Фактор дужине рада: C_3

$$C_3 = 0 \quad (5.4)$$

На основу услова да машина ради у две смене, односно од 10 до 16 [h / дан], из табеле 2.17, на страни.108, се читава вредност [3].

$$P_k = 1.6 \cdot (1.3 + 0.1 + 0) = 2.24 [kW] \quad (5.5)$$

Избор профила зупчастог каиша:

Усвајам профил зупчастог каиша Н на основу израчунате снаге P_k и броја обртаја мањег каишника са слике 2.32, на страни 109 [3]. По препоруци, због захтева и услова саме машине, усваја се каиш Н, који може пренети већу снагу од израчунате.

Димензије профила зуба каиша из табеле 2.1, на страни 80 [3]:

$$h = 12.7 [mm]$$

$$\beta = 40^\circ$$

$$t = 4.064 [mm]$$

$$k = 4.432 [mm]$$

$$s = 2.286 [mm]$$

$$r_1 = 1.016 [mm]$$

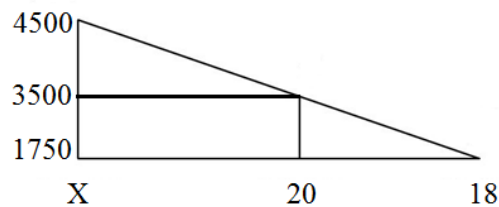
$$r_2 = 1.016 [mm]$$

$$\delta = 0.685 [mm]$$

Избор броја зуба мањег каишника [12]:

Број зуба се рачуна на основу препорука из табеле 2.7, на страни 89 [3].

Пошто је у питању мултипликатор, рачуна се број зуба на мањем каишнику, тј. гоњеном:



$$\frac{x - 18}{2750} = \frac{2}{1750} \Rightarrow x = 21.1428$$

Усваја се:

$$Z_2 = 21 \quad (5.6)$$

Избор зуба већег каишника:

$$i = n_2/n_1 = 4500/2920 = 1.54 \quad (5.7)$$

$$Z_1 = i \cdot Z_2 = 1.54 \cdot 21 = 32.34 \quad (5.8)$$

$$\text{Усваја се број зуба } Z_1 = 32 \quad (5.9)$$

Подеони пречник погонског каишника:

$$d_{01} = \frac{h \cdot Z_1}{\pi} = \frac{12.7 \cdot 32}{\pi} = 129.361 [mm]$$

$$d_{01} = 129.361 [mm] \quad (5.10)$$

Подеони пречник гоњеног каишника:

$$d_{02} = \frac{h \cdot Z_2}{\pi} = \frac{12.7 \cdot 21}{\pi} = 84.893 [mm]$$

$$d_{02} = 84.893 [mm] \quad (5.11)$$

Стварни преносни однос:

$$i_{st} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{21}{32} = 0.656 \approx 0.65$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2920}{4500} = 0.65$$

$$i = 0.65 \quad (5.12)$$

Обвојни угао погонског каишника:

$$\cos \alpha_1 = \frac{R_{02} - R_{01}}{A} \Rightarrow$$

$$\alpha = 92.12368^\circ \quad (5.13)$$

$$A = 600 [mm] \quad (5.14)$$

Број зубаца у спреси:

$$Z_0 = Z_1 \cdot \frac{2\alpha}{2\pi} = 32 \cdot \frac{2 \cdot 92.12368^\circ \frac{\pi}{180}}{2\pi} = 16.377$$

$$Z_0 = 17 \quad (5.15)$$

Одређивање приближне ширине каиша [12]:

Обртни момент:

$$M_{01} = \frac{9550 \cdot P_k}{n_1} = \frac{9550 \cdot 2.24}{2920} = 7.326 [Nm]$$

$$M_{01} = 7.326 [Nm] \quad (5.16)$$

Обимна сила:

$$F_{01} = \frac{2000 \cdot M_{01}}{d_{01}} = \frac{2000 \cdot 7.326}{129.361} = 113.264 [N]$$

$$F_{01} = 113.264 [N] \quad (5.17)$$

Брзина каишника:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{01} \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 129.264 \cdot 2920}{60 \cdot 1000} = 19.778 [m/s]$$

$$v = 19.778 [m/s] \quad (5.18)$$

Укупно затезање у каишу:

$$F_U = F_{01} + F_c = 113.264 + 0 = 113.264 [N] \quad (5.19)$$

где се F_c узима да је једнако нули.

Допуштено радно затезање:

$$\begin{aligned} F_D &\geq F_U \cdot v \\ v_s &= 1.1 \\ F_D &\geq 124.5904 [N] \end{aligned} \quad (5.20)$$

На основу ове израчунате вредности усваја се из табеле 2.5, на страни 86 [3], прва већа вредност допуштеног радног затезања која износи:

$$F_D = 262.4 [N]$$

Ширина каиша за ту вредност износи:

$$b = 12.70 [mm]$$

Провера зупчастог каишног преноса [12]:

Обртни момент:

$$\begin{aligned} M_{01} &= \frac{9550 \cdot P_k}{n_1} = 7.326 [Nm] \\ M_{01} &= 7.326 [Nm] \end{aligned} \quad (5.21)$$

Обима сила:

$$\begin{aligned} F_{01} &= \frac{2000 \cdot M_{01}}{d_{01}} = 113.264 [N] \\ F_{01} &= 113.264 [N] \end{aligned} \quad (5.22)$$

Брзина каиша:

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi \cdot d_{01} \cdot n_1}{60 \cdot 1000} = 19.778 [m/s] \\ v &= 19.778 [m/s] \end{aligned} \quad (5.23)$$

Центрифугална сила:

$$F_c = q_{\text{tab}} \cdot b_{\text{st}} \cdot v^2 = 0.052 \cdot 1.27 \cdot 19.778^2 = 25.833 \text{ [N]} \quad (5.24)$$

где је $b_{\text{st}} = 12.7 \text{ [mm]} = 1.27 \text{ [cm]}$

Укупно затезање у каишу:

$$F_U = F_{01} + F_c = 113.264 + 25.833 = 139.097 \text{ [N]} \quad (5.25)$$

Стварни фактор експлоатације (провера):

$$v_e = \frac{F_D}{F_U} = \frac{262.4}{139.097} = 1.886 > 1.4$$

$$v_e = 1.886 > 1.4 \quad (5.26)$$

Стварни фактор експлоатације је већи од збира фактора корекције, па према томе захтев је задовољен.

Одређивање величине каиша [6]:

Одређује се дужина каиша из литературе [6], на страни 374, из табеле 4.7.1.

Дужина каиша:

$$L \approx 2A \cos \gamma + \frac{\pi}{2} (d_{01} + d_{02}) + 2\pi \gamma \frac{(d_{02} + d_{01})}{180}$$

$$L \approx 2 \cdot 600 \cdot \cos 2.123677^\circ + \frac{\pi}{2} (129.36 + 84.893) + 2\pi \cdot 2.123677^\circ \cdot \frac{(129.361 + 84.893)}{180^\circ}$$

$$L \approx 1543.65 \text{ [mm]} \quad (5.27)$$

Усваја се стандардна дужина каиша од 1600.2 [mm] [3]:

На страни 83, из табеле 2.3 читава се вредност стандардне дужине.

Број зуба каиша[3]:

$$Z_k = 126 \quad (5.28)$$

Димензије каишника [12]:

Пречници подеоних кругова:

$$d_{01} = 192.361 [mm] \quad ; \quad d_{02} = 84.893 [mm] \quad (5.29)$$

Темени пречници:

За корак $h = 12.7 [mm]$ разлика између линије корака каиша и теменог пречника каишника износи::

$$\delta = 0.685 [mm]$$

Вредност из табеле 2.9, на страни 94 [3].

$$d_{T1} = d_{01} - 2 \cdot \delta = 129.361 - 2 \cdot 0.685 = 127.991 [mm] \quad (5.30)$$

$$d_{T2} = d_{02} - 2 \cdot \delta = 84.893 - 2 \cdot 0.685 = 83.523 [mm] \quad (5.31)$$

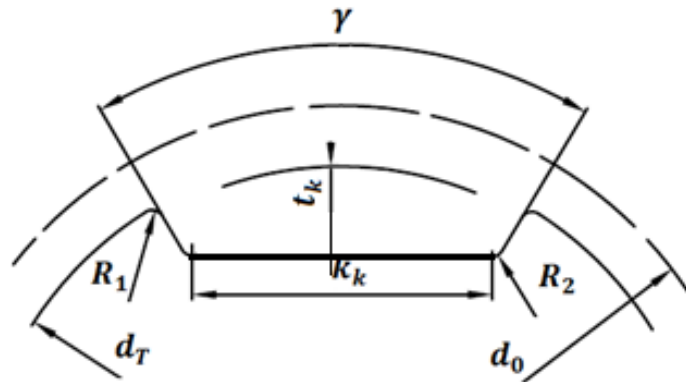
Ширина каишника:

$$h = 12.7 \div 31.75 [mm] \Rightarrow B = b + (14 \div 18) [mm]$$

$$B = 12.7 + 18$$

$$B = 30.7 [mm] \quad (5.32)$$

Димензије профила међузубља каишника (Слика 5.1) [3]:



Слика 5.1 – Димензије профила међузубља каишника [3]

Усвајају се из табеле 2.8 на страни 92 [3].

Ознака каиша: **H**

Корак: $h = 12.7 \text{ [mm]}$

Ознака профила каиша: **B**

Најмања ширина међузубља: $k_k = 4.191^{+0.127}_{-0.000} \text{ [mm]}$

Висина међузубља: $t_k = 3.048^{+0.000}_{-0.127} \text{ [mm]}$

Угао профила: $\gamma = 40 \pm 3^\circ$

Заобљења: $R_1 = 1.587^{+0.127}_{-0.000} \text{ [mm]}$

$R_2 = 1.587 \text{ [mm]}$

Одређивање претходног затезања [3]:

$$F_p' = F_s + F_r' + F_c' \quad (5.33)$$

Затезање условљено отпором савијања каиша:

$$F_S = \frac{4 \cdot \sigma_S}{d_{01}^2}$$

$$\sigma_S = 590 \left[\frac{daN \cdot mm^2}{cm} \right]$$

$$F_S = \frac{4 \cdot \sigma_S}{d_{01}^2} = \frac{4 \cdot 590}{129.361^2} = 0.141 \left[\frac{daN}{cm} \right] \quad (5.34)$$

Затезање од радијалних сила у спрези:

$$\beta = 40^\circ \Rightarrow$$

$$F_r \approx 0.04 \cdot F_0 = 0.04 \cdot 113.264 = 4.53056 [N] = 0.453056 [daN]$$

$$F'_r = \frac{F_r}{b} = \frac{0.453056}{1.27} = 0.358 \left[\frac{daN}{cm} \right]$$

$$F'_r = 0.358 \left[\frac{daN}{cm} \right] \quad (5.35)$$

Затезање од центрифугалних сила:

$$F_C = 25.833 N = 2.5833 daN$$

$$F'_C = \frac{F_C}{b} = \frac{2.5833}{1.27} = 2.034 \left[\frac{daN}{cm} \right]$$

$$F'_C = 2.034 \left[\frac{daN}{cm} \right] \quad (5.36)$$

Затезање једног огранка износи:

$$F'_P = F_S + F'_r + F'_C = 0.141 + 0.358 + 2.034 = 2.533 \left[\frac{daN}{cm} \right] \quad (5.37)$$

Укупно претходно притезање:

$$2 \cdot F_P = 2 \cdot F'_P \cdot b = 2 \cdot 2.533 \cdot 1.27 = 6.43382 [daN] = 64.3382 [N] \quad (5.38)$$

Одређивање пречника вратила и клина [6]:

Материјал погонског и гоњеног каишника је челик за побољшање Č1530, а материјал погонског и гоњеног вратила конструкциони челик Č0645.

Погонско вратило, тј. излазно вратило мотора, је кратко вратило, и зато је оптерећено само моментом увијања. Обично се таква вратила називају и „лака вратила“, и она се рачунају на следећи начин:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_t \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{doz}}} - \text{страна 441, израз 6.5.22. [6]} \quad (5.39)$$

Прорачун вратила погонског каишника [6]:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_1 \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{doz}}} \quad (5.40)$$

$$\tau_{doz} = \frac{\tau_{D(0)}}{K \cdot S} - \text{страна 441, израз 6.5.22 [6]}. \quad (5.41)$$

$$\tau_{D(0)} = 200 \div 230 \text{ [MPa]} = 215 \text{ [MPa]} - \text{страна 652, табела 11.2.1 [6]}. \quad (5.42)$$

$$R_m = 600 \div 720 \text{ [MPa]} = 660 \text{ [MPa]} < 700 \text{ [MPa]} - \text{страна 651, табела 11.2.1 [6]}.$$

$$R_m = 660 \text{ [MPa]} \text{ [6]}. \quad (5.44)$$

$$K = 2.0 \div 2.4 = 2.2 - \text{страна 440, табела 6.5.6 [6]}. \quad (5.45)$$

Усваја се степен сигурности $S = 2$ – страна 441. израз 6.5.22 [6].

$$\tau_{doz} = \frac{215}{2.2 \cdot 2} = 48.864 \text{ [MPa]} \quad (5.46)$$

$K_A = C_1$ = фактор неравномерности машине, фактор експлоатације; стр. 453 [6].

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 7.326 \cdot 10^3 \cdot 1.3}{\pi \cdot 48.864}} = 9.975 \text{ [mm]} \quad (5.47)$$

Пречник погонског вратила према прорачуну износи $d_1 = 9.975 [mm]$, међутим према каталогу произвођача [11] пречник излазног вратила износи $d_{vr} = 28 [mm]$. Овај пречник вратила такође задовољава прорачун, и представља стандардну величину вратила, па се према томе вредност из каталога и узима за пречник вратила.

Димензионисање клина:

Клин је дефинисан каталогом произвођача [11]. Материјал клина Č0745.
Klin A 8 x 7 x 28 SRPS M.C2.060.

Димензионисање главчине :

На основу препорука произвођача, пречник главчине износи:

$$d_g = (1.3 \div 1.5) \cdot d_{vr},$$

Па следи да је:

$$d_g = (1.3 \div 1.5) \cdot d_{vr} = 1.5 \cdot d_{vr} = 1.5 \cdot 28 = 42 [mm]$$

$$\text{Усваја се } d_g = 42 [mm] \quad (5.48)$$

Прорачун вратила гоњеног каишника [6]:

За прорачун вратила гоњеног каишника неопходно је прво одредити обртни момент. Он износи:

$$T_2 \approx T_1 \cdot u = T_1 \cdot \frac{z_2}{z_1} = 7.326 \cdot 0.65 = 4.762 [Nm] \quad (5.49)$$

Гоњено вратило се посматра као „лако вратило“ зато што су моменти савијања као и код погонског веома мали. То значи да су изложена само моментом увијања, па њихов прорачун гласи:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_2 \cdot K_A}{\pi \cdot \tau_{doz}}} \quad (5.50)$$

$$\tau_{doz} = \frac{\tau_{D(0)}}{K \cdot S} - \text{страна 441, израз 6.5.22 [6].} \quad (5.51)$$

$$\tau_{D(0)} = 200 \div 230 \text{ [MPa]} = 215 \text{ [MPa]} - \text{страна 652, табела 11.2.1 [6]}. \quad (5.52)$$

$$R_m = 600 \div 720 \text{ [MPa]} = 660 \text{ [MPa]} < 700 \text{ [MPa]} - \text{страна 651, табела 11.2.1 [6]}.$$

$$R_m = 660 \text{ [MPa]} \text{ [6]}. \quad (5.53)$$

$$K = 2.0 \div 2.4 = 2.2 - \text{страна 440, табела 6.5.6 [6]}. \quad (5.54)$$

$$\text{Усваја се степен сигурности } S = 2 - \text{страна 441, израз 6.5.22 [6]}. \quad (5.55)$$

$$\tau_{\text{doz}} = \frac{215}{2.2 \cdot 2} = 48.864 \text{ [MPa]} \quad (5.56)$$

$$K_A = C_1 = \text{фактор неравномерности машине, фактор експлоатације; стр. 453 [6]}.$$

Према прорачуну следи да је пречник гоњеног вратила:

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4.762 \cdot 10^3 \cdot 1.3}{\pi \cdot 48.864}} = 8.642 \text{ [mm]} \quad (5.57)$$

Усваја се пречник гоњеног вратила $d_2 = 28 \text{ [mm]}$ из конструкционих разлога, због повезивања са резном плочом машине за обраду дрвета. Па се на основу тога усваја исти клин и главчина као код погонског вратила.

6. Моделирање зупчasto – каишног преносника

На основу извршеног прорачуна, приступљено је моделирању зупчasto – каишног преносника код машине за обраду дрвета.

Машина за обраду дрвета је моделирана у програмском пакету AUTODESK INVENTOR 2014. Извршено је рендеровање модела у програму KeyShot 3D. У наставку рада ће бити приказани саставни делови дате машине.

6.1 Електромотор АТБ „СЕВЕР“

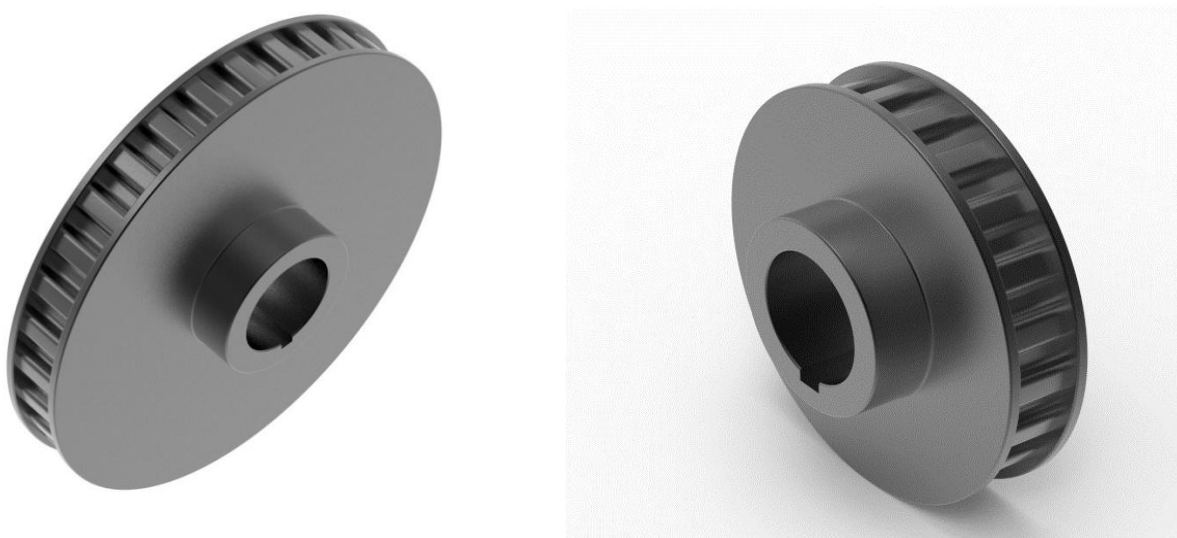
Електромотор представља погонску снагу машине за обраду дрвета. Мотор је усвојен према каталогу [11], снаге 1.6 kW, са бројем обртаја од 2920 мин^{-1} (Слика 6.1).



Слика 6.1 – Електромотор АТБ „СЕВЕР“

6.2 Зупчасто - каишни преносник

Зупчасто – каишни преносник се састоји од два каишника, погонског (а) и гоњеног (б) (Слика 6.2), и зупчасто каиша који их повезује (Слика 6.3).



Слика 6.2 – Делови зупчасто –каишног преносника - каишници

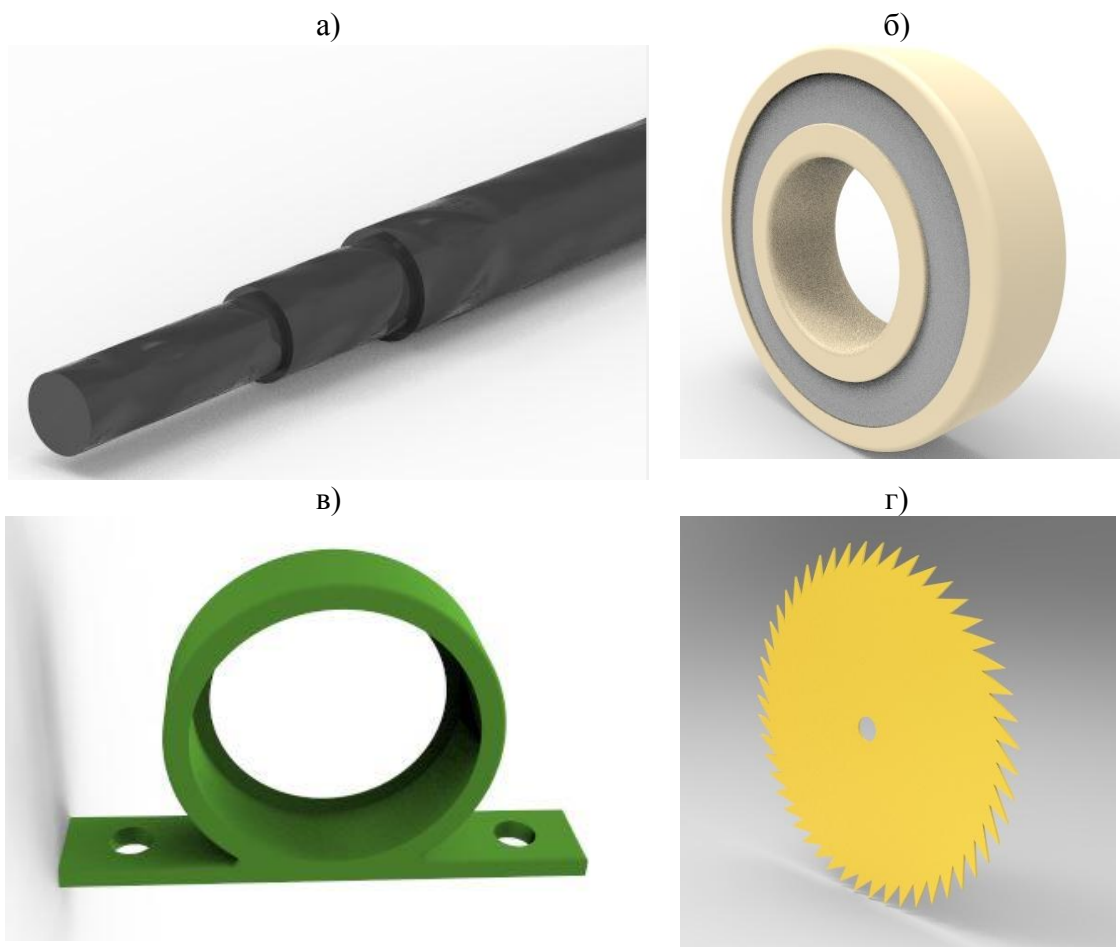


Слика 6.3 - Зупчасте каиш ознаке Н и корака 12.7 mm

6.3 Остали елементи

У остале елементе спадају (Слика 6.4):

- а) Вратило
- б) Лежајеви
- в) Кућишта лежаја
- г) Кружна тестера



Слика 6.4 – Елементи машине за обраду дрвета

6.4 Монтажа делова радне машине

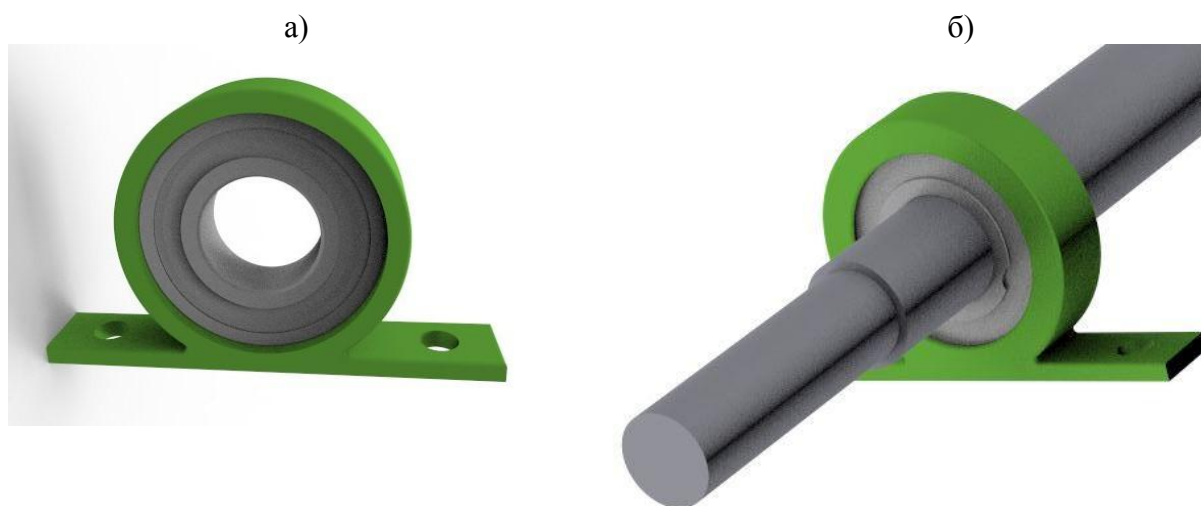
Монтажа каишника (погонског и гоњеног) врши се једноставним постављањем каишника на вратило. Веза каишника и вратила се остварује помоћу клина (Слика 6.5) [11].



Слика 6.5 – Монтажа и веза каишника и вратила

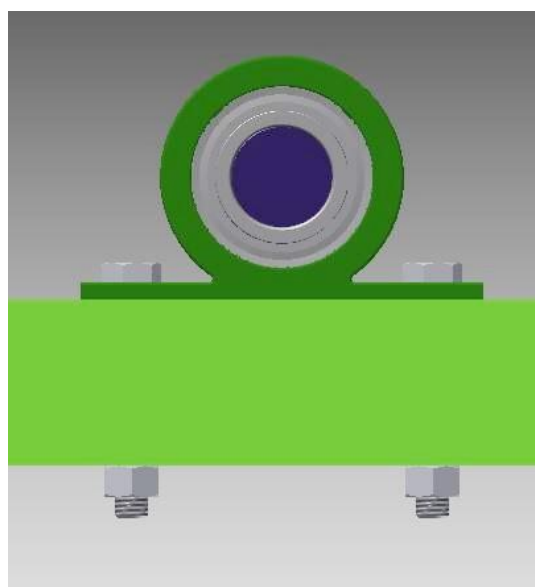
Вратило приказано на слици 6.4а, служи за пренос снаге и кретања од гоњеног каишника до кружне тестере. Пречник овог вратила је $d=28$ [mm].

Да би при експлоатацији, ова машина имала што боље карактеристике, користе се лежајеви. Они су уграђени, као што је и најчешћи случај, у ослонцима вратила (Слика 6.6а, б). На делу вратила, на којем се монтира лежај, пречник износи $d=30$ [mm], из конструкционих разлога. Уграђени су једноредни куглични лежајеви са косим додиром пречника $d=30$ [mm], ознаке: 7206 BE [13].



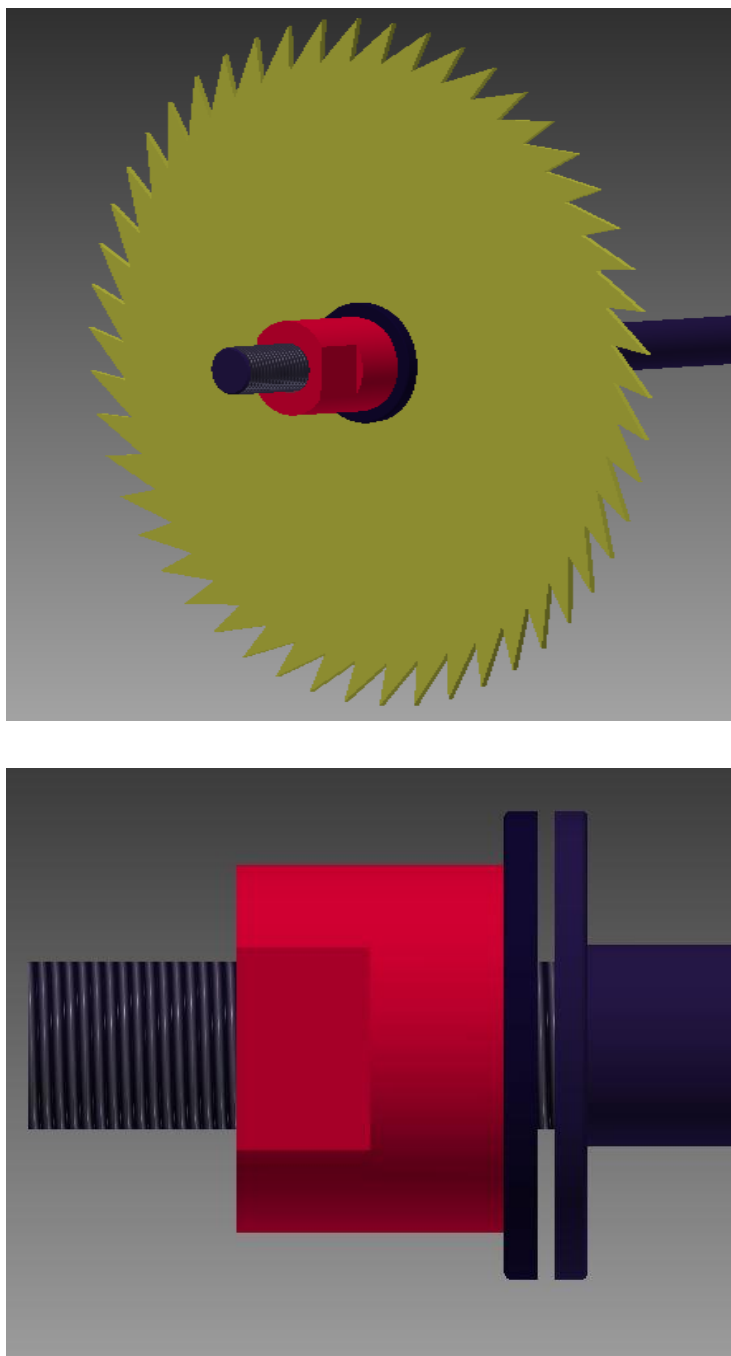
Слика 6.6 – Пример ослонца вратила са уграђеним лежајем, као и начин његовог затварања од утицаја радне средине

На слици 6.6в приказана је веза ослонца и постоља радне машине.



Слика 6.6в – Начин везивања ослонца за постоље

Кружна тестера се налази на гоњеном вратилу. Она се монтира са два прстена, кога стеже завртањ специјалног облика (Слика 6.7).



Слика 6.7 – Пример везе кружне тестере са вратилом радне машине

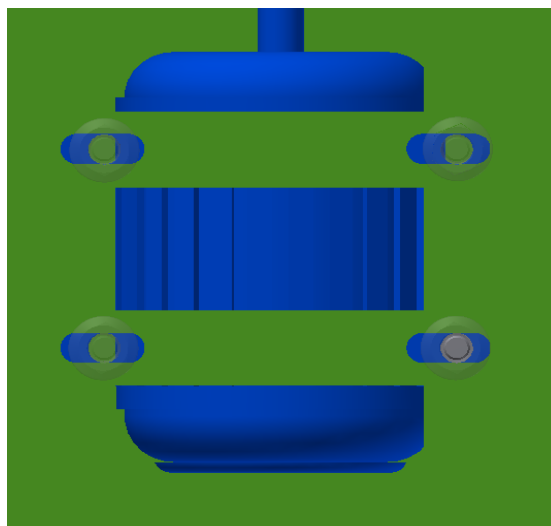
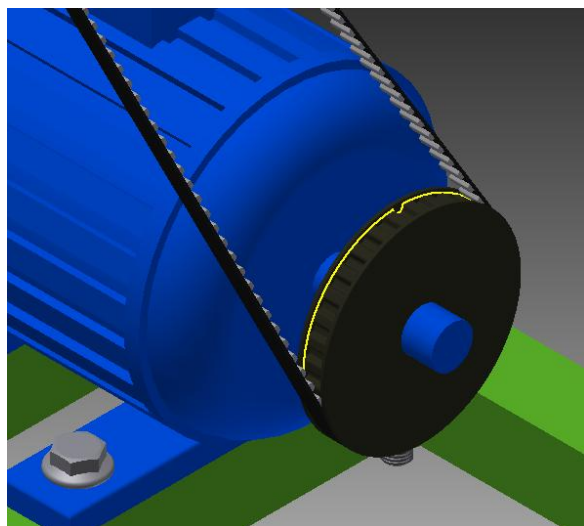
Електромотор остварује чврсту везу са постољем радне машине уз помоћ 4 завртња (Слика 6.8).

Затезање каиша се врши еластичним издужењем пре почетка рада, тако што се повећава осно растојање каиша, и на тај начин остварује потребна сила притезања.

Осно растојање каиша се може мењати, тако што се електромотор помера по специјално направљеним вођицама, односно шинама, а затим се завртњевима остварује веза са постољем (Слика 6.9).



Слика 6.8 – Веза завртњевима електромотора и постоља



Слика 6.9 – Начин затезања зупчастог каиша

7. Закључна разматрања

У овом раду извршена је анализа, прорачун и конструкција зупчasto – каишног преносника.

Зупчasti каишни преносници представљају релативно нове преноснике конструисане 40 – тих година XX века. Њихова шира експлоатација почела је применом зупчasto – каишних преносника у погону брегасте осовине мотора са унутрашњим сагоревањем. Данас зупчasti каишни преносници имају примену у свим областима индустрије. Користе се у машинској индустрији, текстилној, индустрији мотора, код разних индустријских и пољопривредних машина, као и код грађевинских и транспортних машина.

Зупчasti каишеви се састоје од вучног елемента, леђне површине, зуба и омотача. Најчешће се израђују од гуме, а у новије време за израду каишева се користе полиуретан, уретан и неопрен.

Први зупчasti каиш примењен код машине за шивење (SINGER) имао је трапезни облик зуба. Овај облик зуба се и даље производи и користи, али се такође јављају и нови профили зуба. Нови зупчasti каишеви су каишеви са криволинијским профилем зуба, који поседују знатно боље особине при самом раду, као што су: Т, АТ, АТР, ВАТ, SFAT и др. У данашње време се зупчasti каишеви могу правити и у двостраној конструкцији, односно са зубима са обе стране каиша. Применом нових профила зуба смањује се оптерећење самих зуба и врши прерасподела оптерећења.

У оквиру рада извршен је прорачун зупчasto – каишног преносника за машину за обраду дрвета следећих карактеристика: (снага: $P=1.6$ [kW], број обрта електромотора: $n_1=2920$ [min⁻¹]).

Изабрани зупчasti каиш задовољио је све провере. На основу извршеног прорачуна, извршено је моделирање машине за обраду дрвета са својим саставним деловима, као и поступак монтаже свих њених делова.

Литература

- [1] Милтеновић, В., Огњановић, М. *Машински елементи 2: Елементи за пренос снаге*, Машински факултет Ниш – Београд, 1995.
- [2] Perneder, R., Osborne, I. *Handbook Timing Belts, Principles, Calculations, Applications*, Springer, 2012.
- [3] Танасијевић, С., *Механички преносници: ланчани преносници, зупчасти каишни преносници, кардански преносници*, Југословенско триболошко друштво, Крагујевац, 1994.
- [4] Стојановић Б., Ивановић Л., Милорадовић Н. *Испитивање зупчастих каишних преносника*, Машински факултет Крагујевац, 2010.
- [5] Stojanović B., Miloradović N. *Development of timing belt drives, Mobility & Vehicle Mechanics*, Vol.35, No.2, pp. 31-36, ISSN 1450-5304, 2009.
- [6] Николић, В. *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [7] Stojanovic B., Tanasijevic S., Miloradovic N. *Tribomechanical systems in timing belt drives*, Journal of the Balkan Tribological Association Vol. 15, No 4, 465—473 (2009), Vol.15, No.4, pp. 465-473, ISSN 1310-4772, 2009.
- [8] Case, Y.R. *Timing belt drive*, McGraw Hill Book Company, INC, New York, 1954.
- [9] <http://www.habatec.net/HNET/HabaTEC.nsf/vwWebContent/081309D23B8577A7C125792E0028B355?OpenDocument>, приступљено: септембар, 2014.
- [10] Стојановић, Б. *Карактеристике триболошких процеса зупчастих каишева*, Магистарска теза, Машински факултет, Крагујевац, 2007.
- [11] Каталози компанија: Mulco, Uniroyal, Dayco, Jason Industrial Inc., Optibelt, Goodyear, Hutchinson, Atb Sever Doo.
- [12] Стојановић Б. *Механички преносници: Упутство за израду другог графичког рада*, Крагујевац, 2014.
- [13] SKF каталог: <http://www.skf.com/binary/28-136761/Sealed-SKF-single-row-angular-contact-ball-bearings.pdf>, приступљено: септембар, 2014.