



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

MEHHATROONIKA INSTITUUT

Mehhanosüsteemide komponentide õppetool

MHE40LT

*Adil Damirov*

**Isepöörlev kúpsetusvarras**

Bakalaureusetöö

Autor taotleb

tehnikateaduste bakalaureuse

akadeemilist kraadi

Tallinn

2015

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis..... juhendamisel

“.....”.....201...a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”.....201...a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”.....201... a.

..... allkiri

TTÜ mehhatroonikainstituut  
Mehhanosüsteemide komponentide õppetool  
**BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE**

2015. aasta sügissemester

Üliõpilane: Adil Damirov, 112609MAHB

Õppekava: MAHB09

Juhendaja: dotsent Igor Penkov

**LÕPUTÖÖ TEEMA (eesti ja inglise keeles):**

**Isepöörlev küpsetusvarras**

**Self-rotating skewer**

**Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1	Üldist materjali kogunemine. Grillide tüübid, suurused. Isepöörleva küpsetusvarda lahendused	5.10.2015
2.	Käepideme põhimõtteline konstruktsioon, selle eskiis. Kinnitamine grilli külge	19.10.2015
3.	Varda pöörlemiseks vajalik jõud, selle genereerimine ja akumulatsioon. Vedruajam. Liikumise peatamine ja vedru vabastamine	2.11.2015
4.	Ülekandemehhanism. Selle konstruktsioon, asukoht ja ühendused	16.11.2015
5.	Pöörlemiskiiruse ühtlustamine ja reguleerimine	30.11.2015
6.	3D mudel, kooste- ja detailjoonised. Materjalide valik	07.12.2015
7.	Kinnituskronsteinide kuju, materjalid ja kinnitusviis. 3D mudel ja joonised	14.12.2015
8.	Elektroonika ja juhtimine	2.01.2016
9.	Lõputöö vormistamine	6.01.2016

**Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:**

Vedruajami arvutus, ülekandemehhanism ja kiiruse reguleerimine, mehhanismi peatamine ja välja lülitamine, unifitseerimine

**Esitatav graafiline materjal:**

Kaitsmistaotlus esitada dekanaati hiljemalt 12.01.2016  
11.01.2016

**Lõputöö esitamise tähtaeg**

**Üliõpilane** Adil Damirov /allkiri/ ..... kuupäev 28.09.2015

Kontakttelefon 58 24 18 28 E-mail: adil.damirov@gmail.com

**Juhendaja** Igor Penkov /allkiri/ ..... kuupäev 28.09.2015

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsedtingimused formuleeritakse pöördel.

# SISUKORD

BAKALAURUSETÖÖ ÜLESANNE .....	3
EESSÕNA.....	6
1.SISSEJUHATUS .....	7
2. UURIMIS- JA ARENDUSTÖÖ OBJEKT JA LÄHTED .....	9
3. SPIRAALVEDRUGA JA PLANENETAARÜLEKANDEGA MEHCHANISM.....	10
3.1. Pöörlemisliikumise teostamise kontseptuaalne lahendus .....	10
3.2. Liikumiseks vajalik energia ja selle allikas .....	10
3.3.Energia üle kandmine .....	12
3.4. Pöörlemisageduse redutseerimine ja kiiruse stabiilsus .....	19
3.5. Seadme analüüs .....	24
3.6. Seadme tugevus, jäikus ja töökindlus .....	25
3.7. Küpsetusvarda tehnilised joonised ja spetsifikatsioonid .....	26
4.PÖÖRLEMISKIIRUSE ÜHTLUSTAMINE JA REGULEERIMINE.....	28
5.PÖÖRLEMISE LUGEMINE.....	29
6.KÜPSETUSVARDA LÕPLIK MUDEL.....	30
7. PÖÖRDEMOMENDI MÕÕTMINE.....	34
8. KÜPSETUSVARDA HOIDIKU VÄLJA TÖÖTAMINE.....	35
KOKKUVÕTE.....	36
SUMMARY .....	38
KASUTATUD KIRJANDUS .....	40
LISAD.....	41

## EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema kujunes välja Tallinna Tehnikaülikooli mehhatroonikainstituudi ühest projektist. Juhendajaks oli dotsent Igor Penkov kelle nõuandeid olid väga kasulikud ja ma tahaksin teda selle eest tänada.

Antud teema pakkus autorile erilist huvi, kuna ta ise on kolme aasta jooksul töötanud restoranis šašlõki valmistajana. Töötades seal vahetevahel tulid mõtteid, kuidas oleks võimalik optimeerida šašlõki valmistamise protsess, kuna töö on küllalt keeruline. Siin tuleb jälgida liha seisundit ja pidevalt pöörata vardaid, et ära ei krõbedaks. Samal ajal on vaja valmistada ette uued tellimused ja mis oleks kõike tähtsam – marineerida mitu erinevaid lihasorte.

Käesolevas diplomitöös on läbimõeldud küpsetusvarda isepöörlemise teostamise võimalused. Esimesel pilgul võib temaatika paistma lihtsaks ja mittetähtsaks, tegelikkuses aga on see küllalt aktuaalne. Kolmeaastase töökogemusega restoranides Han ja Funduk tean kui raske võib olema inimestele toidu valmistamine kus šašlõkk on üks lemmik roogadest. Seepärast oli läbimõeldud, kuidas saaks seda protsessi kergendada.

Autori eesmärk selles töös on töödelda välja seadme, mis lihtsustaks šašlõkki valmistamist. Samas üheks prioriteediks on valitud elektrienergia võimalikult minimaalne kasutamine. Taolise seadme olemasolu aitab autori arvamusel inimestele valmistada šašlõkk õigelt.

# 1.SISSEJUHATUS

Bakalaureusetöö on jagatud mitmeks osaks ja nende valmistamise tähtajad olid algusest teada. Esimesena oli vaja valida välja lahendusvariant, siis tegema arvutused ja projekteerida mehhanismi mudel. Selleks on vajalik:

- kindalaks määrama mehhanismi tehniline lahendus,
- luua mehhanismi mudel programmis SolidWorks,
- arvutada seadme omahind.

Tänapäeval mitte iga inimene võib praadida ilusti šašlõki – peab olema hea kokk. Sellepärast on mõelnud välja mitmesuguseid tehnoloogiaid, et oleks mugavam ja igale inimesele oleks lihtne valmistada toit iseseisvalt.

Esimesena võib nimetada elektrigrill. Elektrigrill on selline seade, kus varras pöörleb automaatselt ja röstitud liha valmistub elektrilisest spiraalist. On võimalik suvalisel ajal valmistada toit kodus või köögis, kuid sellise šašlõkki maitse kindlasti erineb süsigrillil valmistatud šašlõkilt. Pilt on võetud veebsaidist[1].



Sele 1.1. Elektrigrill.

Teine variant võiks olema väike mootor akuga, kus kõik küpsetusvardad on kettülekanne abil mootoriga ühendatud. See vajab erigrilli ehitamist ning varraste peale panemine ja ära võtmine on keeruline. Keti vigastamise puhul vajatakse aeg grilli parandamiseks. All on toodud pilt veebsaidist[2].



Sele 1.2. Väike motor akuga.

Kõik see on ebamugav ja visuaalselt vähe atraktiivne. Minu idee on ehitada välja ilus ja mugav grillimisviis. Teiste sõnadega – antud diplomitöö võiks olema aktuaalne.

Esimene osa lõputöös on seotud arvutamisega, eesmärgiga teada saada missugused detailid on parem kasutada arvestades erinevaid nõuded nagu: pöörlemissagedus, töömehhanism, selle väljenägevus, kiiruse stabiliseerimine, kinnitamis viisid, töötemperatuur, omamass, mõõdud ja maksumus.

Teine samm on projekteerida küpsetusvarras, mille sees detailid oleksid määratud järjestikkus. Konstruktsioon on mugav kasutada ja hästi töötada.

Bakalaureuse töö tegemiseks oli vajalik kasutada 3D CAD modelleerimisprogrammi SolidWorks 2012. 3D mudel peab olema täpne ja arusaadav.

Viimane samm on arvutada kulude maksumus, mis koostetakse detailide hindadest.



# PÕHIOOSA

## 2. UURIMIS- JA ARENDUSTÖÖ OBJEKT JA LÄHTED

Varras on mõeldud liha (šašlõki) grillimiseks igat tüüpi grillidel.

Peale liha panemist vardale, selle käepide üks pool keeratakse teise poole suhtes ja vedrus akumulieeritakse energia, mis peale varda kinnitamist grilli peal hakkab varda pöörlema umbes 10 min.

Nõuded:

- Pöörlemissagedus:  $MIN = 0,5 \text{ min}^{-1}$ ,  $MAX = 1 \text{ min}^{-1}$ .
- Vedru käima panemiseks üks pool käepidemest keeratakse teise suhtes 4 – 5 liigutustega (2 – 2,5 täispööret). Et tagasikeeramise saaks 5 – 10 pööret tuleb kasutada ülekanne (ilmselt hammasülekanne).
- Kiiruse stabiliseerimiseks varda lahti-keeramisel ilmselt saab kasutada kiiruseregulaator.
- Käepideme kinnitatakse kronsteinile, mis on fikseeritud grilli peal. Grillid on kandilised ja ümarat (erinevate raadiustega). Kronsteinid kas universaalne või erinevad.
- Varda teise otsale saab kinnitada puks, mis on väljas ümara kujuga (kergendab pöörlemist).
- Varras ja käepideme saab ühendada kruvidega (varda puhastamiseks/pesemiseks keeratakse see lahti). Sellisel variandil on võimalik varda ja käepideme vahele paigaldada soojuse mitteläbilaskev tihend (käepideme ei lähe kriitiliselt kuumaks).
- Üldjuhul töötemperatuur kuni 120 °C.
- Varda pöörlemist peab saama peatada vajutades lukustamisnuppu.
- Samuti on vaja nupu vajutamise saada vedru kiiret lahti keeramist.
- Varda peal on ca 0,5 kg liha.
- Liha massikese(-sed) on ekstsentrilised.

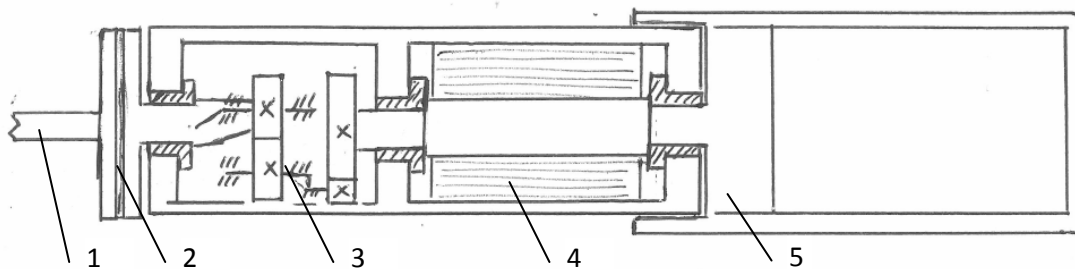
Piirangud:

- Käepideme suurus: läbimõõt ca 30 mm, pikkus ca 150 mm.

### 3. SPIRAALVEDRUGA JA PLANETAARÜLEKANDEGA MEHHANISM

#### 3.1. Pöörlemisliikumise teostamise kontseptuaalne lahendus

Küpsetusvarda pöörlema panemiseks kasutatakse spiraalvedru ja ülekandemehhanismi kas pöörete arvu vähendamiseks vedru üleskeeramisel või vedru pöörlemisageduse redutseerimiseks lahti keeramisel. Peale liha asetamist vardale, varda käepide üks pool keeratakse teise poole suhtes ja vedrus akumuleeritakse energia. Seejärel vedru lastakse lahti, mis paneb varda pöörlema umbes 10 minuti jooksul. Küpsetusvarda üks kontseptuaalsetest lahendustest on kujundatud joonisel 3.1.



Sele 3.1. Pöörleva küpsetusvarda kontseptuaalne lahendus.

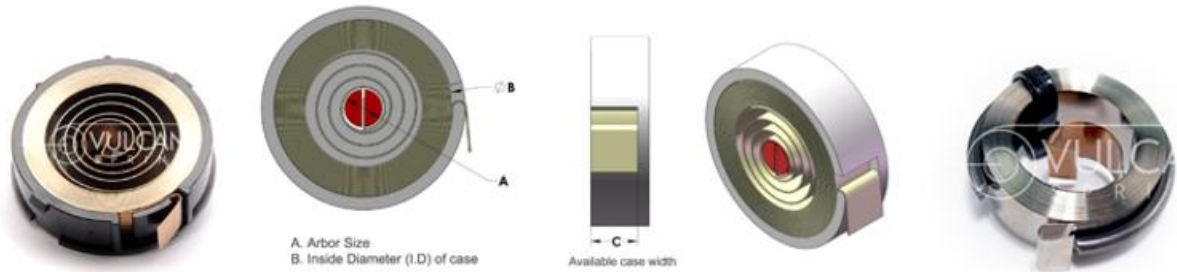
- 1 – küpsetusvarras; 2 –küpsetuavarda ja pöörlemismehhanismi ühenduskoht;  
3 – hammasülekanne pöörlemisageduse redutseerimiseks; 4 – spiraalvedru; 5 – käepide.

#### 3.2. Liikumiseks vajalik energia ja selle allikas

Küpsetusvarda pöörlemiseks vajaliku energia genereerimiseks kasutatakse spiraalvedru. Valitakse Conpower spiraalvedru [1]. Selle vedru eripära seisneb selles, et vedrul pöördemomendi ja pöörete arvu karakteristik tagab ühtlasema pöördemomendi.

Vedru valikul lähtutakse tehnilistest nõuetest, et vedru peab olema võimeline pöörlema panema šaslikivarda koos lihaga, mille kogumass on 0,5 kg. Šaslikivarras koos lihaga moodustavad silindri, mille välisläbimõõt on 80 mm. Seega võib ligikaudselt arvutada vajaliku pöördemomendi  $T_1 = 2,5 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} = 100 \text{ Nmm}$ . Silindervedru valikul tuleb samuti

lähtuda asjaolust, et minimaalne nõutud pöörete arv on 10 pööret ja nõutav pöörlemissagedus on  $n_{\max} = 1 \text{ min}^{-1}$ . Seega sobilikuks osutused spiraalvedrud SCP7.5D50VS, SCP6G135VS ja SCP4G202VS (vaata sele 3.2).



Sele 3.2. Conpower spiraalvedru mõõtmed

Vedru tellimine interneti kaudu [2, 3, 4]. Ühe vedru hind on 75 \$.

Alternatiiviks võib kasutada odavama kellavedru, kuid saadaval on ainult maksimaalselt 8 keerdega kellavedrud. Samuti nende tööiga on piiratud pöördenurgaga ja see on alla 10 000 töötundi.

All dimensions are in mm

$t$  = Material thickness

$b$  = Material width

$A$  = Shaft (recommended)

$r$  = Radius from spring centre to locating centre

$n$  = Number of coils

$\varphi$  = Torque angle at  $M_n$

$M_n$  = Maximum permitted torque in Nmm

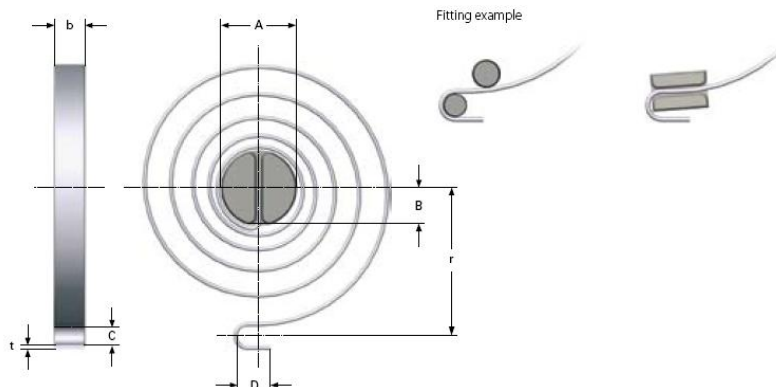
$R$  = Rate, Nmm per degree of torque

$N_c$  = Number of oscillations (life)

Material: Stainless steel EN 10270-3-1.4310

Tolerance: Tolerance for the position between inner and outer locating points is  $\pm 10$  degrees for 5 coil springs and  $\pm 15$  degrees for 8 coil springs.

1 kp = 9.80665 Newtons, 1 Newton = 0.10197 kp



Sele 3.3. Kellavedru.

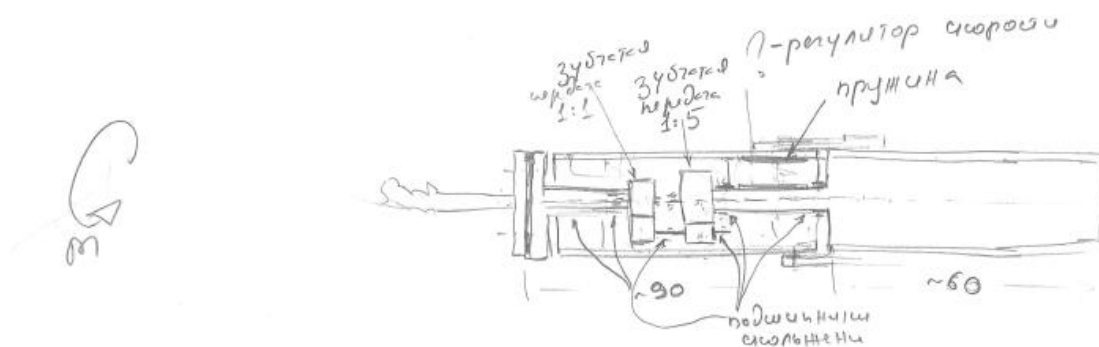
Vedru lahtikeeramisel tekkiva pöörlemissageduse ja lahtikeeramise aja arvutamist käsitletakse punktis 3.4. Pöörlemissageduse redutseerimine ja kiiruse stabiilsus. Vedru tugevusarvutused teostatakse punktis 3.6. Seadme tugevus, jäikus ja töökindlus.

Vedru SCP4G202VS korpuseks sobib RUUKKI SS1232 (St33) õhukeseinaline toru Ø40x1,5 [5]. Torule (laius 14 mm) võiks lisada umbes 2 mm paksuse seina (põhja) spiraalvedru paremaks fikseerimiseks. Seega vedru SCP4G202VS korpuse kogu laiuseks kujuneb 16 mm. Spiraalvedru kinnitamine käib vastavalt joonistel 3.3 toodud vedru kinnitamise näitele.

### 3.3. Energia ülekandmine

Esmane eskiis ja idee oli panna hammasülekanne.

Hammasülekanne edastamine 1:5 pärast 1:1. Seel 3.4 on näha.



Sele 3.4. Hammasülekanne edastamine, eskiis

### Ülekanne arvutus

Telgede vahe

$$a_w = K_a (u + 1) \sqrt[3]{\frac{K \cdot T_2}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_a}},$$

kus  $K_a = 495$  – sirghammastega rataste korral;

$K$  – koormusetegur,  $K = K_\alpha K_\beta K_v$ ,  $K_\alpha$  – koormuse jaotumise tegur, sirghammaste korral

$K_\alpha = 1$ ;  $K_\beta$  – koormuse kontsentratsiooni tegur, rataste ebasümmeetrilise asendi puhul

$K_\beta = 1,1 \dots 1,25$ ;  $K_v$  – dünaamikategur, vähetõukelise koormuse puhul, sirghammastega ülekannetes ringkiirusega kuni 5 m/s

Siis  $K = K_\alpha K_\beta K_v = 1 \cdot 1,25 \cdot 1,05 \approx 1,31$

$\psi_a = 0,125 \dots 0,25$  – sirghammastega rataste korral (reast 0,1; 0,125; 0,16; 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25).

Siis  $a_w = K_a (u+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{K \cdot T_2}{[\sigma_H]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_a}} = 495 \cdot (5+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,31 \cdot 0,1}{442^2 \cdot 5^2 \cdot 0,25}} \approx 14 \text{ mm.}$

Lähim standardarv on  $a_w = 14 \text{ mm}$

reast I: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500...

reast II: 71, 90, 112, 140, 180, 224, 280, 355, 450, 560...

Ülekande moodul

$$m = (0,01 \dots 0,02) a_w = (0,01 \dots 0,02) \cdot 14 = 0,14 \dots 0,28 \text{ mm.}$$

Valime  $m = 0,25 \text{ mm}$

Väikeratta hammaste arv

$$z_1 = \frac{2a_w}{m \cdot (u+1)} = \frac{2 \cdot 14}{0,25 \cdot (5+1)} \approx 18.$$

Siis  $z_2 = z_1 \cdot u = 18 \cdot 5 = 90.$

Rataste läbimõõdud:

jaotusringjoon  $d_1 = m \cdot z_1 = 0,25 \cdot 18 = 4,5 \text{ mm};$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 0,25 \cdot 90 = 22,5 \text{ mm};$$

peaderingjoon  $d_{a1} = d_1 + 2m = 4,5 + 2 \cdot 0,25 = 5 \text{ mm};$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 22,5 + 2 \cdot 0,25 = 23 \text{ mm};$$

jalgaderingjoon  $d_{f1} = d_1 - 2,5m = 4,5 - 2,5 \cdot 0,25 = 3,875 \text{ mm};$

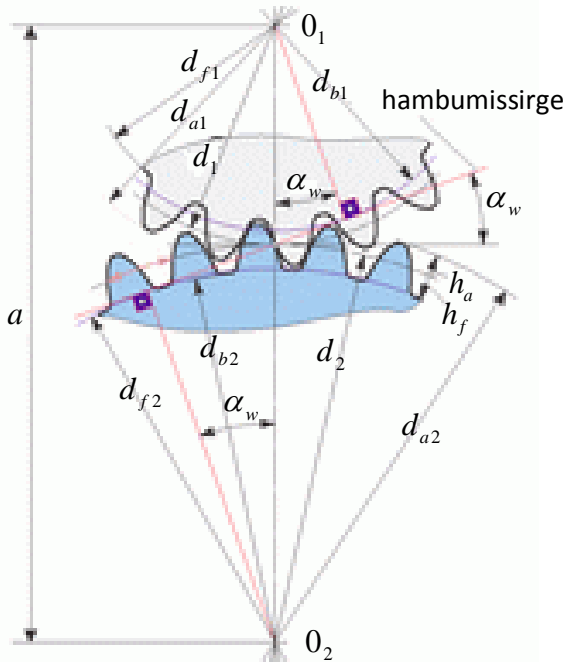
$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 22,5 - 2,5 \cdot 0,25 = 21,875 \text{ mm.}$$

Täpsustame telgede vahe

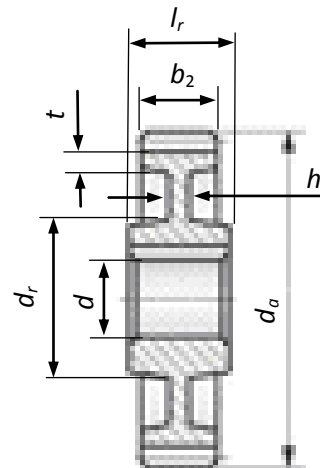
$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{4,5 + 22,5}{2} = 13,5 \text{ mm.}$$

Suureratta hammasvöö laius

$$b_2 = \psi_w \cdot a_w = 0,25 \cdot 13,5 \approx 3,4 \text{ mm, valime } b_2 = 4 \text{ mm.}$$



Sele 3.5. Evolventvälishambumise kujundamine.



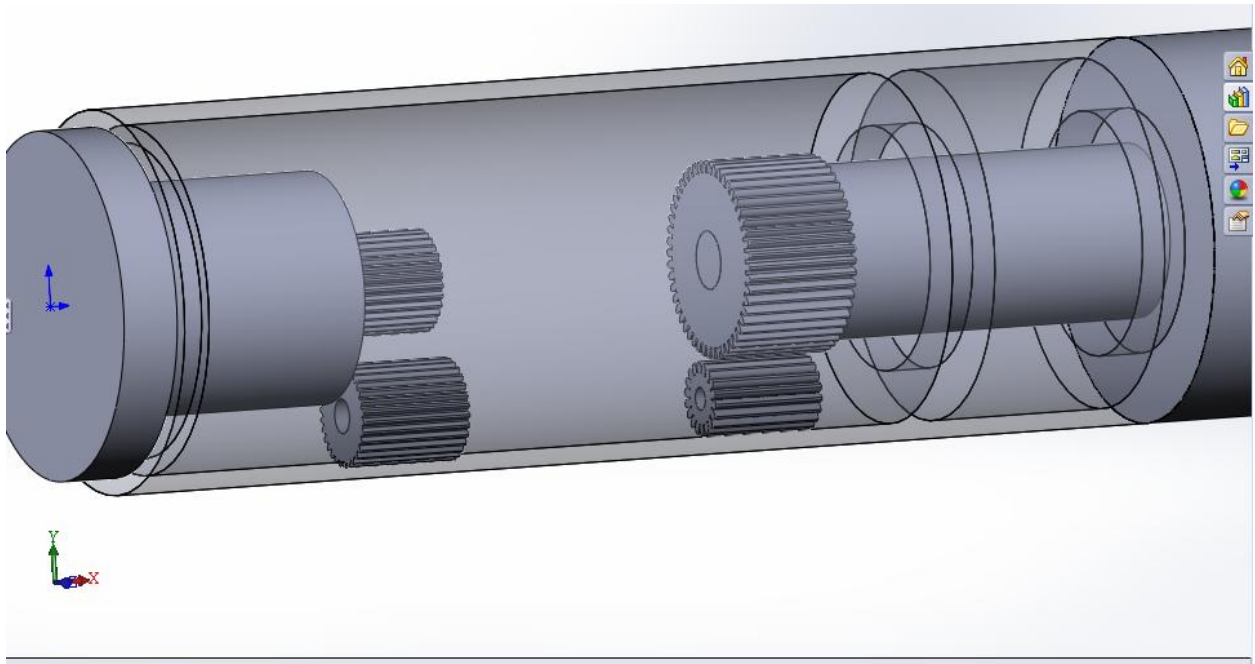
Sele 3.6. Hammasratta mõõtmed.

Ratta rummu mõõtmeid, ketta ja hammasvöö paksust saab valida järgmiselt

$$l_r = (1,0 \dots 1,5) \cdot d; \quad d_r \approx 1,55 \cdot d;$$

$$t = 2,2 \cdot m + 0,05 \cdot b_2; \quad h \approx 1,4 \cdot t$$

Hiljem mõlemate hammaspaaride arvutusega tekkisid probleemid. Üks hammaspaar on suhtega 1:5 ja teine 1:1. Kui kaks ratta panna ühele võllile (Sele 3.7), siis 1:1 paari rattaid ei mahu ettenähtud korpuse piiridesse. Vähendades rataste mõõtmeid tulevad nad aga hambumisest välja.



Sele 3.7. Eskiis 3D Hammasülekanne

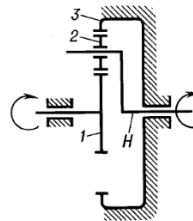
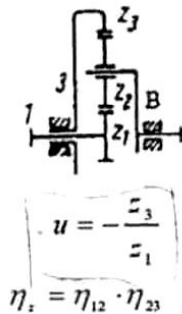
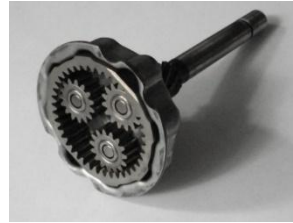
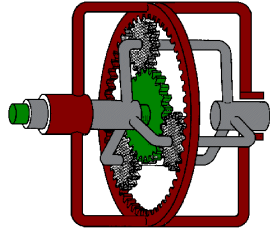
Pärast arutamist, oli selgeks jäänud, et parem oleks teha teisiti. Oli mõistlik kasutada planetaarmehhanism. Selle mehhanismi põhimõtte on paljude satelliitidega rohkem ruumi ja lihtsam ehituse teha.

Allpool on toodud planetaarmehhanismi arvutused ja võimalikud ettevõtted, kust saab tellida sobivad hammasrattad.

Selleks, et tagada, et spiraalvedru saaks üleskeerata kas ainult 2 pöördega 10 täispöörde korral, 6 pöördega 30 täispöörde korral või 8,8 pöördega 44 täispöörde korral valitakse planetaarreduktor järgmiste parameetritega:

- Pöördemoment väljundvõllil umbes  $T_2 = 20$  Nmm, kuna pöördemoment silindrilisel vedrul on umbes 100 Nmm ja planetaarmehhanismi ülekandearv on 5.
- Satelliitide arv  $n_s = 3$ .
- Ülekandesuhe  $i = 0,2$ ; hammasrattaste hammaste arvud  $z_3 = 72$ ;  $z_2 = 27$ ;  $z_1 = 18$ . Mehhanismi sisend on planeetkandja B; väljund on keskratas 1; fikseeritud on sisehambumisega ratas 3 (vt. joonis 3.8).  
Hammasülekanne ülekandearv  $u = -z_3/z_1 = -72/18 = -4$ .

- Ülekahdesuhe (kiiruse järgi) arvutatakse valemiga  $i = 1/(1 - u) = 1/(1 - (-4)) = 0,2$ ;
- Ülekandesuhe (momentide järgi):  $i_M = 1/(1 - u/\eta_z) = 1/(1 - (-4/0,9604)) = 0,194$ .



Sele 3.8. Planetaarmehhanismi näiteid ja kinemaatikaskaem (multiplikaator).

Mehhanismi sisend on planeetkandja B; väljund on keskratas 1;  
fikseeritud on sisehambumisega ratas 3.

Hammassülekande kasutegur on  $\eta_z = 0,98 \cdot 0,98 = 0,9604$ .

Planetaarmehhanismi kasutegur  $\eta_p = (1 - u)/(1 - u/\eta_z) = (1 - (-4))/(1 - (-4)/0,9604) = 0,968$ .

Satelliitide arv  $n_s = 3$  (hambumises tekkivate jõudude tasakaalutingimusest)

Keskratta hammaste arv  $z_1 \geq 13$  (sissejõige tekkimise vältimiseks),

valitakse  $z_1 = 18$ .

Satelliidi hammaste arv  $z_2 = 0,5z_1(u - 2) = 0,5 \cdot 18(5 - 2) = 27$

Hambumise tekkimise tingimus:  $\frac{2(z_1 + z_2)}{n_s} = \frac{2(18 + 27)}{3} = 30$  - täisarv s.t tingimus on täidetud.



Heanaaberikkustingimus (tagab lõtku satelliitide vahel):  $(z_1 + z_2) \sin \frac{\pi}{n_s} \geq z_1 + 2$

$$(z_1 + z_2) \sin \frac{\pi}{n_s} = (18 + 27) \sin \frac{180}{3} \approx 39$$

$$z_2 + 2 = 27 + 2 = 29$$

$39 > 29$  - tingimus on täidetud.

Sisehambumisega hammasratta hammaste arv  $z_3 = z_1 + 2z_2 = 18 + 2 \cdot 27 = 72$

Ülekande telgede vahe (keskratta ja satelliidi telgede vahe) arvutatakse vastavalt valemile:

$$a_w \geq K_a (u + 1) \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta}}{n'_c [\sigma_H]^2 u^2 \psi_{ba}}},$$

kus sirghammastega silindriliste hamasrataste korral  $K_a = 49,5$ ;

$[\sigma_H]$  - lubatav kontaktpinge (parendatud konstruktsioonilise terase korral umbes  $[\sigma_H] = 442$  MPa).

Näide lubatava kontaktpinge arvutamisest. Kui hammasratta materjaliks on parendatud/karastatud teras BS970 Pt.3 1991 080M40 (EN8), siis lubatav kontaktpinge arvutatakse järgmiselt (keskmise kõvadus 179HB):

$$[\sigma_H] = (2 \text{ HB} + 70)/1,1 = (2 \cdot 179) + 70 = 429/1,1 = 390 \text{ MPa},$$

kus 1,1 on ohutuse tegur.

Teistest materjalidest näiteks plastikust hammasrattad pole sobilikud kasutamiseks, et sest näiteks Polyacetals POM plastiku lubatav kasutustemperatuur on vahemikus  $-50$  °C kuni  $+90$  °C.

Ühe hammasülekande ülekandearv  $u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{27}{18} = 1,5$ ;

$$\text{pöördemoment } T_2 = \frac{T}{u_H} = \frac{100}{5} = 20 \text{ N}\cdot\text{mm};$$

koormuse kontsenratsiooni tegur  $K_{H\beta} = 1,1$ ;

satelliidi lauisse tegur  $\psi_{ba} = 0,2$ .

$$n'_s = n_s - 0,7 = 3 - 0,7 = 2,3$$

Kui  $[\sigma_H] = 442 \text{ MPa}$  (vastab keskmisele kõvadusele 208 HB)

$$a_w \geq K_a (u+1) \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta}}{n'_c [\sigma_H]^2 u^2 \psi_{ba}}} = 49,5(1,5+1) \sqrt[3]{\frac{20 \cdot 1,1}{2,3 \cdot 442^2 \cdot 1,5^2 \cdot 0,2}} \approx 6 \text{ mm.}$$

Kui  $[\sigma_H] = 390 \text{ MPa}$

$$a_w \geq K_a (u+1) \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta}}{n'_c [\sigma_H]^2 u^2 \psi_{ba}}} = 49,5(1,5+1) \sqrt[3]{\frac{20 \cdot 1,1}{2,3 \cdot 390^2 \cdot 1,5^2 \cdot 0,2}} \approx 4,71 \text{ mm.}$$

Kui  $n' = 2,3$ , mitte arvesse võtta, siis  $a_w = 6,28 \text{ mm}$

$$\text{Hammasrataste moodul } m = \frac{2a_w}{z_1 + z_2} = \frac{2 \cdot 6}{18 + 27} \approx 0,26 \text{ mm}$$

Valitakse moodul  $m = 0,5 \text{ mm}$ .

Siis hammasratase jaotuslääbimõõdud on järgmised:

$$d_1 = m \cdot z_1 = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ mm}$$

$$d_2 = m \cdot z_2 = 0,5 \cdot 27 = 13,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = m \cdot z_3 = 0,5 \cdot 72 = 36 \text{ mm}$$

$$\text{Telgede vahe arvutatakse valemiga: } a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{9 + 13,5}{2} = 11,25 \text{ mm.}$$

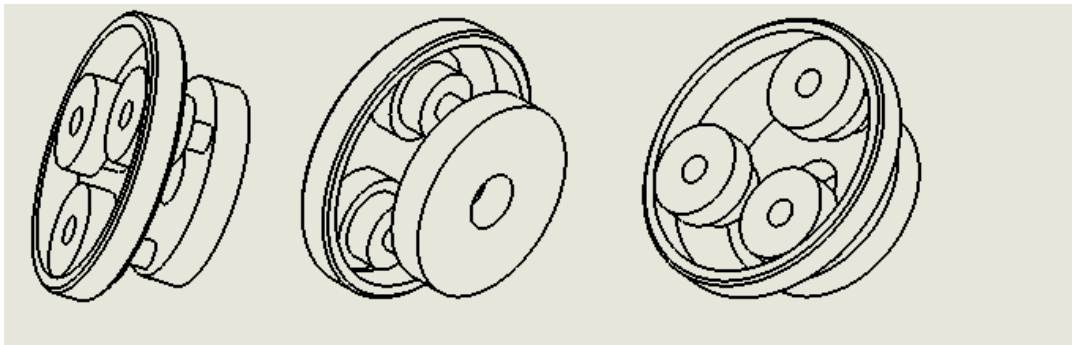
Satelliidi paksus  $b = \psi_{ba} \cdot a_w = 0,2 \cdot 11,25 = 2,25 \text{ mm}$ , tuleb valida vähemalt  $b = 3 \text{ mm}$ .

Kataloogides on saadaval välisambumisega hammasrattad, mille hamba paksus

$b_{\text{välis}} = 4 \text{ mm}$  ja siseambumisega ratas (hammasvöö), mille paksus on  $b_{\text{sise}} = 5 \text{ mm}$ .

Välisambumisega päikeseratas ja sateliidid võib tellida Rootsi firmas [6, 7]. Teised firmad, kus võib tellida hammasrattad, üks Rootsi firma Eesti esinduses [8], aga puudub  $z_2 = 27$  hammasratas, veel on Tšehhi firma [9, 10], ja Poola firma [11]. Siseambumisega ratas võib tellida Inglismaa firmas [12, 13].

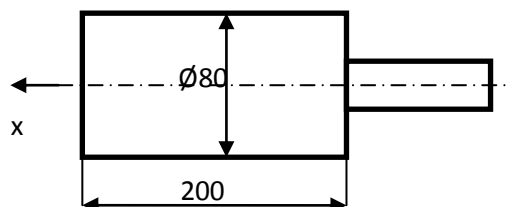
Siseambumisega hammasratas ehk hammasvöö on välisläbimõõduga  $D = 50$  mm. Tuleks kohendada 50 mm välisläbimõõduga läbimõõdule  $D = (40 - 42)$  mm. Valitakse  $D = 40$  mm. Lähtuvalt sellest kúpsetusvarda korpuse välisläbimõõduks võiks valida RUUKKI ümartoorik läbimõõduga 50 mm (treimisel tagada välisläbimõõduga 45 mm ja seinapaksus 2,5 mm). Korpuse materjaliks valitakse roostevaba teras 1.4404 [14].



Sele 3.9. Planetaarmehhanism ilma keskrattata (hambad pole välja joonistatud).

### 3.4. Pöörlemisageduse redutseerimine ja kiiruse stabiilsus

Selleks, et teada saada millise pöörlemisagedusega hakkab pöörlema kúpsetusvarras, tuleb arvutada süsteemi inertsimoment.



Sele 3.10. Kúpsetusvarda (lihaga) mõõtmed.

Kúpsetusvarda (koos lihaga) inertsimoment pöörlemistele suhtes arvutatakse valemiga:

$$I_x = mr^2/2 = 0,5 \cdot 0,04^2/2 = 0,0004 \text{ kgm}^2,$$

kus  $m$  - on küpsetusvarda mass koos lihaga (0,5 kg);  $r$  – on küpsetusvarda raadius (40 mm ehk 0,04 m).

Kui süsteemi inertsimoment on teada, tuleb arvutada spiraalvedru nurkjäikus  $c$  [Nm/rad].

$$c = \frac{T_1}{\phi},$$

kus  $T_1$  on pöördemoment ja  $\phi$  on kellavedru pöördnurk.

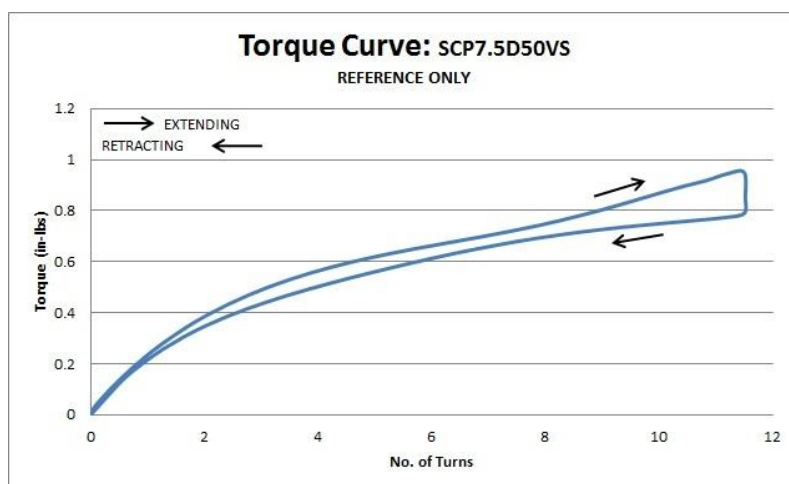
Peale vedru nurkjäikuse arvutamist saab arvutada süsteemi nurkkiirust [rad/s]:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}}$$

Nurkkiiruse teisendamiseks pöörlemissageduseks kasutatakse seost  $n = \frac{30\omega}{\pi}$  [1/min].

Vaatleme nüüd erivedrude nurkjäikused ja nendele vastavad pöörlemissagedused ja lahtikeeramise ajad. Conpower vedrude nurkjäikused on erinevad lahtikeeramise alg ja lõpphetkel.

- Vedru SCP7.5D50VS, 11,5 pööret, Sele 3.11.



Sele 3.11. Vedru SCP7.5D50VS pöördemomendi ja pöörete arvu sõltuvus.

11,5. pöörde korral on pöördemoment  $M = 83 \text{ Nmm}$  ehk  $0,083 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment algphetkel) vt joonis 3.11.:

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,083}{11,5 \cdot 2\pi} = 0,0012 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,0012}{0,0004}} = 1,73 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,73}{\pi} = 16,52 \text{ min}^{-1}$$

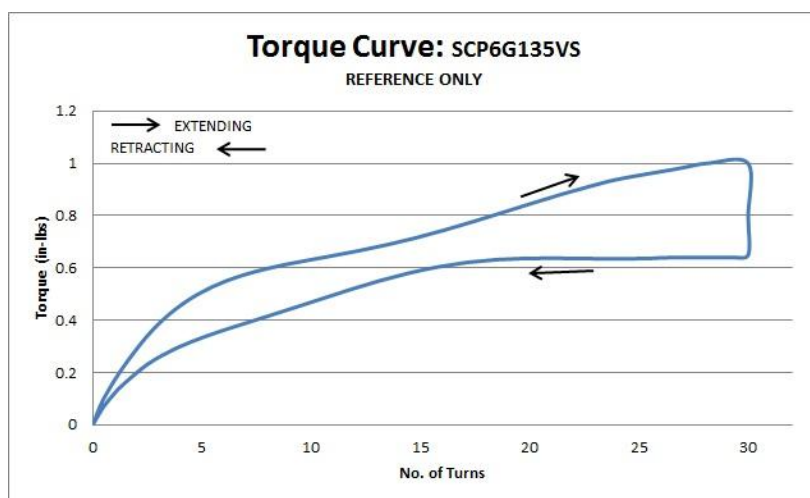
1 pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 22,6 \text{ Nmm}$  ehk  $0,0226 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment lõpphetkel):

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,0226}{2\pi} = 0,0036 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,0036}{0,0004}} = 3 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 3}{\pi} = 28,7 \text{ min}^{-1}$$

Seega keskmine kiirus on umbes  $4,5 \text{ min}^{-1}$ . Seega pöörlemisaeg on  $11,5/22,5$  ehk  $0,5$  minutit. Vedru üleskeeramiseks tuleb teha  $2,3$  pööret.

- Vedru SCP6G135VS , 30 pööret, Sele 3.12.



Sele 3.12. Vedru SCP6G135VS pöördemomendi ja pöörete arvu sõltuvus.

30. pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 105,1 \text{ Nmm}$  ehk  $0,1051 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment alghetkel):

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,1051}{30 \cdot 2\pi} = 0,00058 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,00058}{0,0004}} = 1,2 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,2}{\pi} = 11,5 \text{ min}^{-1}$$

20. pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 105,1 \text{ Nmm}$  ehk  $0,1051 \text{ Nm}$ :

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,1051}{20 \cdot 2\pi} = 0,00084 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,00084}{0,0004}} = 1,45 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,45}{\pi} = 13,9 \text{ min}^{-1}$$

1 pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 11,29 \text{ Nmm}$  ehk  $0,0113 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment lõpphetkel):

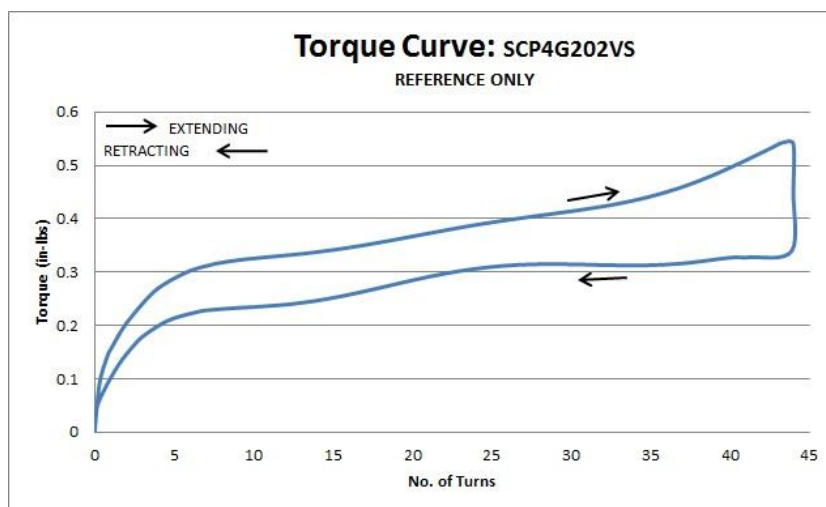
$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,0113}{2\pi} = 0,0018 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,0018}{0,0004}} = 2,12 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 2,12}{\pi} = 20,3 \text{ min}^{-1}$$

Seega vastavalt vedru karakteristikule vedru keskmiseks kiiruseks on  $15 \text{ min}^{-1}$ . Seega pöörlemisaeg on  $30/15$  ehk 2 minutit. Vedru üleskeeramiseks tuleb teha 6 pööret.

Tuleb valida vedru suurema pöörete arvuga.

- Valime vedru SCP4G202VS



Sele 3.13. Vedru SCP4G202VS pöördemomendi ja pöörete arvu sõltuvus.

44. pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 46,3 \text{ Nmm}$  ehk  $0,0463 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment algphetkel):

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,0463}{44 \cdot 2\pi} = 0,000168 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,000168}{0,0004}} = 0,65 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 0,65}{\pi} = 6,2 \text{ min}^{-1}$$

5 pöörde korral on pöördemoment  $T_1 = 24,9 \text{ Nmm}$  ehk  $0,0249 \text{ Nm}$  (ehk pöördemoment lõppphetkel):

$$c = \frac{T_1}{\phi} = \frac{0,0249}{5 \cdot 2\pi} = 0,00079 \text{ Nm/rad} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{c}{I_x}} = \sqrt{\frac{0,00079}{0,0004}} = 1,4 \text{ rad/s}$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,4}{\pi} = 13,4 \text{ min}^{-1}$$

Seega keskmine kiirus on umbes  $9,8 \text{ min}^{-1}$ . Kuna vedru karakteristik on küllalt lame, võib oletada, et alates 44. kuni 5. pöördest pöörlemissagedus on enam vähem konstantne ja võrdub  $7 \text{ min}^{-1}$ . Seega pöörlemisaeg on  $40/7$  on 6 -7 minutit. Vedru üleskeeramiseks tuleb teha 8,8 pööret.

Kuigi viimase vedru arendatav pöördemoment on  $T_1 = 46,3 \text{ Nmm}$ , mis on väiksem kui esialgselt paika pandud  $T_1 = 100 \text{ Nmm}$ , võib oletada, et sellest piisab šašlökivarda pöörlemiseks.

$$T_1 = I \cdot \varepsilon = I \cdot \omega/t = 0,0004 \cdot 0,73/0,1 = 2,92 \text{ Nmm} \text{ kui pöörlemissagedus on } 7 \text{ min}^{-1}$$

$$T_1 = I \cdot \varepsilon = I \cdot \omega/t = 0,0004 \cdot 0,1/0,1 = 0,41 \text{ Nmm} \text{ kui pöörlemissagedus on } 1 \text{ min}^{-1}$$

Vajadusel võib lisada bilanssiratas spiraalvedru lahtikeeramise pöörlemissageduse vähendamiseks ja lahtikeeramise aja suurendamiseks. Sele 3.15. Ümber vedru detail.

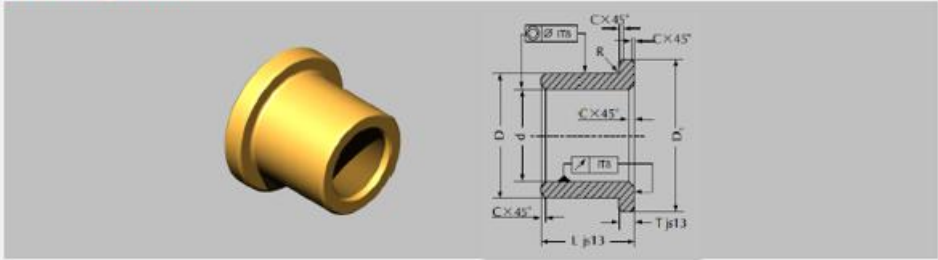
### 3.5. Seadme analüüs

Seade koosneb silindrilisest korpusest. Seadme korpus tuleb valmistada RUUKKI ümartoorikust läbimõõduga 45 mm või 50 mm (materjal roostevaba teras 1.4404). Vasakult poolt asetatakse silindrilisse korpusesse spiraalvedru. Paremtalt poolt asetatakse planetaarmehhanism, selleks et vähendada vedru üleskeeramiseks nõutud pöörete arvu. Silindrilise korpuse otstes asetatakse kaaned. Kaaned kinnitatakse korpusesse M40 keerme abil. Vedru korpuse ja planetaarmehhanismi fikseerimiseks telgsuunas kasutatakse vaherõngaid. Vedru üleskeeramiseks kasutatakse käepidemed. Vedru fikseerimiseks üleskeeratud olekus käepideme juures asetatakse pörklõukmehhanism. Pörkratta võiks kinnitada võllil stopperõngaga, mis pole Seelil 3.11. näidatud.

Sisend ja väljundvõllid on toetatud pronkspuksidega. Antud rakenduses on võimalik kasutada ka SKF radiaalkuullaagreid 626-2Z [15].

Alternatiiviks on pronkspuksid [16, 17].

**FU-BB Flanged Bush**



Product No.	d	D	D1	T	L
FU-BB0306	G7	s7	js13	js13	js13
FU-BB0408	3	6	9	1.5	4-5-6-10
FU-BB0408	4	8	12	2	4-5-6-8-10-12
FU-BB0509	5	9	13	2	4-5-8
FU-BB0610	6	10	14	2	5-6-10-12-15-16
FU-BB0711	7	11	15	2	5-8-10
FU-BB0812	8	12	16	2	8-10-12-15-16-20

Tabel 3.1. Pronkspuksid.

Valitakse pronkspuksid FU-BB0610, 3 tk, võllide toetamiseks.

Seadme komponentidega ja nende asukohaga konstruktsioonis saab tutvuda ka kontseptuaalse lahenduse koostu tehnilisel joonisel vaata Sele 3.14.



### 3.6. Seadme tugevus, jäikus ja töökindlus

Vedru tugevusarvutus

Vedru korpuse siselävimõõt on 38,01 mm  $\Rightarrow R = 19,05$  mm

Võlli läbimõõt on 6,35 mm  $\Rightarrow r = 3,175$  mm

Vedru pöörete arv on  $n = 0,157R/h = 0,157 \cdot 19,05/h = 44 \Rightarrow h = 0,07$  mm.

Vedru keerdude arv:

lahti keeratud olekus  $n_1 = 0,255 R/h = 0,255 \cdot 19,05/0,07 = 69,4$

üles keeratud olekus  $n_2 = 0,414 R/h = 0,414 \cdot 19,05/0,07 = 112,67$

vaba keerdude arv  $n_0 = (0,3 - 0,372) n_2 = 0,336 \cdot 112,67 = 37,85$

arvutuslik lahti keeratud olekus vedru keerdude arv  $n_{p \min} = n_1 - n_0 = 69,4 - 37,85 = 31,54$

arvutuslikud üles keeratud olekus vedru  $n_{p \max} = n_2 - n_0 = 112,67 - 37,85 = 74,79$

Vedru pikkus peaks umbes olema

$L = \pi R(1,745n_1 + 1,49) = \pi \cdot 0,0275(1,745 \cdot 69,4 + 1,49) = 10,59$  m

Vedru laius  $b = 6LM_{\min}/(\pi Eh^3 n_{p \max})$  on etteantud  $b = 12,7$  mm.

Vedru maksimaalne paindemoment:

$M_{\max} = \pi Ebh^3 n_{p \max}/(6L) = \pi \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,0127 \cdot 0,00007^3 \cdot 74,79/6 \cdot 10,59 = 266,2$  Nmm.

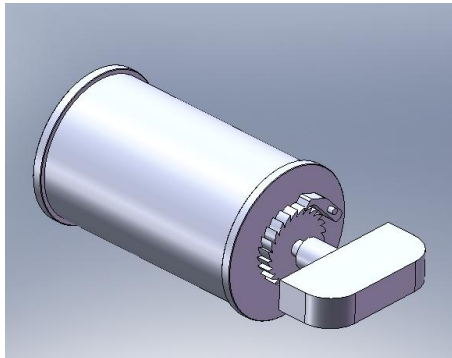
Tugevuskontroll paindele:

$M_{\max}/(rbh) = 266,2/(3,175 \cdot 12,7 \cdot 0,07) = 94,3$  MPa <

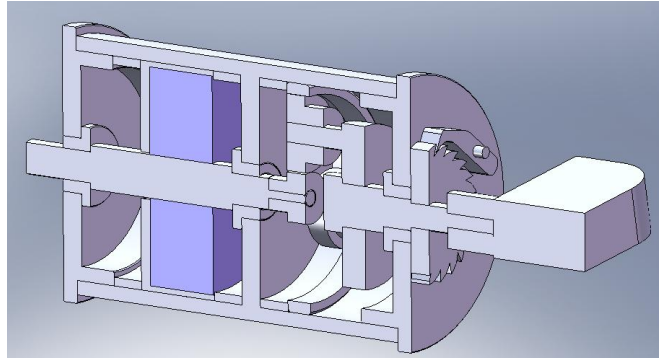
$\sigma_y = (1200 - 1330)$  MPa / [S] = 1,5 = 800 MPa

### 3.7. Küpsetusvarda tehnilised joonised ja spetsifikatsioonid

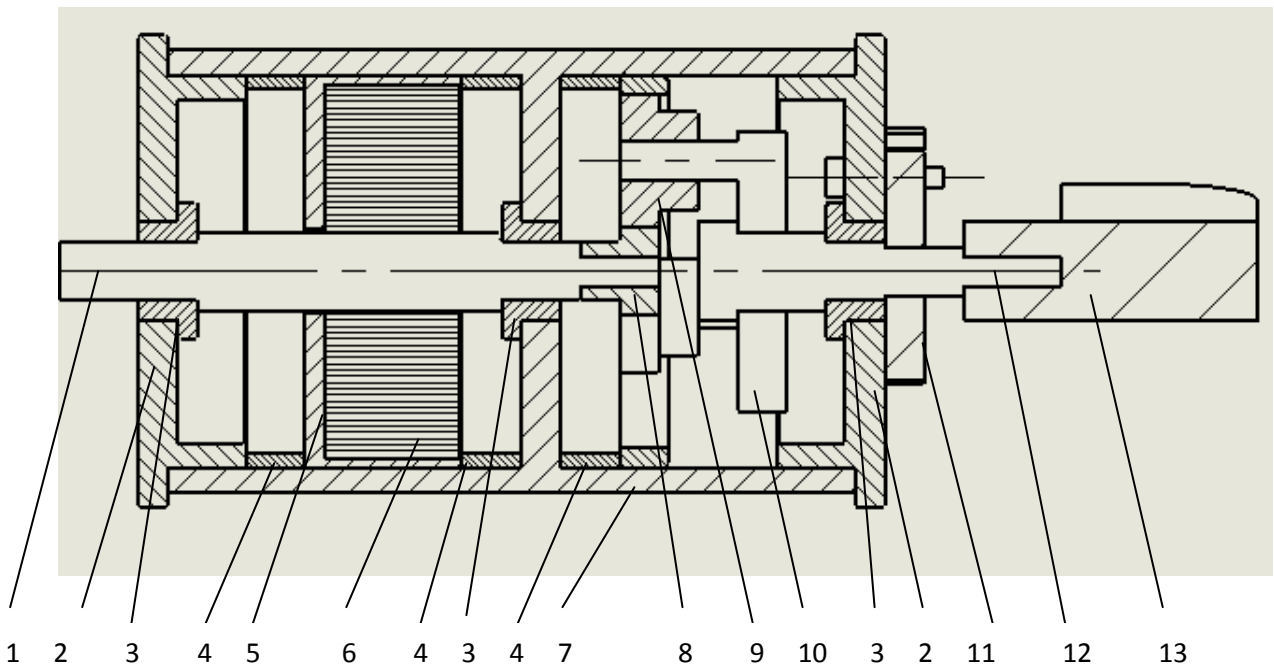
Allpool on toodud isepöörleva küpsetusvarda konstruktsiooni kontseptsioon (3D mudel ja 2D koostejoonis mõnede mõõtmetega).



Sele 3.14. Isepöörleva küpsetusvarda  
3D mudel - koost.



Sele 3.15. Isepöörleva küpsetusvarda  
3D mudeli ristlõige.



Sele 3.16. Isepöörleva küpsetusvarda koostu ristlõige.

1 – väljundvõll; 2 – kaas; 3 – pronkpuks; 4 – vaherõngas; 5- vedrukorp; 6 – spiraalvedru SCP4G202VS; 7 – korpus; 8 – planetaarmehhanismi keskratas; 9 – planeteermehhanismi



## 4.PÖÖRLEMISKIIRUSE ÜHTLESTAMINE JA REGULEERIMINE

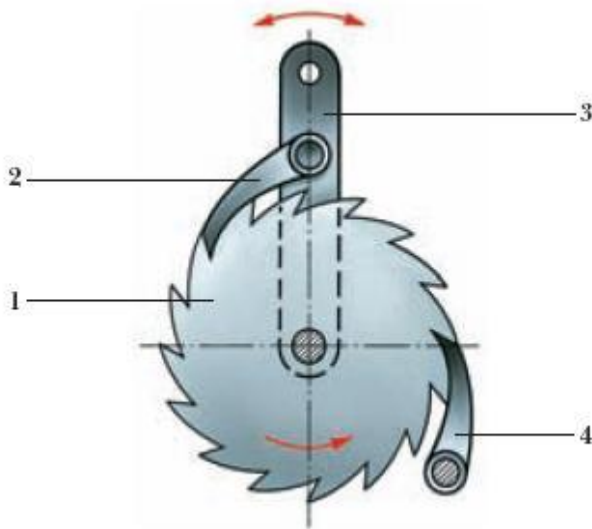
Pärast kõikide teadusuuringuid ja analüüse jõudis autor järeldusele, et on vaja lisada pidurdusmehhanism ja muuta käepide kuju. Selleks, et vedru ei hakkaks kiiresti lahti keerama, on võimalus panna pöörlev siiber ehk rotary damper. Pöörlev siiber pidurdab võlli ühes suunas ja vabalt liigub teises. Pärast otsimist oli valimisel kinetroli kataloogidest mudelid Q-CRD ja N-CRD [18]. Nende erinevus oli maksimaalse pöördemomendi suurused.

Q-CRD  $T = 1,5 \text{ Nm}$

N-CRD  $T = 0,4 \text{ Nm}$

Meile sobib N-CRD  $T = 0,4 \text{ Nm}$  mis on suurem kui esialgselt paika pandud  $T = 100 \text{ Nmm}$  ehk  $0,1 \text{ Nm}$ . Skeem ja graafik võib vaadata Lisas L.2.

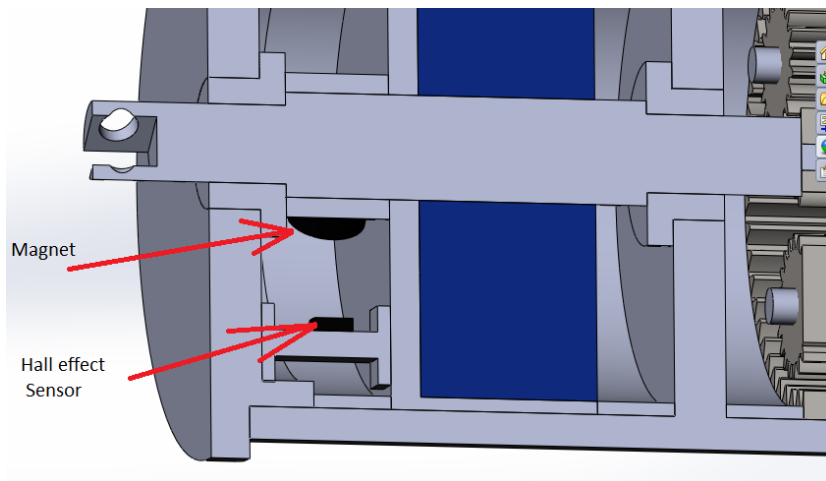
Selleks, et saaks mehhanismi keerata ja samal ajal vältida spiraalvedru lahtikeeramist on olemas pörknikmehhanism nagu on ka varem öeldud, nüüd aga käepide on asendatud hoobaga, et saaks paigaldada pidurdusmehhanism ehk pöörlev siiber. Vaata Sele 4.1.



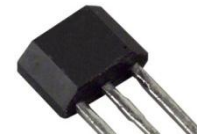
Sele 4.1. Pörknik

## 5.PÖÖRLEMISE LUGEMINE

Tagades kvaliteetne šašlõkki valmistamisprotsess on vaja teada hetk, millal kōpsetusvarras lõpetab oma pōõrlemine. Selleks on vōimalik panna üks andur varda alla ja vāike magnet varda peale. See on nāidatud Selel 5.1.



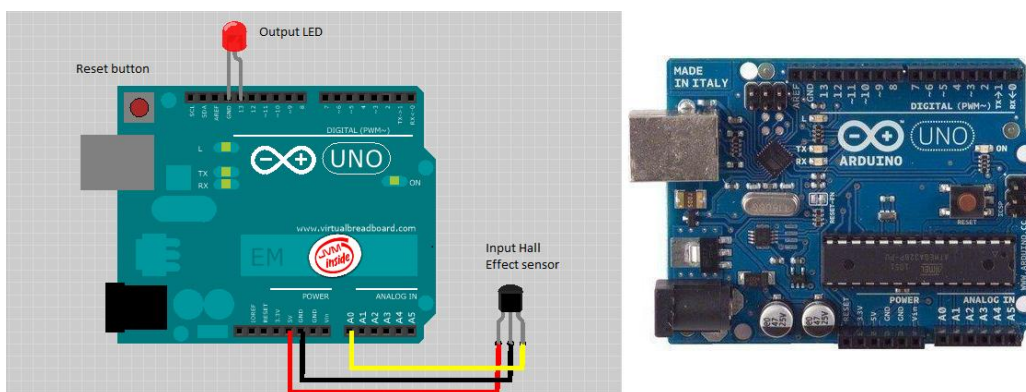
Sele 5.1.



Sele 5.2.

Andur on nimetusega Hall effect Sensor (Sele 5.2.). Pōhimōtte on see, et andur loeb mitu pōõret teeb magnet mōnda aja vahemikul. Kui andur loeb, et ettenāhtud aja vahemikul pōõret ei tehta vōi on neid vāhem, kui oli ette nāhtud, siis hakkab pōlema indikaatori lamp Arduino Uno plaatis. Teise sōnaga kui kōpsetusvarras teeb kōik oma pōõrlemised āra, ehk lõpetab oma tōõ, siis indikaatorlamp hakkab pōlema.

Hall efektiga anduri tōõtemperatuur on  $-40...+150^{\circ}\text{C}$ . Kood on kirjutatud programmis Arduino IDE tarkvaras [19], vōib vaadata Lisa 1. Andur ja lamp on eraldi ūhendatud Arduino Uno mikrokontrolleriga (skeem Sele 5.3.) , kontrolleri vōib tellida Eestis oomipoes [20].

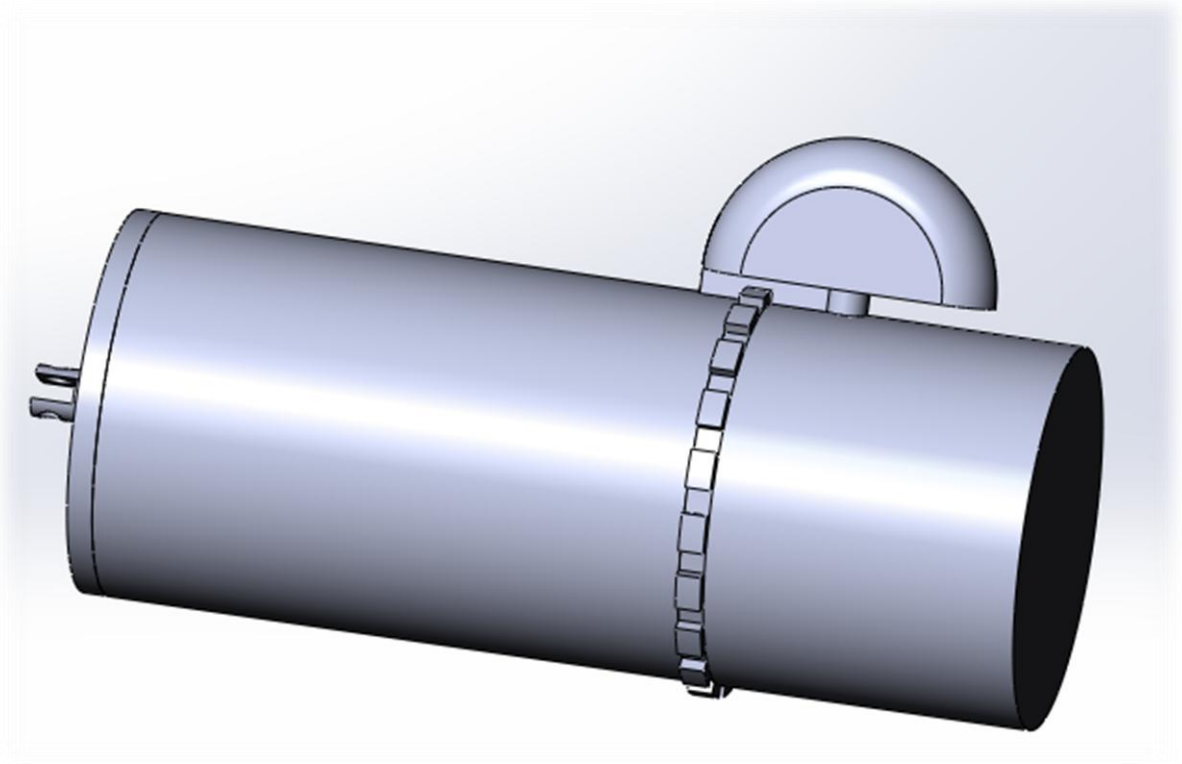


Sele 5.3. Arduino Uno mikrokontroller, lamp ja andur.

## 6.KÜPSETUSVARDA LÕPLIK MUDEL

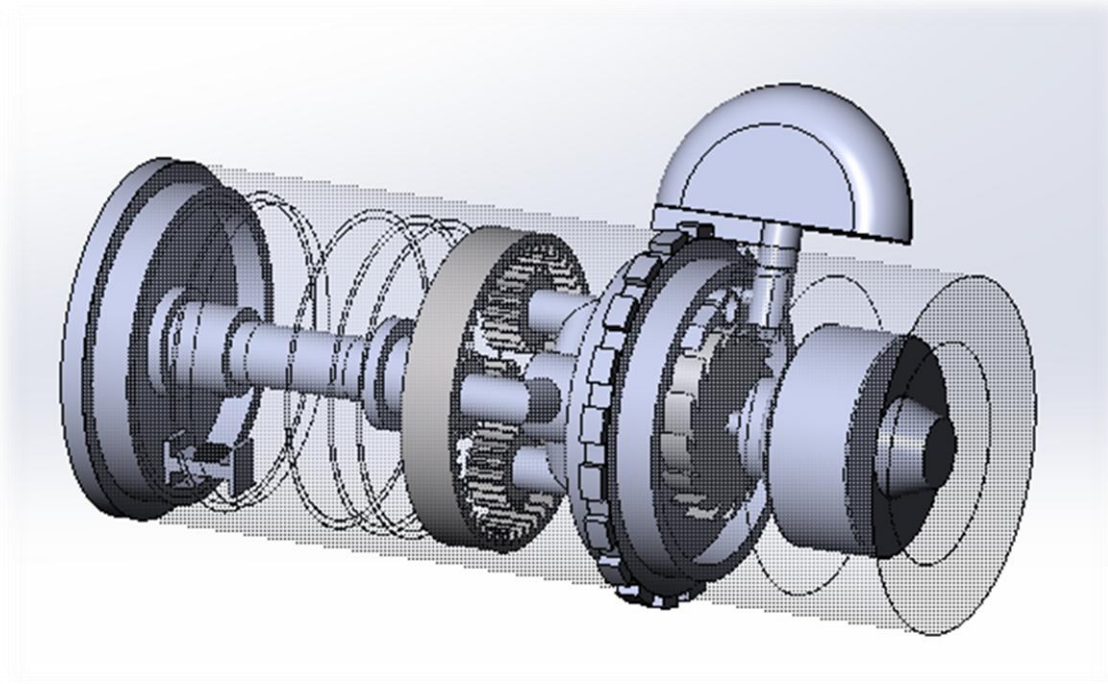
Olen modelleerinud isepöörlev küpsetusvarras programmis SolidWorks 2012. Kõik reaalsed mõõdud olid arvesse võetud. All on toodud 3D mudeli tehnilised joonised ja eskiisid peale kõiki lahendusi.

Selel 6.1. on näidatud silindrikujuline korpuse lahendus. Mehhanism töötab hoobi abil. Veel on olemas kinnistuskoht mis hoiab šašlõkki varda.



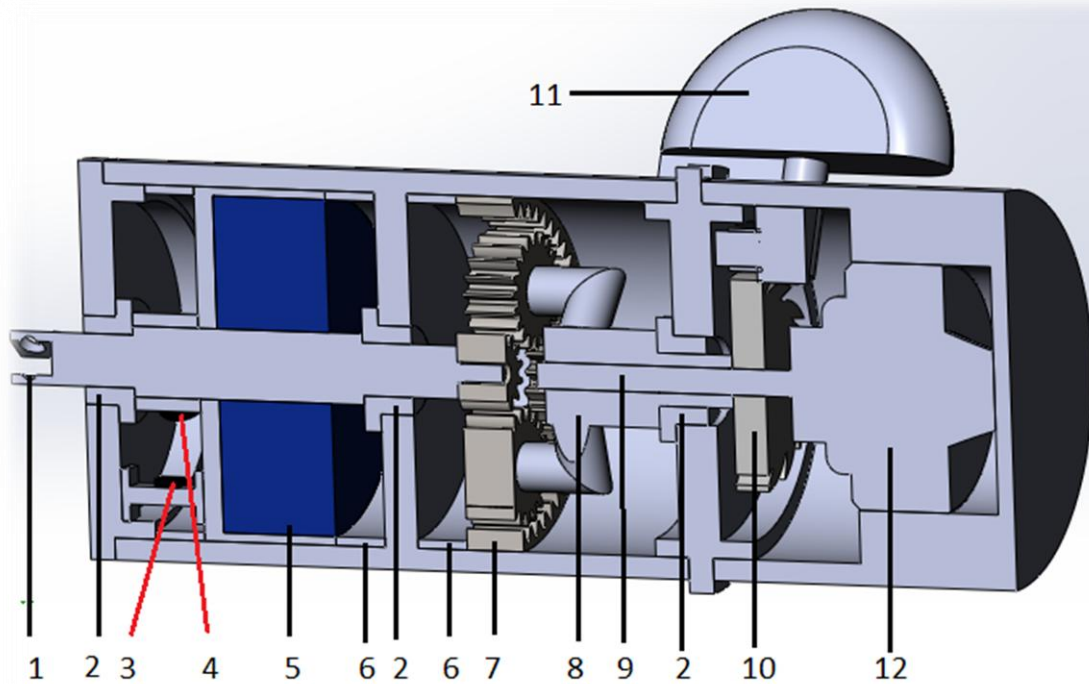
Selel 6.1. Kúpsetusvarda 3D mudel

Selel 6.2. on näha mehhanismi sisemine struktuur. Eesotsas on musta värvi Hall efektiga andur, nähtav on ka terve planetaarmehhanism koos võlliga, siis tuleb pörknik mehhanism ja nende vahel on kaas mis hoiab võlli. See joonis illustreerib mehhanismi tööpõhimõtte.



Sele 6.2. K psetusvarda käepideme sisemise osa

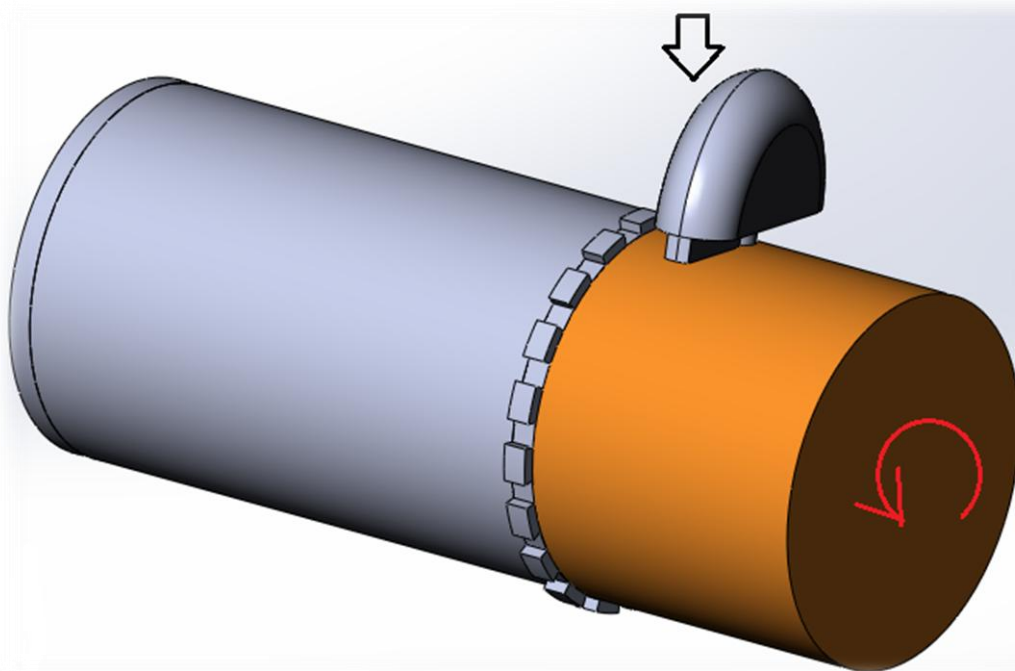
K psetusvarda pikil ige v ib vaadata joonisel Sele 6.3. Kõik detailid on nummerdatud. Number 1 on kinnituskoht šašlõkki varda jaoks mis on lõigatud v lli otsal, number 2 on pronkspuks, number 3 musta värviga on Hall efektiga andur, mis loeb varda p orete arvu, number 4 musta värviga on magnet mis on v lli peal, number 5 on sinise värviga n idatud vedru, number 6 on vahe ngas, number 7 on planetaarmehhanism, number 8 on kinnitus planetaarmehhanismi jaoks, number 9 on võll mis on  hendatud piduriga, number 10 on p rknik mis ei lase vedru lahti keerata, number 11 on hoob millega saab kinnitada käepide, et ei keeraks, praegu hoob on lahti asendis p rknik mehhanismi jaoks ja vedru hakkab lahti keerata, number 12 on spetsiaalne pidur ehk pöörlev siiber, mis ei lase kiiresti vedru lahti keerata.



Sele 6.3. K psetusvarda 3D mudeli pikil ige.

Peale kõike matemaatiliste arvutuste ja detailide modelleerimist saime seadme pikkuseks 122 mm ja diameetrit 45 mm. K psetusvarras t oprintsiip.

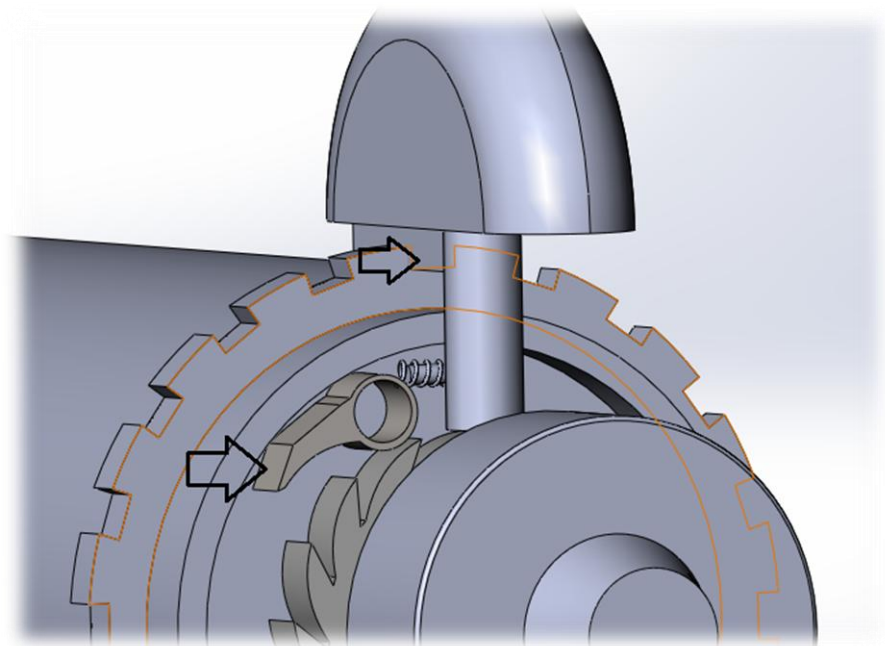
K psetusvarras hakkab t otama, kui hoob on lahti asendis, nagu on n idatud Sele 6.4. ja kui keeratakse käepide (mis on oranži värvi) vasaku poole 8 korda. Samal ajal sees vedru hakkab pingutama.



Sele 6.4. Hoob on lahti asendis, käepide v ib keerata.



Pärast kõik liigutamist, on vaja hoob kinni asendis panna, et käepide ei hakka keerama. Samal ajal põrknik mehhanism läheb lahti ja küpsetusvarras hakkab ise keerama. Ilustreeritud Selel 6.5.



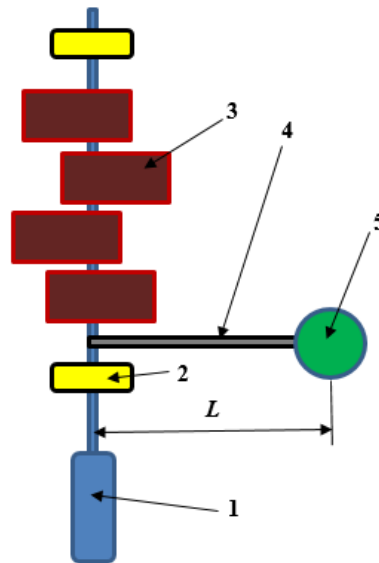
Sele 6.5. Hoob on kinni, põrknik mehhanism on lahti.

## 7. PÖÖRDEMOMENDI MÕÕTMINE

Peatükis 2 on süsteemi pöörlemiseks arvutatud ja valitud pöördemoment 100 Nmm. Kuna sellest suurusel olenevad mitmete detailide ja moodulite parameetrid, tegeliku liikumist teostava momendi suurus on mõõdetud laboratoorsete katsete läbiviimisel. Katsetamisel vajalik jõud on mõõdetud rippkaalude (Sele 7.1) abil. Kaalude eraldus – 5 g.



Sele 7.1. Rippkaal.



Sele 7.2. Katseskeem.

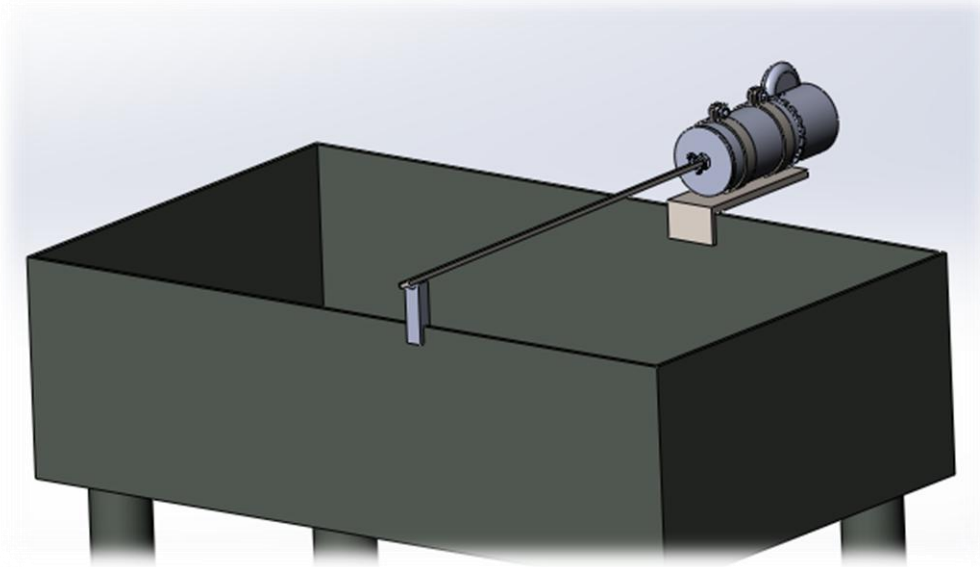
Katseskeem on esitatud Selel 7.2. küpsetusvarras 1 on kinnitatud kahte tugeelementide 2 vahele. Varda peale on ekstsentriliselt kinnitatud raskused 3 kogumassiga 0,5 kg ... 0,6 kg. Samuti varda peale on kinnitatud latt 4 pikkusega  $L = 100$  mm. Latti vabaotsale kinnitatakse rippkaal 5, mille tõmmates pööratakse varras ümber oma telge. Pöörlemisel kontrollitakse kaalu näide. Selle kaudu arvutatakse tekitud pöördemoment.

Katsetuste käigus on kolm korda vahetatud raskuste 3 asukohad ja ekstsentrilisus. Iga katsetamispositsioonis mõõdeti pöörlemisjõud kolm korda ja arvutati aritmeetiline keskmine.

Katsetulemusest on selgunud, et raskuse 600 g juures pöördemoment on 0,05 Nm ... 0,1 Nm, sõltuvalt massitsentri kaugusest pöörlemisteljest. Massi 500 g juures maksimaalne moment peaks olema ca 0,08 Nm.

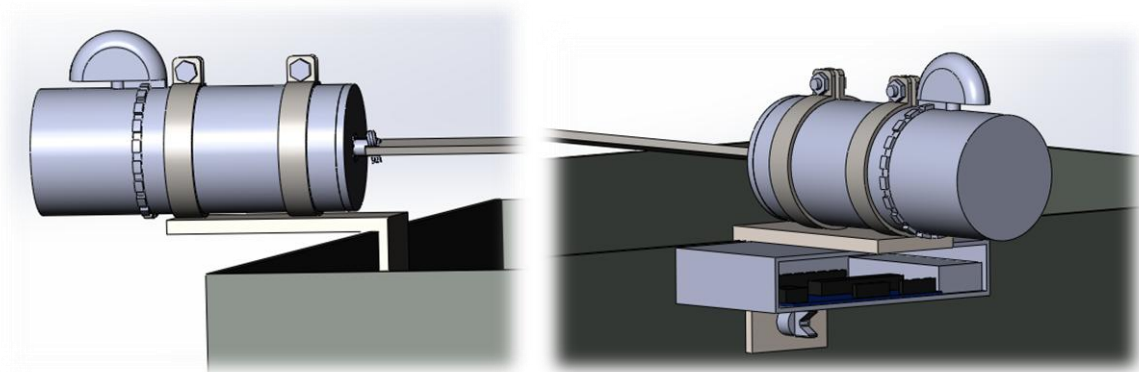
## 8. KÜPSETUSVARDA HOIDIKU VÄLJA TÖÖTAMINE

Nagu oli planeeritud küpsetusvarras peaks olema kinnitatud grilli peal. Küpsetusvarras tuleb kinnitada kahe kinnitusega mille peal on poldid, nagu klamber. Hoidik ise läheb grilli peale ja kruviga keeratakse see kinni.



Sele 8.1 Grill ja küpsetusvarras

Niiviisi saab seade jäigalt fikseerida. Grilli teisel poolel on veel üks kinnitus šašlõkki varda jaoks. Varras pöörleb selle kinnituse peal. Protsess tervikuna on esitatud Selel 8.1. Lähedam võib vaadata Selel 8.2.



Sele 8.2. Isepöörlev küpsetusvarras

Küpsetusvarda all on karp, kus asub Arduino Uno mikrokontroller koos patareiga. Seda võib vaadata Sele 8.3.

Sele 8.3. Küpsetusvarras ja all on Arduino Uno mikrokontroller koos patareiga.

## KOKKUVÕTE

Nii kuidas oli öeldud eespool, autori eesmärk diplomitöös oli luua tehnoloogia mis kergendab sellist maitsva toidu, nagu šašlõkk valmistamist. Mehhanismi tehnilisel lahendamisel lähtus autor ideest valmistada mehhanism sellisena, et see vajaks võimalikult vähem elektrienergiat.

Selleks autor tegi:

- Kindlaks määratud mehhanismi tehniline tööpõhimõtte.
- Loodud mehhanismi mudel programmis SolidWorks.
- Arvutatud mehhanismi hind.

Algusel oli tehtud eskiis. Arvutamise ajal olen pöördunud tähelepanu niisugustele tingimustele, nagu: pöörlemissagedus, töömehhanism, tema väljenägevus, kiiruse stabiliseerimine, kuidas ta on kinnitatud, töötemperatuur, kaal mis talub, mõõdud ja maksumus. Arvutused on tehtud maksimaalselt täpselt ja korrektselt.

Mõni arvutamise pärast oli selge, et tavaline hammasülekanne ei sobi. Oli mõistlik panna planetaarmehhanism. Edasi oli pannud pidur ja ümber tehtud käepide ehk hoob, et saaks kühsetusvarras üles keerama. Selleks, et vedru saaks sisse keerata on olemas pörknikmehhanism. Elektroonikast on sisse pannud Hall efektiga andur ja magnet. Kõik on ühendatud Arduino Uno mikrokontrolleriga. Viimase elemendina oli kühsetusvarda hoidik.

Peale uuringute ja arvutamisi oli tehtud täiustatud mehhanismi mudel. Eeldatakse, et selline mehhanism peab töötama järgmiselt:

Inimene keerab vasakule käepide 8 korda, millega pingutab vedru planetaarmehhanismi abil. Siis paned hoob kinni ja varras hakkab ise pöörlema. Samal ajal vedru keerab lahti. Kõik protsess kestab umbes 8 minutit. Selle aja vahemikul andur loeb, mitu korda magnet pöörleb ja annab signaali Arduino Uno mikrokontrollerile. Mikrokontrolleris on kirjutatud kood, et nii kui lõpetakse töö hakkab põlema indikaatorilamp. See annab inimesele teada, et isepöörlev kühsetusvarras enam ei pöörle. Arduino Uno plaat töötab patareiga.

Töömehhanismi sisemine osa koosneb: kinnituskohast šašlõkki varda jaoks, mis on lõigatud võlli otsal, pronkspuksist, Hall efektiga andurist, mis loeb magneti pöörete arvu, magnetist mis on võlli peal, vedrust, vaherõngast, planetaarmehhanismist, kinnitusest planetaarmehhanismi jaoks, võllust mis on ühendatud piduriga, pörknikust mis ei lase vedru

lahti keerama, hoobist mis paneb kinni käepide, käepide millega saab vedru keerata, spetsiaalsest pidurist ehk pöörlev siiberist, mis ei lase kiiresti vedru lahti keerata. Töösamine osa on illustreeritud Selet 6.2. leheküljel 31.

Töö eesmärgiks oli projekteerida isepöörleva kühsetusvarda mehhanism, mis teeb šašlõkki tegija elu lihtsamaks, mitte ainult restoranides, vaid ka tavalistele inimestele. Leian, et püstitatud eesmärk on saavutatud.

## SUMMARY

The main purpose of the author's bachelor thesis was to create a technology that facilitates easier cooking delicious food, such as kebab. The mechanism was based on the author's idea to build such a mechanism, that it would require less electricity. To do it author did:

- Created mechanism, with a technical working principle.
- Established a model of mechanism in SolidWorks program.
- Calculated price of mechanism.

In the beginning was made a sketch. While calculating author turned attention to such conditions as: rotation frequency, working mechanisms, design, speed stabilization, the way it fixed, the working temperature, withstand the weight, size and cost. Calculations are made accurately and correctly.

After some calculations, it was clear that the normal gearing is not suitable. It was wise to put a planetary gear. Next, putting the brake and redesigning handle or lever, so that we could wind up skewer. To wind up spring inside the mechanism there is ratchet-wheel. As for electronics inside are placed: Hall effect sensor and a magnet. Everything is connected to an Arduino Uno microcontroller. The last element was to make a holder for self-rotating skewer.

Furthermore, after researches and calculations was made an advanced model of the mechanism. It is expected that such a mechanism must operate as follows:

Man makes with lever 16 movements, which tightens the spring with help of planetary gear. Then you take stop off and skewer will rotate itself. At the same time the spring unwinds. All this process takes about 8 minutes. At this time sensor counts the number of times the magnet rotates and gives a signal to the Arduino Uno microcontroller. In microcontroller is written a code, so that when the work will be completed lamp will be lit. This gives people to know that self-rotating skewer has stopped rotating. Arduino Uno board is working on battery.

The inner part of mechanism consists of: bracing for kebab rod, which is cut into a shaft, sleeve, Hall effect sensor, which reads the magnet how many times it rotates, the magnet that is on the shaft, spring, intermediate rings, planetary gear, a special bracing for planetary mechanism, a shaft which is connected to the brake, ratchet-wheel, handle or lever to tighten

the spring, special brake or rotary damper, which does not let spring unwind too fast. The inner part of mechanism is illustrated Sele 6.2 page 31th.

The aim of this work was to design a self-rotating skewer, which would make cooking kebab easier, not only in restaurants, but for normal people too. I believe that this goal has been achieved.

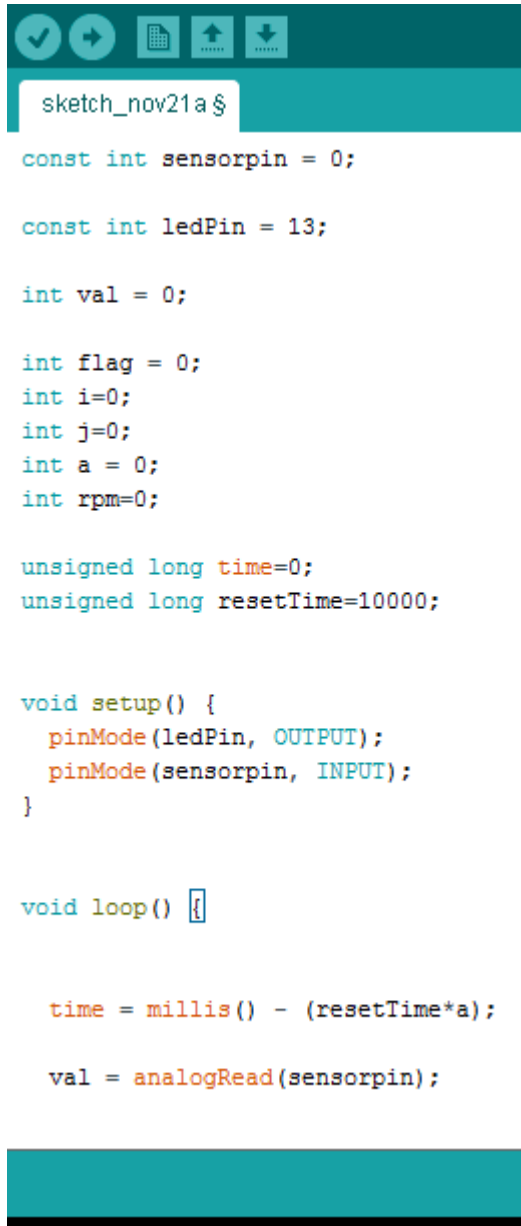
## KASUTATUD KIRJENDUSE LOETELU

1. <http://home-ideas.ru/2014/08/mangal-dlya-dachi> (2.11.2015)
2. <http://www.hft.ru/lenta-sobitij/turizm/lenivyy-shashlychnik/> (2.11.2015)
3. <http://www.vulcanexpress.com/conpower-power-spring> (2.11.2015)
4. <http://www.vulcanexpress.com/scp7-5d50vs/> (2.11.2015)
5. <http://www.vulcanexpress.com/scp6g135vs/> (2.11.2015)
6. <http://www.vulcanexpress.com/scp4g202vs/> (2.11.2015)
7. <http://www.ruukki.ee/> , (16.11.2015)
8. <http://www.kedjeexperten.se/> (16.11.2015)
9. <http://www.kedjeexperten.nttgroup.se/en/Products/Gears--racks/3180> (16.11.2015)
10. [http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/102\\_120.pdf](http://www.mekanex.se/pdf/pdfkat/102_120.pdf) (16.11.2015)
11. [http://www.nozag.ch/webautor-data/20/Nozag\\_Stirnraeder\\_Stahl\\_gefraest\\_geradeverz.pdf](http://www.nozag.ch/webautor-data/20/Nozag_Stirnraeder_Stahl_gefraest_geradeverz.pdf) (16.11.2015)
12. [http://www.nozag.ch/webautor-data/20/Nozag\\_Stirnraeder\\_Messing\\_gefraest.pdf](http://www.nozag.ch/webautor-data/20/Nozag_Stirnraeder_Messing_gefraest.pdf) (16.11.2015)
13. <http://www.moelndals.pl/katalog/E.pdf?TS=631443746980000000> (16.11.2015)
14. <http://www.davall.co.uk> (16.11.2015)
15. <http://www.acornbearings.co.uk/downloads/catalogues/power-transmission/racks-and-gears/davall-spur-gears.pdf> (16.11.2015)
16. <http://www.ruukki.com/Products-and-solutions/Stainless-steel-and-aluminium-products/Stainless-steel-bars/Stainless-steel-14404-turned-k-round-bar> , (7.12.2015)
17. <http://www.skf.com/binary/68-121486/SKF-rolling-bearings-catalogue.pdf> , (7.12.2015)
18. <http://www.kavial.ee/> , (7.12.2015)
19. <http://www.kavial.ee/uploads/images/pdf/cli/cli1.pdf> , (7.12.2015)
20. [http://www.kinetrol.com/pdf/cat/Rotary\\_Damper\\_2013\\_LR.pdf](http://www.kinetrol.com/pdf/cat/Rotary_Damper_2013_LR.pdf) (7.12.2015)
21. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (20.12.2015)
22. <http://www.oomipood.ee/product/a000066/arduino-uno-rev3&ac=1> (20.12.2015)



# LISAD

## L.1. Arduino IDE tarkvarast kood



```
sketch_nov21a $  
const int sensorpin = 0;  
  
const int ledPin = 13;  
  
int val = 0;  
  
int flag = 0;  
int i=0;  
int j=0;  
int a = 0;  
int rpm=0;  
  
unsigned long time=0;  
unsigned long resetTime=10000;  
  
void setup() {  
  pinMode(ledPin, OUTPUT);  
  pinMode(sensorpin, INPUT);  
}  
  
void loop() {  
  
  time = millis() - (resetTime*a);  
  
  val = analogRead(sensorpin);
```

```
sketch_nov21a $
val = analogRead(sensorpin);

if( (val > 550 ) && (flag == 0)) {
    i++;
    j++;
    flag = 1;
}

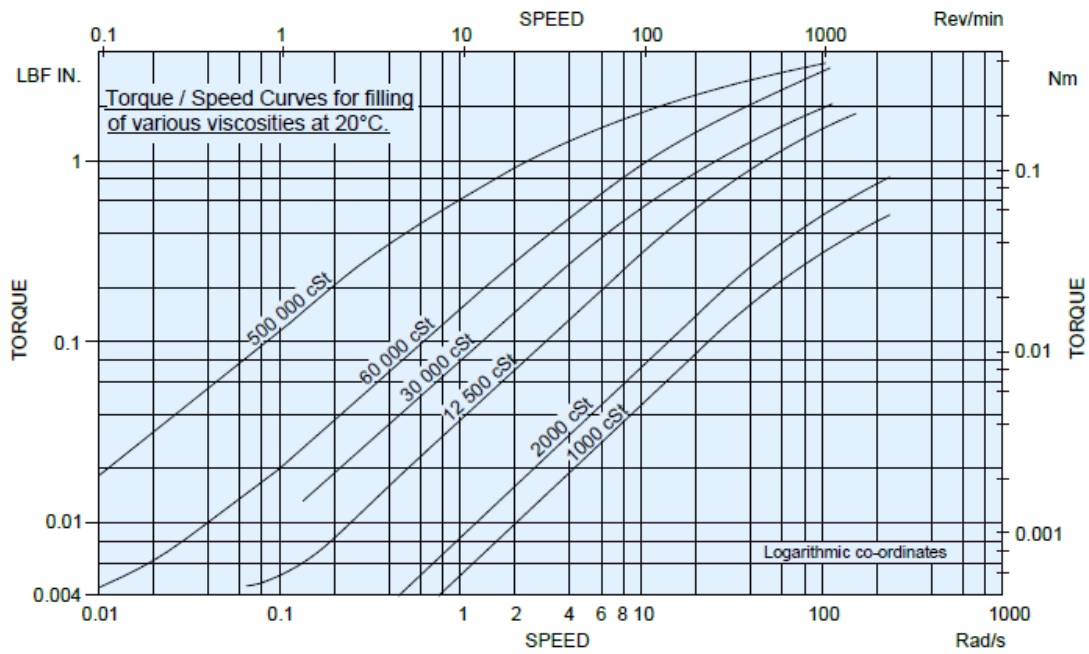
if( val < 550 ){
    flag = 0;
}

if ((time > resetTime)){

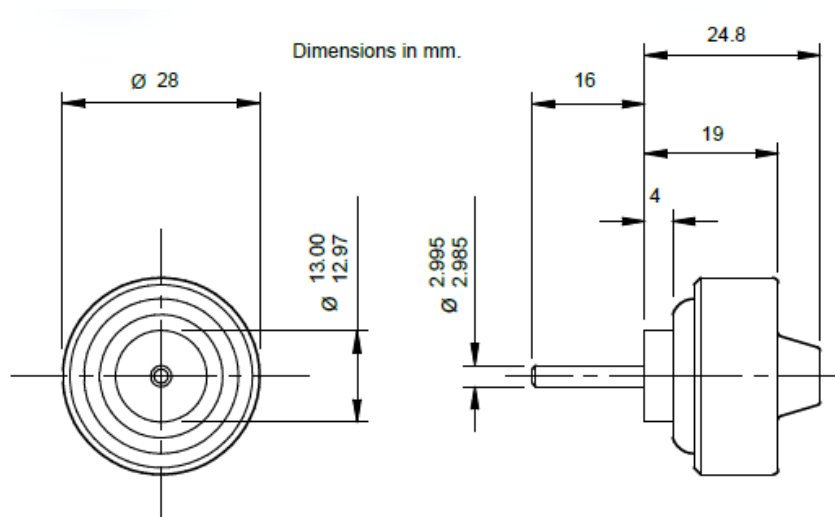
    rpm = j;
    j=0;
    a++;
}

if ((i > 5) &&(rpm = 0)){
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
else{
    digitalWrite(ledPin, LOW);
}
}
```

## L.2. Skeem ja graafik N-CRD rotary damper



Sele L.2.1. Graafik N-CRD Pöörlev siiber



Sele L.2.2. N-CRD Skeem