



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Tõstevintsi EŠ 15/90 mootor-reduktori ühendussõlme
töökindluse tõstmine**

**Upgrading the node reliability of the motor - gearbox connection
of the walking excavator 15/90 hoist winch**

EDJR16/17 Masinaehitustehnoloogia ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Olga Paläk

Üliõpilaskood: 190861EDJR

Juhendaja: Igor Penkov,

Kaasjuhendaja: Gennadi Arjassov

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Olga Paläk (sünnikuupäev: 02.06.1972)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Tõstevintsi EŠ 15/90 mootor-reduktori ühendussõlme töökindluse tõstmine“ mille juhendaja on Igor Penkov ja kaasjuhendaja Gennadi Arjassov,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Olga Paläk, EDJR190861

Õppekava, peeriala: EDJR16/17 - Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine, peeriala: masinaehitustehnoloogia.

Juhendaja(d): Igor Penkov, igor.penkov@taltech.ee

Konsultant: Gennadi Arjassov, gennadi.arjassov@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Tõstevintsi EŠ 15/90 mootor-reduktori ühendussõlme töökindluse tõstmine.

(inglise keeles) Upgrading the node reliability of the motor - gearbox connection of the walking excavator 15/90 hoist winch.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Arendada välja haakeseadeldis, mis edastab pöördemomendi elektrimootorilt tõmbevintsi EŠ15/90 käigukastile.
2. Arvutada konstruktsiooni töökindlus, et suurendada regulaarsete remonditööde vahelist ajavahemikku ja parandada EŠ15/90 sõlmede töökindlust, muutes mootori ja tõstevintsi käigukasti ühendust.

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|---|----------|
| 1. | Kõndiva ekskavaatori EŠ15/90 tõstevintsi mootori ja reduktori ühendusmeetodi moderniseerimine | 16.03.22 |
| 2. | Kavandatava konstruktsiooni analüüs | 04.04.22 |
| 3. | Tööjooniste vormistamine | 23.04.22 |
| 4. | Arvutuslik osa | 12.05.22 |
| 5. | Lõputöö vormistamine | 27.05.22 |

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg:

"16"jaanuar 2023a

Üliõpilane: Olga Paläk

/digiallkiri/

"....."..... 20.....a

Juhendaja: Igor Penkov

/digiallkiri/

"....."..... 20.....a

Konsultant: Gennadi Arjassov

/digiallkiri/

"....." 20.....a

Programmijuht: Veroonika Shirokova

/digiallkiri/

"....." 20.....a

SISUKORD

| | |
|--|----|
| EESSÖNA | 7 |
| LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU | 8 |
| SISSEJUHATUS | 9 |
| 1 DRAGLAIN EKSKAVAATOR EŠ 15/90 | 11 |
| 1.1 Sammekskavaatori EŠ15/90 töö tehnoloogia | 12 |
| 1.2 Draglaini põhimehhanismid..... | 12 |
| 2 PROBLEEMI KIRJELDUS | 14 |
| 2.1 Väljatöötatava siduri konstruktsioon | 16 |
| 3 PÕHIOSAD. SIDURI ARVUTAMINE..... | 17 |
| 3.1 Kumarmeeritud elastsete elementide arvutus muljumisele | 18 |
| 3.2 Nukkide painutamise arvutus tippkoormuse juures | 20 |
| 3.3 Pooltesiduri nukkide kulumise arvutus..... | 23 |
| 3.4 Pooltesiduri nukkide muljumise arvutus ja lõiketugevuse kontroll | 25 |
| 3.5 Paindetugevuse varu arvutus | 27 |
| 3.6 Poolesiduri rummu väände arvutus..... | 28 |
| 3.7 Poolesiduri liistliidete arvutus..... | 30 |
| KOKKUVÕTE | 33 |
| KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU | 34 |
| SUMMARY..... | 35 |
| LISAD | 36 |
| GRAAFILINE OSA..... | 37 |
| 1 Poolühenduse reduktori võlli joonis..... | 37 |
| 2 Piduritrumli joonis | 38 |
| 3 Kaitserõnga joonis..... | 39 |
| 4 Poolühenduse mootori võlli joonis..... | 40 |
| 5 Puksi joonis | 41 |
| 6 Ühenduste detalide(osade)joonised | 42 |
| 7 Mootori ja reduktori vahelise elastse ühenduse joonis | 43 |
| 8 Ajamiüksuse joonis..... | 44 |
| 9 Elastse elemendi joonis | 45 |

EESSÕNA

Diplomitöö teema „Tõstevintsi EŠ 15/90 mootor-reduktori ühendussõlme töökindluse tõstmine“ oli pakutud praktikajuhendaja poolt. Praktika oli läbitud Eesti Energia ettevõtte Narva Karjääri mäetoode jaoskonnas jsk (katend). Antud töö teemaatika on rakendav mäetööstusettevõtte Eesti Energia Narva Karjääri draglain-ekskavaatoritele EŠ 15/90 (edas tekstis *draglain*).

Antud diplomitöö koostamisel autor oli konsulteerinud diplomieelse praktika juhendajaga, Enefit Solutions allüksuse mehaanikutega, kes tegelevad draglainide EŠ 15/90 hooldamisega ja remonditöödega. Töö kirjutamiseks materjalide ettevalmistel tekkis võimalus suhelda väga vastutuleliku ja meeldiva meeskonnaga Narva Karjääril, kes korraldas tutvustusekursioone draglainidele ja antud mehhanismide remonditsehidesse.

Autor väljendab tänu Narva Karjääri töötajatele kannatlikkuse ja tähelepanelikkuse eest.

Eesti Energia Narva Karjääri diplomieelse parktika juhendajale Viktor Mihhailovile, Eesti Energia Enefit Solutions vanemmehaanikule Andrei Loginovile konsulteerimise eest diplomitöö ettevalmistamisel, samuti ka diplomitöö juhendajale Igor Penkovile, suured tänud nõustajale Gennadi Arjassovile, programmijuhile Veroonika Shirokovale ja kogu TalTech Virumaa Kolledži õppejõule.

Märksõnad: draglain, sõlm, tõstevints, tehnoloogia, sidur, rakenduskõrgharidusõppe lõputöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

b - laius, mm

D, d - diameeter, mm

l - pikkus, mm

h - kõrgus, mm

a - nuki ristlõike vähim laius, mm

EŠ15/90 - sammekskavaator 15 m³ kopaga, noole pikkusega 90 m

ESMS - elastne sõrm-muhvsidur

ω_{mt} - nurkkiirus, rad/s

n - mootori pöörlemissagedus, min⁻¹

P - elektrimootori võimsus, kW

F -koormus sidurile, mis mõjub sidurile, N

A_c - elastsete materjalide kokkusurumise pindala, mm²

σ_c - muljumisepinge, MPa

σ_a - amplituudpinge, MPa

M - paindemoment, Nm

W_y - telgvastupanumoment, mm³

K_σ - efektiivne pingekontsentratsiooni tegur

K_F - pinnatöötlustegur

$K_{d\sigma}$ - mastabitegur,

σ_M - lubatud paindepinge, MPa

k_{tl} - telje liikuvuse koefitsient

k_m - liikuvühenduste määrdetingimuse koefitsient

k_t - mikronihete tsüklite arvu tegur

k_d - koormuse muutuse koefitsient

k_{kp} - pikisuunalise koormuse kontsentratsiooni tegur

ψ - koormuse ebaühtlase jagunemise tegur

T_{max} - elektrimootori käivitusmoment, Nm

T_{nom} - elektrimootori nominaalmoment, Nm

S_σ - varutegur paindele vahelduvate koormuste korral

ψ_σ - empiiriline tegur süsinikterastel

f - teritusfaas nukkidel, mm

τ - lõikepinge poolsiduri ristlõikes, MPa

τ_{max} - väändepinge poolsiduri ristlõikes, MPa

W_p - rõnga polaarvastupanumoment, mm³

SISSEJUHATUS

Eesti Energia AS – ettevõtte, mis töötab Eesti elektrienergia turul, kuulub riigile. Ettevõtte pakub erinevaid elektrienergia ja keemiatoodangu tootmise võimalusi, mida saadakse Eesti Vabariigi maavara töötlemisel tütarettevõtetes põlevkivi tootmise tulemusel Narva Karjääris ja Estonia Kaevandustes.

Maavara maapealsel kaevandamisel moodustavad omahinna suurema osa draglainide EŠ 15/90 eksploateerimiskulud. Tänapäeva seisuga Narva Karjääri sammekskavaatorite park koosneb seitsmest ühikust. Samuti oli langetatud otsus kuni 2022 aasta lõpuni lahtikonserveerida ja käivitada veel kaks draglaini seoses põlevkivi kaevandamismahtude suurendamisega. Mäemasinate ja seadmete tööefektiivsuse tõstmine seisneb läbiviidavate remonditööde kvaliteedis, mäeseadmete moderniseerimises ja tehnoloogiliste protsesside täiustamises. Isegi väike draglainide pargi tootlikkuse tõstmine võimaldab saavutada positiivset majanduslikku efekti. Draglainidel on põhiroll ja nad on võtmeseadmed põlevkivikihtide avamisel.

Sammekskavaator on keeruline ja kallihinnaline masin, mille mehhanismide tööea pikendamine on üheks peamiseks mäetööstuse inseneride ja mehaanikute ülesandeks. Pikaajalise töö, metalli väsimuse ja suurte koormuste tulemusel, mis mõjuvad ekskavaatori sõlmedele ja mehhanismidele töö käigus olid avastatud mõned nõrgad kohad agregaatide konstruktsioonis.

Mäemasinate eksploatatsiooni käigus oli avastatud puudus tõstevintsi mootor-reduktori ühendussõlmes. Kuna antud sõlm töötab pideva maksimaalse koormuse all, vajab tõstevintsi elektrimootorit ja reduktorit ühendav sidur sagedast ja vaevanõudvat plaanivälisest remondiprotsessi, sh. elektrimootori väljavahetust karmide töötingimuste tõttu, tihti juhtus konstruktsiooni võllide lõige, kuna sõlm oli ühendatud ESMS (elastse sõrm-muhvssiduriga). Antud siduri konstruktsioon oli draglaini tõstevintsi mehhanismi nõrgaks kohaks ja perioodiliselt lõikas mootori võlli, ühendussiduri kummist puksid muutusid töökõlbmatuks, mis tõi endaga kaasa draglaini seiskumise, mis omakorda tekitas tõrkeid paljandustööde läbiviimise tähtaegades.

Narva Karjääri insenerid, kes teostasid antud mäemasinate hooldamist otsustasid teha muudatusi sõlme konstruktsioonis, täiustada sidurühendust, mis võimaldab leevendada tippkoormusi tõstevintsi võllidel kogu tööaja kestel ja vähendada katkiminekute arvu. Sidurühenduse moderniseerimine on vajalik, kuna see saab märkimisväärselt pikendada sõlme tööiga, samuti vähendada ka plaaniväliste remontide arvu.

Uuringuobjekt – tõstevintsi mootor-reduktori ühendussõlm.

Uuringu eesmärgiks on pikendada moderniseeritud sidurühenduse tõstevintsi elektrimootori võlli ja reduktori võlli sidurühenduste sõlme tööga, samuti ka tõsta antud sõlme konstruktsiooni töökindlust ja tugevust ning vähendada ka draglaini EŠ 15/90 remondikuluseid.

Uuringu eesmärgiks on pikendada moderniseeritud sidurühenduse tõstevintsi elektrimootori võlli ja reduktori võlli sidurühenduste sõlme tööga, samuti ka tõsta antud sõlme konstruktsiooni töökindlust ja tugevust ning vähendada ka draglaini EŠ 15/90 remondikuluseid.

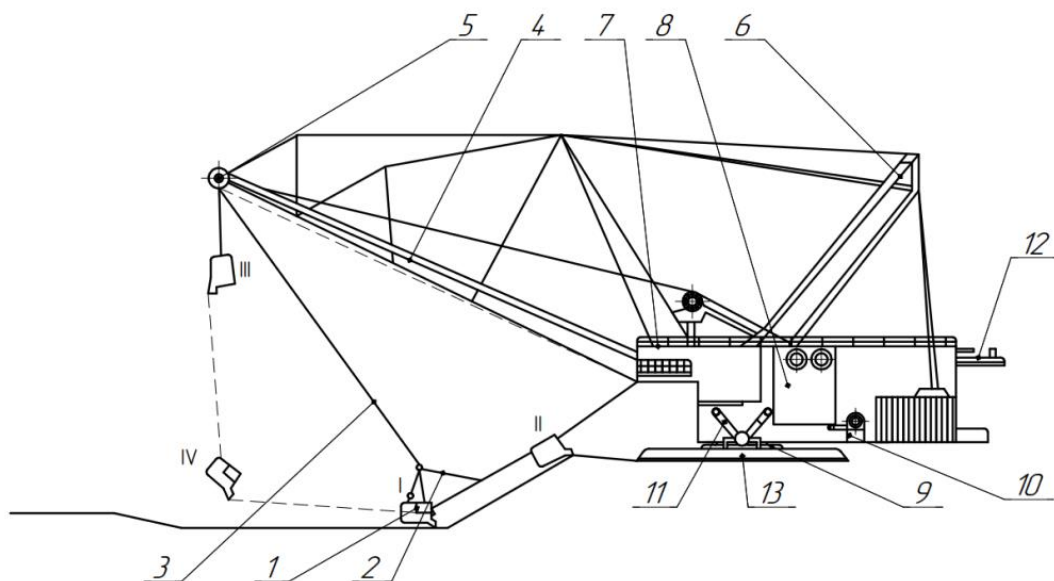
Püstitatud eesmärgi saavutamiseks autoril tuleb lahendada järgmised küsimused:

- teostada sõlme konstruktsiooni moderniseerimise analüüsi;
- teostada vajalikku moderniseeritud sidurühenduse arvutust;
- valmistada ette tööjoonised.

Koostatud diplomitöö koosneb kolmest osast. Esimene osa koosneb sissejuhatusest, teine osa sõlme probleemi kirjeldusest ja kolmas ehk diplomitöö põhiosa on pühendatud lähteandmetele, selles osas on teostatud vajalikud moderniseeritud sidurühenduse arvutused, toodud välja järeldused.

1 DRAGLAIN EKSKAVAATOR EŠ 15/90

Draglain ekskavaatori tööseadmed on toodud Joonisel 1.



Joonis 1. Sammekskavaatori 15/90 skeem: 1 – kopp koos rakmetega; 2 – tõmbetross; 3 – tõstetross; 4 – nool; 5 – otsaplokid; 6 – kõikuv post; 7 – juhikabiin; 8 – masinaruum pöördeplatvormil; 9 – rööbas-rullring; 10 – baas; 11 – sammumise hüdraulised silindrid; 12 – sildkraana rööpad; 13 – sammumissuusad.

Kopa sisse kogutakse pinnast selle liikumisel mööda tööesist tõmbetrossi ja kopa enda kaalu abil asendist I asendisse II. Järgmisel etapil tõstetrossi abil kopp tõstetakse, ekskavaator pööratakse mahalaadimise koha suunas ja kopp laaditakse tühjaks. Kopa riputus tõste- ja tõmbetrossi külge on teostatud selliselt, et niikaua kuni tõmbetrossil on vähene pingutus on kopp horisontaalses asendis, mis võimaldab hoida kogutud pinnast kopa sees. Siis kui draglain ekskavaatorijuht laseb tõmbetrossid täielikult lõdvaks muutub kopa asend vertikaalseks, selle tulemusel toimub kopa tühjaks laadimine asendis III. Peale tühjaks laadimist ekskavaator pööratakse tööesisse ning lastes kopa paapinnale korratakse pinnase kogumisoperatsiooni. Samuti on ka võimalus valides õiget tõmbe- ja tõstetrosside pingutusjõudu paigutada kopa asendisse IV. Draglain juhtide seas nimetatakse seda asendit „kopa viskeks“.

Draglain sammekskavaatorid on põhikasutatavad maavara maapealsel kaevandamisel, mida kasutatakse karjäärides.

1.1 Sammexskavaatori EŠ15/90 töö tehnoloogia

(Draglain) sammexskavaatori töö tehnoloogia seisneb mitmes etapis:

Alguses võetakse maha nn pehmete setete kiht, mis koosneb mullast, turbast, liivast ja savist. Kujundatakse pinnase ladustamiskoht „puistang“ kohas, kus põlevkivi on juba ära korjatud. Toimub kõva kivimi, paekivi, mergeli avamine.

Järgmises etapis toimub ettevalmistus, puuraukude puurimine lõhkeainete paigutamiseks ja toimub kõvade mäemasside kobestus põlevkivikihtideni suunatud plahvatuse abil.

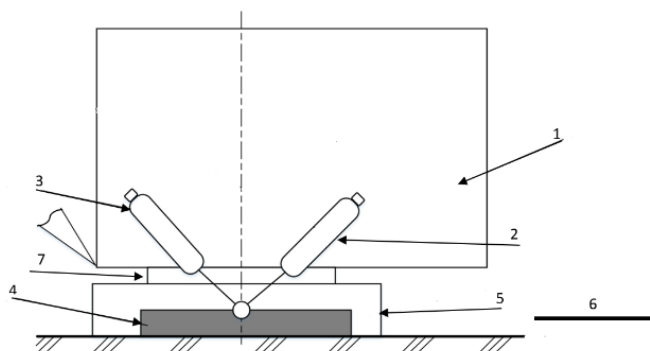
Järgnevalt draglain teostab põlevkivikihtide avamist korjates puistangusse plahvatatud mäemassi. Maavara mahalaadimine elektrijaamadesse ja õlitehastesse toimub teiste mäemehhanismidega ja transpordiga.

1.2 Draglaini põhimehhanismid

Ekskavaatori põhimehhanismid on ettenähtud ekskavaatori enda ja selle põhiorgani - kopa liikumiseks, tõstmiseks (ja tõmbamiseks draglainidel) ja surveks. Kopa liigutamist mahalaadimiskohta teostab pöördemehhanism. Kõik mehhanismid on paigaldatud pöördeplatvormil.

Eesti mäetööstuses kasutatavate draglainide skeem omab paljumotoorset mehhanismide ajamite skeemi omaenda (individuaalsetelt) alalisvoolu mootoritelt.

Masina teisaldust maapinnal teostatakse suure võimsusega hüdrauliliste sammumissilindrite abil. Hüdrauliline (sammumis-) pump käivitub elektrimootori abil. Masina liikumiskiirus maapinnal on ligikaudselt 0,06 km/h tingimusel, et maapind on eelnevalt tasandatud buldoosertehnikaga.

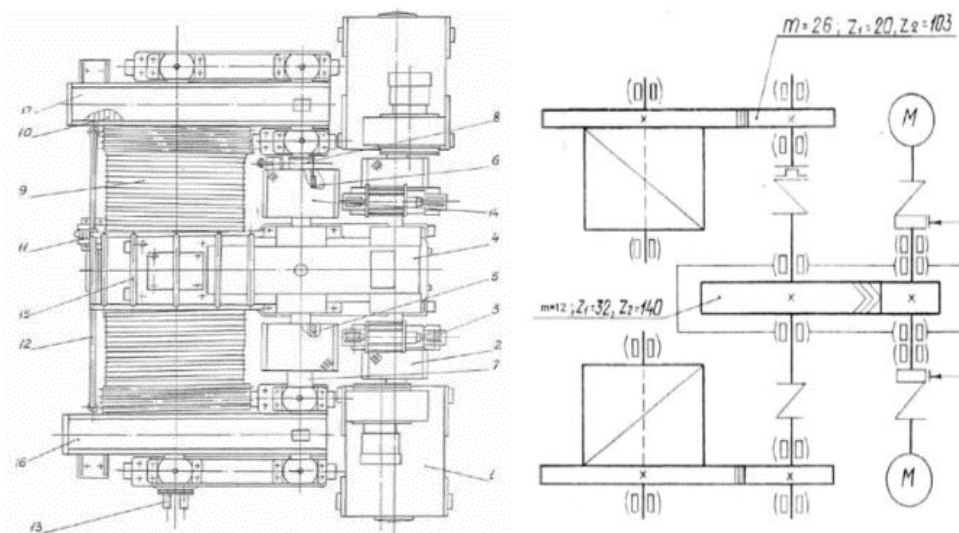


Joonis 2. Sammumismehhanismi skeem: 1 – pöördeplatvorm; 2 – hüdraulilised tõstesilindrid; 3 – tõmbesilindrid; 4 – EŠ suusad; 5 – tugiplatvorm (baas), 6 – sammumise suunad; 7 – rööbas – rullring.

Paljandustööde teostamiseks on draglainid varustatud tugi-pöördemehhanismidega, mis koosnevad tugi-pöördeplatvormist rööpa-rulliringiga ja keskse tapiga, mis on pöördeplatvormi keskseks elemendiks, mis võimaldab edastada elektrienergiat pöörlevale ekskavaatorile. Draglainil on võimalik teostada tööd pööreldes ümber oma telge 360° ulatuses mööda rööbast-rullringi.

Kasutatavate ekskavaatorite tõste- ja tõmbemehhanismid koosnevad ajamivintsudest ja köis-plokk käikudest. Draglainide EŠ 15/90 tõste- ja tõmbevintsudel kasutatakse kahemootorset, ühereduktorilist ja kahetrumlilist ajamiskeemi, mis põhineb ПЭ-162-6к elektrimootoril võimsusega 710 kW.

Tõste- ja tõmbevintsude mehhanismid asetsevad masinaruumi tagaosas pöördeplatvormil ning on paigaldatud sümmeetriliselt draglaini pikitelje suhtes. Tõmbevints erineb tõstevintsist vaid maksimaalse jõupingutuse poolest.



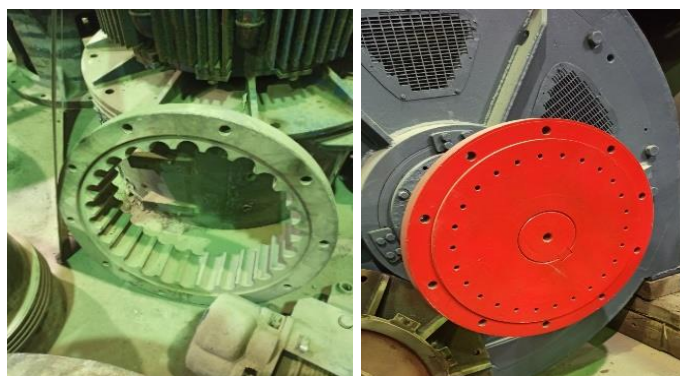
Joonis 3. Tõstevintsi mehhanism tõste- (tõmbe-) vintsi kinemaatikaskem (skeemid on võetud draglaini tehnilisest passist)

2 PROBLEEMI KIRJELDUS

Ekskavaatorite elektriseadeldised töötavad küllaltki rasketes löökide, suure tolmususe, vibratsiooni ja raputuste tingimustes. Ekskavaatori peamehhanismide elektrimootorid töötavad intensiivses korduv-lühiajalises režiimis, suure lülituste sagedusega, laiaades piirides muutuva koormuse juures mootori võllil.

Draglainide EŠ 15/90 ekspluateerimisaja jooksul oli tõstevintside konstruktsioonis avastatud märkimisväärne puudus, mis puudutab elektrimootori - reduktori ühendussõlme, ESMS elastset sõrm-muhvsidurit.

Seoses sellega, et antud sidur töötab ekspluateerimisprotsessis tippkoormuste juures vintsi äärasendites, toimusid tihti rikked kummipukside, sidurisõrmede kulumise ja siduriavade kaju moonutamise näol, esinesid ka elektrimootori võlli lõikamised, mis tõi endaga kaasa pikaajalist, kallihinnalist ja tööjõukulukat remonti antud sõlmel, tagajärjena ka draglaini seiskumist.



Joonis 4a. Varem ESMS (elastse sõrm-muhvsiduriga) lahtivõetav reduktori poolsidur



Joonis 4b. Varem ESMS (elastse sõrm-muhvsiduriga) poolsidur elektrimootori võllil

Joonisel 4a. on näidatud varem paigaldatud ühendussidur. Lahtivõetav reduktori poolsiduri elastne sõrm-muhvsidur (ESMS), poolesiduri koosneb kahest poltidega ühendavast detailist reduktori poolesiduri monteerimise ja demonteerimise mugavuseks. Joonisel 4b. on näidatud elektrimootori võlli poolsiduri elastne sõrm-muhvsidur (ESMS), näidatud on kummipuks (26 tk komplektis), mille abil kaks pooltsiduri on ühendatud.

Vältimaks seda, elektrimootori-reduktori ühendussõlme töökindluse tõstmiseks oli tehtud ettepanek arvutada välja ja asendada elastne sõrm-muhvsidur armeeritud kummist elastse materjaliga nukksiduri vastu. Siduri konstruktsioonis on nukkide vahele paigutatud elastne kummarmeeritud materjal. Elastse elemendi olemasolu, mis omab suurt kontaktpinda ühendussiduri nukkidega täidab summuti ülesannet ning võimaldab tasandada pulseerivaid koormuseid, mis tekkivad mehhanismide töö ajal. Pooltsiduri ühendus läbi elastse materjali võimaldab:

- kompenseerida võllide teljeerinevust;
- muuta süsteemi jäikust resonantsvõnkumiste kõrvaldamiseks perioodiliselt muutuva koormuse juures;
- maandada löökülekoormust.

Sellise siduri tähtsaks omaduseks on selle summutusvõimekus, mis väljendub energias, mida sidur tarvitab ühe tsükli jooksul: koormus-ülekoormus. Seda energiat siduris kulutatakse sisemiseks ja väliseks hõõrdeks elastsete elementide deformeerimisel. Sidurite summutusvõimekus soodustab dünaamiliste koormuste maandamist ja võngete sumbumist. Tänu armeeritusele on tugevam ja paindumisele vastupidavam kõrgete ja madalate temperatuuride juures.

Väljatöötatud siduril on suurem tööpind kaheksast nukist, mis asetsevad ringjoonel ja kummist elemendid 16 tk on tugevdatud metallist vaheosistega, millel on positiivsed omadused:

- kõrge elastsus; nõtkuse piiris kumm lubab deformeerimist vahemikus $\epsilon \approx 0,7 \dots 0,8$, ning teras $\epsilon \approx 0,001 \dots 0,002$; sellise deformeerumise puhul kummi massiühik võib akumulierida suurt energiahulka (10 korda rohkem kui teras);
- elektriisolatsioonivõime;
- kõrge summutusvõime.

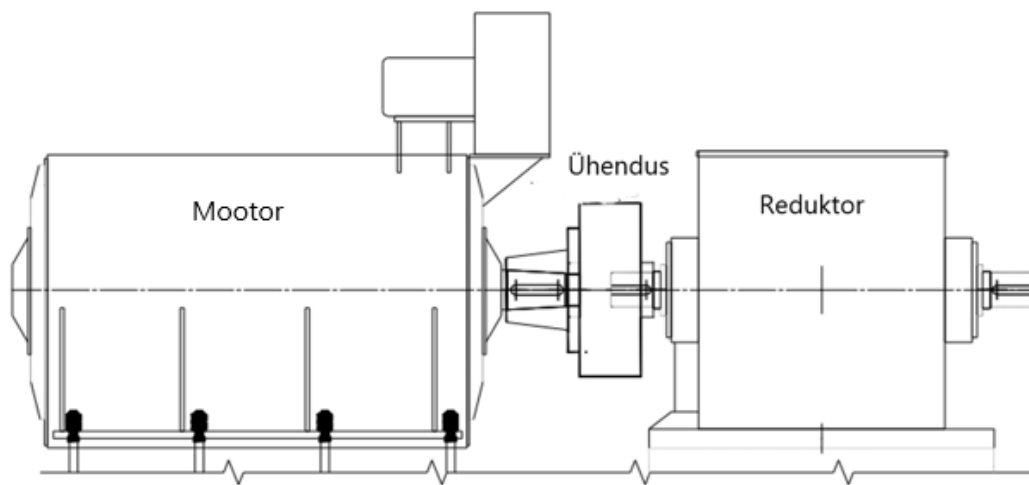
Väljatöötavas siduris poolesiduri elastsed elemendid töötavad survele suurte koormuste ja ülekoormuste all. Kokku surumine oli valitud, kuna lubatud pinged kummarmeeritud elastsete materjalide puhul on kõige kõrgemad.

Antud sidurikonstruktsioon on vastupidavam suurte koormuste suhtes ja tõstab antud sõlme töökindlust. See omakorda võimaldab vältida tööjõukulukat ja kallihinnalist

plaanivälist remonti draglaini töökindluse taastamiseks, samuti ka aitab vältida majanduslikke kulusid saamata jäänud tuhandete tonnide avatud põlevkivivarude näol.

2.1 Väljatöötatava siduri konstruktsioon

Väljatöötatud pidurtrumliga nukksidur kuulub tõstevintsi ajami koosseisu, koosneb kahest poolest, mis on omavahel ühendatud läbi nukkkide kontakti kummarmeeritud elastsete materjalide kaudu, mis asuvad võllide otstes. Sidur ühendab elektrimootori võlli reduktori võlliga.



Joonis 4d. Pooltesiduri ühenduse koosteskeem

Vedav pool kinnitatakse mootori võllil, veetav pool on paigaldatud reduktori esmase hammasratta võllil. Pidurirattaga nukksidurit kasutatakse elektrimootori ja reduktori võllide ühendamiseks. Elektrimootori kiirekäigulise võlli poolsidur koonuskujulise avaga ja kiilupesaga. Sellele on poltide abil kinnitatud kaitserõngas, mis takistab kummarmeeritud elastsete materjalide väljakukkumist oma istuskohtadest siduri kiiruse muutumisel. Poolsiduri sees on paigaldatud piirderõngas, mis fikseerib elastse materjali asendit kindlas kohas. Poolsidur on elektrimootori koonusvõllile kinnitav kiilu abil ning telgsihiline asend on fikseeritav mutriga, mis kinnitatakse võlli otsa. Reduktori võlli poolsiduril on sirge ava liistupesaga ning peale liistu ja poolsiduri paigaldust reduktori võllile, fikseeritakse see stopperseibi ja kolme mutri abiga reduktori võlli otsapoleel. Poolesiduri siseosas on paigaldatud rõngas, mis fikseerib elastse materjali asendit. Reduktori poolesiduri välidiametril kinnitatakse poltidega pidurtrummel, mis on ettenähtud tõstevintsi pidurdusmehhanismi paigaldamiseks.

Siduri kokkupanemisel tööseisundisse paigaldatakse pidurtrummel ja piirderõngas oma kohtadele peale kummarmeeritud elastse materjali paigaldust.



Joonis 5. Poolsidur elektrimootori võllil



Joonis 6. Poolsidur reduktori võllil

3 PÕHIOSAD. SIDURI ARVUTAMINE

Püstitatud ülesande saavutamiseks vaatleme sidurit kui elastsete elementidega soonühendust. Kontrollime elastne element muljumisele, kuna element on kokku surumise surve all. Nukksidurite töökindlust määratakse kindlaks peamiselt nukkide kulumise järgi, mis sõltub kokku surumise survest kokkupuutepinnal. Need surved arvutatakse ligikaudselt eeldusel, et koormus jaotub ühtlaselt kõikide nukkide vahel. Katsetame kokku surumisega nuki kontaktpinda ja selle lõikega, samuti ka painutamise. Kontrollime väsimustugevus, kuna sellele mõjuvad pulseerivad koormused. Võllid, mis ühendatakse siduripooltega on koormatud väändepingetega. Sidurid lubavad võllide viltusust kuni 1° ning tavaliselt neid kasutatakse kombinatsioonis koos piduriratastega. Arvutame välja poolesiduri kiilpesade kokku surumist ja kontrollime lõiget.

3.1 Kummarmeeritud elastsete elementide arvutus muljumisele

Siduri arvutust teostame kummarmeeritud elastsete elementide kokku surumise järgi [1].

Materjal – metallarmeritud kumm SBR GOST 7338-90 [9].

Elektrimootori mark ПЭ 162-6к alalisvool, $P = 710 \text{ kW}$, $n=750 \text{ min}^{-1}$ [8].

Muljumisepinge tuleb [1]

$$\sigma_c = \frac{F}{\psi \cdot A_c} \leq [\sigma_c] \quad (1)$$

kus

F -koormus sidurile, N

A_c - elastsete materjalide kokkusurumise pindala, mm^2

$[\sigma_c]$ - lubatav kontaktpinge löökoormuse juures elastsetele materjalidele

$[\sigma_c] = 1,8 \dots 2,0 \text{ MPa}$ [1]

$\psi = 0,7 \dots 0,8$ - koormuse ebaühtlase jagunemise tegur elastse materjali vahel, valime

$\psi = 0,7$ [1].

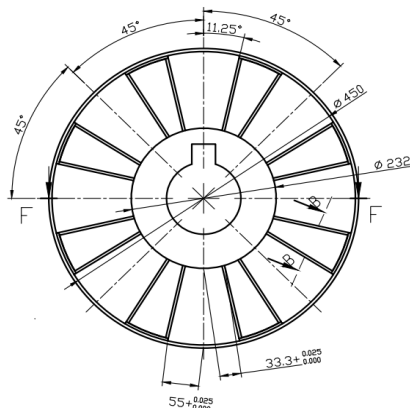
Sidurile mõjuv jõud määratakse järgmise valemiga [1]

$$F = \frac{2 \cdot T_{nom}}{d_k} \quad (2)$$

kus

T_{nom} - elektrimootori nominaalmoment, Nm

d_k - keskmine diameeter jõu rakendamisel elastsele materjalile, mis leiame jooniselt (vt joonist 7)



Joonis 7. Nuki geomeetriselised omadused

kus $D = 450 \text{ mm}$, $d = 232 \text{ mm}$ - suurim ja väikseim töödiameter siduripoole ühendamiseks, $P = 710 \text{ kW}$ -elektrimootori võimsus võllil (juba valitud) [8].

Siis keskmine diameeter [1]

$$d_k = \frac{D+d}{2} = \frac{450+232}{2} = 341 \text{ mm} = 0,341 \text{ m.} \quad (3)$$

Sidurile mõjuva jõu F määramiseks leiame elektrimootori nominaalmomendi [1]

$$T_{nom} = \frac{P}{\omega_{mt}} = \frac{710000}{78,5} = 9045 \text{ Nm} \quad (4)$$

kus

$P = 710 \text{ kW}$ - elektrimootori võimsus võllil (juba valitud) [8].

ω_{mt} - nurkkiirus elektrimootori võllil [1], rad/s, mille leiame valemi järgi

$$\omega_{mt} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ rad/s} \quad (5)$$

kus

$n = 750 \text{ min}^{-1}$ - mootori pöörlemissagedus (juba valitud) [8].

Lõplikult vastavalt valimile (2) sidurile mõjuv jõud on

$$F = \frac{2 \cdot T_{nom}}{d_k} = \frac{2 \cdot 9045}{0,341} = 53050 \text{ N} \quad (6)$$

Elastsete materjalide kokkusurumise pindala A_c , mm^2 (vt joonist 8)

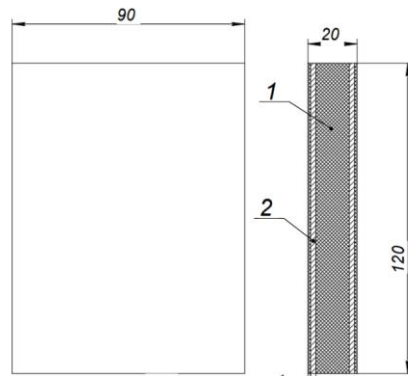
$$A_c = l \cdot b \cdot z \quad (7)$$

kus

$l = 120 \text{ mm}$ – elastsete materjalide pikkus, $b = 90 \text{ mm}$ – elastsete materjalide laius,

$z = 8$ – elastsete materjalide tööpindade arv.

Elastsete materjalide tööpindade arv on 8 tk. Sidur pöörleb ühes suunas ja sidur surub ühele elastsete materjalide paarile, kui pöörlemine toimub teises suunas, siis surub teisele elastsete materjalide paarile.



Joonis 8. Elastse materjali geomeetrilised suurused: 1. kummist tihend, 2. metallplaat.

$$A_c = l \cdot b \cdot z = 120 \cdot 90 \cdot 8 = 86400 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

siis,

σ_c - muljumispinge tuleb vastavalt valemile (1)

$$\sigma_c = \frac{F}{\psi \cdot A_c} = \frac{53050}{0,7 \cdot 86400} \approx 0,9 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] = 1,8 \dots 2,0 \text{ MPa}. \quad (8)$$

kus

$F = 53050 \text{ N}$ (vt valemit 6), $\psi = 0,7$ (vt valemit 1), $A_c = 86400 \text{ mm}^2$ (vt valemit 7),
 $\sigma_c = 0,9 \text{ MPa}$ (vt valemit 8).

Elastse materjali pinna, mis puutub kokku nukiga, vastupidavus on tagatud. Kokkusurumise tugevustingimus on täidetud.

3.2 Nukkide painutamise arvutus tippkoormuse juures

Siduri materjal: teras C40X või terase klass 41Cr4- 1.7035 vastavalt Euro standardile EN 10277. Selle terase eeliseks on kulumiskindlus ja selle tugevus on üheks peamiseks väärtuseks selle sulami puhul [7] [10].

Sidur töötab löökoormuste all (käivitus-seiskamine) [1] [4].

Käivitusmomendid T_{max} on reeglina nominaalsetest T_{nom} kaks korda suuremad,

$$T_{nom} = 9045 \text{ Nm} \text{ (vt valemit 4)}$$

kus

$$T_{max} = 2 \cdot T_{nom} = 2 \cdot 9045 = 18090 \text{ Nm}. \quad (9)$$

Kontrollime poolesiduri nuki paindele. Koormust rakendame nuki keskkohale ja kontrollime tugevust selle alusel.

Koormuse F_{kr} ühele nukile määrame kindlaks järgmiselt [1]:

$$F_{kr} = \frac{2 \cdot T_{max}}{d_k \cdot \psi \cdot z_k} = \frac{2 \cdot 18090}{0,341 \cdot 0,75 \cdot 8} = 17683 \text{ N} \quad (10)$$

$d_k = 0,341$ - keskmine diameeter nukile jõu rakendamiseks (vt valemit 3),

ψ - koormuse ebaühtlase jagunemise tegur nukkide vahel $\psi = 0,7 \dots 0,8$ valime

$\psi = 0,75$ [1],

$z_k = 8$ - poolesiduri nukkide arv (vt joonist 7),

$T_{max} = 18090 \text{ Nm}$ (vt valemit 9).

Nuki vastupidavuse tingimus painutamise vastu näeb välja järgmiselt [1]:

$$\sigma_M = \frac{M}{W_y} \leq [\sigma_M] \quad (11)$$

kus

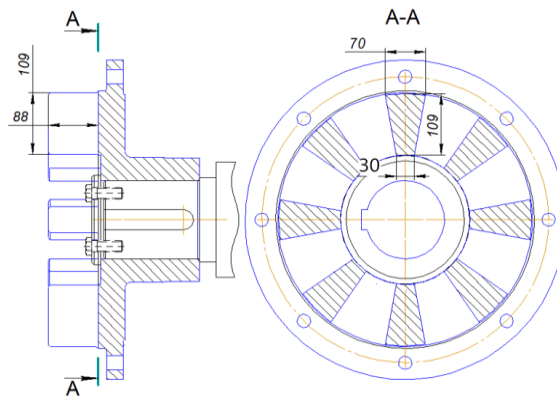
σ_M - arvutatud paindumise pinge, MPa

M - paindemoment, Nm

W_y - telgvastupanumoment, mm^3 (vt joonist 10),

$[\sigma_M] = 190 \text{ MPa}$ - lubatav paindumise pinge poolesiduri terasmaterjali puhul [10].

Paindemomendi leiame lähtudes sellest, et loeme nukki jäiga (vt joonist 9b) konsoolkinnitusega talaks pikkusega $l = 88 \text{ mm}$, kus jõud on rakendatud tala keskohta.

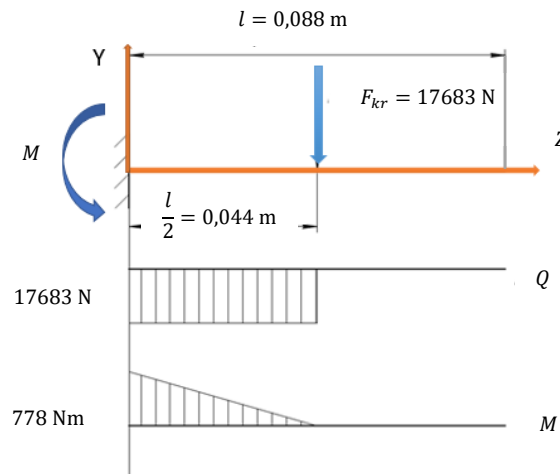


Joonis 9a. Poolesiduri geomeetriselised omadused

Paindemoment leiame jäik kinnitusel M valemi järgi (vt joonist 9b) [1]:

$$M = F_{kr} \cdot \frac{l}{2} = 17683 \cdot \frac{0,088}{2} = 778 \text{ Nm.} \quad (12)$$

Ehitame sisejõudude epüürid (vt joonist 9b). Põikjõud $Q = F_{kr} = \text{const}$. Maksimaalne paindemoment konsooli kinnitusel $M = 778 \text{ Nm}$



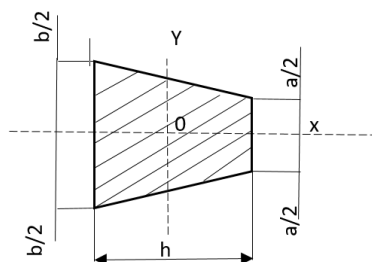
Joonis 9b. Paindemomendi epüür

Telgvastupanumomendi W_y trapetsikujulise ristlõike (vt joonist 10) puhul leiame valeme (13) järgi.

nuki mõõdud $h = 109 \text{ mm}$, $a = 30 \text{ mm}$, $b = 70 \text{ mm}$ võtame pooleltsiduri jooniselt (vt joonist 9a).

Telgvastupanumoment W_y leiame valemi järgi [4]:

$$W_y = \frac{h^2 \cdot (b^2 + 4 \cdot b \cdot a + a^2)}{12 \cdot (2 \cdot b + a)} = \frac{109^2 \cdot (70^2 + 4 \cdot 70 \cdot 30 + 30^2)}{12 \cdot (2 \cdot 70 + 30)} = 82701 \text{ mm}^3. \quad (13)$$



Joonis 10. Nuki ristlõige

Siis nuki vastupidavuse tingimus painutamise vastu näeb välja järgmiselt:

$$\sigma_M = \frac{M}{W_y} = \frac{778000}{82701} \approx 10 \text{ MPa} \leq [\sigma_M] = 190 \text{ MPa} \quad (14)$$

kus

$M = 778 \text{ Nm}$ (vt valemit 12), $W_y = 82701 \text{ mm}^3$ (vt valemit 13).

Saadud arvutuslik pingeline vastab tingimusele. Tugevuse tingimus $\sigma_M \leq [\sigma_M]$ on täidetud, töökindlus tagatud.

3.3 Pooltesiduri nukkide kulumise arvutus

Poolesiduri kulumise arvutust teostatakse tingimusel [1]

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot T_{nom}}{z \cdot h \cdot d_k \cdot l} \leq [\sigma_c]_k \quad (15)$$

kus

$T_{nom} = 9045 \text{ Nm}$ - elektrimootori nominaalmoment (vt valemit 4),

$z = 8$ - nukkide arv (vt joonist 7),

$h = 109 \text{ mm}$ - nukkide kõrgus (vt joonist 9a),

$d_k = 341 \text{ mm}$ - keskmine diameeter (vt valemit 3),

$l = 88 \text{ mm}$ - nukkide laius (vt joonist 9b),

$[\sigma_c]_k$ - kulumispinge määratakse kindlaks valemi järgi [1]:

$$[\sigma_c]_k = \frac{[\sigma_c]_t}{\psi \cdot k_{kr} \cdot k_d \cdot k_t \cdot k_m \cdot k_{tl}} \quad (16)$$

ning korrigeerivad koefitsiendid, mis arvestavad vastuturikust ja mehhanismi töörežiimi.

Kus

$[\sigma_c]_t = 110 \text{ MPa}$ - lubatud pingeline tsüklite arvu $N = 10^8$ ja pideva koormuserežiimi juures. Nuki tööpinna materjaliks on teras 40X, termotöötlus - parendamine HB 270 [1, tabel 6.5]

ψ - koormuse ebaühtlase jagunemise tegur ja kulumise arvutamisel erinev hammaste libisemine, võtame $\psi = 1$, sest ühendus on koormatud pöördemomendiga [1, tabel 6.2]

k_{kp} - pikisuunalise koormuse kontsentratsioonitegur, valime $k_{kp} = 1,5$ [1, tabel 6.3]

Valime pikisuunalise koormuse kontsentratsioonitegur:

$k_{kp} = \frac{l}{d_k} = \frac{88}{341} = 0,25$ (keskmine diameeter $d_k = 341$ mm (vt valemit 3)), tööpinna pikkus $l = 88$ mm (vt joonist 9a), on vähem kui üks, tabeli järgi võtame veeru 1,0, keskmine, diameeter üle 112 [1],

k_d - koormuse muutuse tegur $k_d = 0,77$ valime (režiim I, töö suurem osa ajast kõrgete koormuste juures) [1. tabel 6.4],

k_t - mikronihete tsüklite arvu tegur kogu töö jooksul [1]

$$k_t = \sqrt[3]{\frac{N}{10^8}} = \sqrt[3]{\frac{19,7 \cdot 10^8}{10^8}} = 2,7 \quad (17)$$

kus

t - eluaeg (5 aastat, $365 \cdot 5 \cdot 24$),

$n = 750 \text{ min}^{-1}$ - mootori pöörlemissagedus (juba valitud) [8]

$$N = 60 \cdot t \cdot n = 60 \cdot 43800 \cdot 750 = 19,7 \cdot 10^8 \quad (18)$$

$k_m = 1$ - iikuvühenduste määrdetingimuse koefitsient, perioodilise määrimise puhul [1],

k_{tl} - telje liikuvuse tegur, mitteliikuvate ühenduste puhul $k_{tl} = 1$, liikuv ilma koormuseta

$k_{tl} = 1,25$, liikuv koormuse all $k_{tl} = 3$, võtame $k_{tl} = 1$ [1]

siis, koormusetegur

$$K = \psi \cdot k_{kr} \cdot k_d \cdot k_t \cdot k_m \cdot k_{tl} = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 2,7 \cdot 1 \cdot 1 \approx 3,12 \quad (19)$$

$[\sigma_c]_k$ – kulumise pinge, MPa (vt valemit 16)

$$[\sigma_c]_k = \frac{[\sigma_c]_t}{\psi \cdot k_{kr} \cdot k_d \cdot k_t \cdot k_m \cdot k_{tl}} = \frac{110}{1 \cdot 1,5 \cdot 0,77 \cdot 2,7 \cdot 1 \cdot 1} \approx 35 \text{ MPa.} \quad (20)$$

Siis,

σ_c - poolesiduri kulumise vastavalt valimine (vt valemit 15) arvutust tuleb

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot T_{nom}}{z \cdot h \cdot d_k \cdot l} = \frac{2 \cdot 9045 \cdot 1000}{8 \cdot 109 \cdot 341 \cdot 88} = 0,69 \text{ MPa.} \quad (21)$$

Tugevuse tingimus $\sigma_c = 0,69 \text{ MPa} \leq 35 \text{ MPa} [\sigma_c]_k$ on täidetud.

Saadud tinglik arvutuslik pingeline vastab tingimusele. Tingimus on täidetud, töökindlus tagatud.

3.4 Pooltesiduri nukkide muljumise arvutus ja lõiketugevuse kontroll

Muljumise arvutus ja lõiketugevuse kontroll ennetab nukkide tööpindade plastset deformeerimisi ülekoormuste juhul. Soonühenduse koormuseks on võllilt rummule ja rummult võllile edasiantav väändemoment.

Arvutame välja nukid muljumise tingimusel valemi järgi [2]:

$$\sigma_c = \frac{T_{max}}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r} \quad (22)$$

kus

T_{max} – maksimaalne väändemoment nukkidel, võrdub käivitusmomendiga

$T_{nom} = T_{max} = 18090 \text{ Nm}$ (vt valemit 4,9),

$z = 8$, hammaste arv (vt joonist 7) ,

$\psi = 0,75$ – koormuse ebaühtlase jagunemise tegur nukkide vahele $\psi = 0,7 \dots 0,8$, võtame 0,75 [1]

kus

$D = 450 \text{ mm}$, $d = 232 \text{ mm}$ – suurim ja väikseim töödiameeter pooltesiduri ühendamiseks (vt joonist 7),

r – keskmine raadius, mm,

$d_k = 341 \text{ mm}$ – keskmine diameeter (vt valemit 3),

$l = 88 \text{ mm}$ – nukkide pikkus (vt joonist 9b),

$f = 4$ – teritusfaas nukkidel, mm (vt graafiline osa joonist 4),

h - kontaktiga seotud pilu kõrgus, mm.

Hammaste töökõrgus [2]

$$h = \frac{D-d}{2} - 2 \cdot f = \frac{450-232}{2} - 2 \cdot 4 = 101 \text{ mm} \quad (23)$$

ja keskmine raadius

$$r = \frac{d_k}{4} = \frac{341}{4} = 85,25 \text{ mm.} \quad (24)$$

Lõplikult vastavalt valimile (22) muljumispinge tuleb

$$\sigma_c = \frac{T_{max}}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r} = \frac{18090 \cdot 1000}{0,75 \cdot 8 \cdot 101 \cdot 88 \cdot 85,25} \approx 4 \text{ MPa} < [\sigma_c] = 230 \text{ MPa}. \quad (25)$$

Poolesiduri materjali (teras 40X) jaoks lubatud muljumispinge valime $[\sigma_c] = 230 \text{ MPa}$ [10].

Kuna $[\sigma_c] = 230 \text{ MPa} > \sigma_c \approx 4 \text{ MPa}$, siis töökindlus on tagatud. Ühenduste tööpindade muljumise osas on suur varu.

Nuki lõiketugevuse pinge leiame valemi järgi [2]:

$$\tau = \frac{T_{max}}{\psi \cdot z \cdot a \cdot l \cdot r} \quad (26)$$

kus

$T_{max} = 18090 \text{ Nm}$ (vt valemit 9),

$a = 30 \text{ mm}$ – nuki laius, võtame väikseima laiuse (vt joonist 9b),

$z_k = 8$ - poolsiduri nukkide arv (vt joonist 7),

$l = 88 \text{ mm}$ – nukkide pikkus (vt joonist 9b),

$\psi = 0,7 \dots 0,8$ – koormuse ebaühtlase jagunemise tegur nukkide vahele, võtame 0,75 [1],

$r = 85,25 \text{ mm}$ (vt valemit 24).

Lõplikult vastavalt valimile (26) lõikepinge τ tuleb

$$\tau = \frac{T_{max}}{\psi \cdot z \cdot a \cdot l \cdot r} = \frac{18090 \cdot 1000}{0,75 \cdot 8 \cdot 30 \cdot 88 \cdot 85,25} \approx 13,4 \text{ MPa} < [\tau] = 95 \text{ MPa}. \quad (27)$$

kus

$\psi = 0,75$ (vt valemit 1), $r = 85,25 \text{ mm}$ (vt valemit 24), $l = 88 \text{ mm}$ (vt joonist 9a), $z_k = 8$ - (vaata joonist 7), $a = 30 \text{ mm}$ (vt joonist.9b), $T_{max} = 18090 \text{ Nm}$ (vt valemit 9).

Lubatud lõikepinge poolesiduri materjali, terase 40X jaoks, $[\tau] = 95 \text{ MPa}$, kuna

$[\tau] > \tau$, siis töökindlus on tagatud [10].

3.5 Paindetugevuse varu arvutus

Leiame nuki paindetugevuse varu [3]

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_{\sigma}}{K_F \cdot K_{d\sigma}} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m} \quad (28)$$

kus

S_{σ} - varutegur paindele vahelduvate koormuste korral,

$\sigma_{-1} = 310$ MPa –terase 40X jaoks väsimuspiir paindumisel [10],

K_{σ} - efektiivne pingekontsentratsiooni tegur, võtame $K_{\sigma} = 0,61$ (vt lisa 1 tabel 1) [3],

K_F - pinnatöötlustegur, $K_F = 0,97 \dots 0,90$, valime $K_F = 0,95$ [3],

$K_{d\sigma}$ - mastabitegur, süsinikterase ja legeerterase jaoks, valime $K_{d\sigma} = 0,61$.
Efektiivsuskoefitsiendi, mis arvestab mastabitegurit $K_{d\sigma}$ saame tabeli järgi. (vt lisa 1 tabel 2) [1].

Absoluutsuuruste mõjukoefitsiendi väärtused sõltuvalt detaili diameetrist ja materjalist [1].

$\sigma_a = 10$ MPa – amplituudpinge, leiti painde arvutamisel (vt valemit 14),

$\psi_{\sigma} = 0,25$ -empiriiline tegur $\psi_{\sigma} = 0,25 \dots 0,3$ – legeeritud ja $\psi_{\sigma} = 0,2$ – süsinikterastel [3],

σ_m - pinge keskmise väärtuse leiame kui aritmeetilise keskmise nulli ja paindumise pinge vahel, ehk $\sigma_m = 5$ MPa, paindumise pinge $\sigma_a = 10$ MPa on meile teada, teine väärtus on null, ehk nullist kuni paindumise pinge väärtuseni toimub muutus ja saame keskmise kui 0+ paindumise pinge väärtus ja jagatud kahega.

Siis,

$K_{\sigma} = 1,6$; $K_F = 0,95$; $K_{d\sigma} = 0,61$; $\sigma_a = 10$; $\psi_{\sigma} = 0,25$; $\sigma_m = 5$ MPa.

Lõpekult vastavalt valimine (28) varutegur S_{σ} paindele vahelduvate koormuste korral tuleb

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_{\sigma}}{K_F \cdot K_{d\sigma}} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m} = \frac{310}{\frac{1,6}{0,95 \cdot 0,61} \cdot 10 + 0,25 \cdot 5} \approx 11 \quad (29)$$

kus

$K_{\sigma} = 1,6$ (vt lisa 1 tabel 1); $K_F = 0,95$; $K_{d\sigma} = 0,61$ (vt lisa 1 tabel 2); $\psi_{\sigma} = 0,25$; $\sigma_m = 5$ MPa, $\sigma_a = 10$ MPa (vt valemit 14), $\sigma_{-1} = 310$ MPa.

Järeldus: detaili tugevuse tagamiseks on vajalik, et arvutuslik tugevuse varu koefitsient ei oleks nõutavast väiksem, tugevuse varu koefitsient $[S]$ peab olema 2,5 ... 3 piires. Kuna nuki väsimustugevus $[S] > 11$, siis väsimustugevus on tagatud.

3.6 Poolesiduri rummu väände arvutus

Arvutame välja poolesiduri väändepinge osas. Tugevustingimused paneme kirja järgmiselt [4] [10] [13]:

$$\tau_{max} = \frac{T_{max}}{W_p} \leq [\tau] \quad (30)$$

kus

τ_{max} - väändepinge siduripoole ristlõikes, MPa

$[\tau]$ - lubatud väändepingeks poolesiduri materjali, terase 40X puhul, valime $[\tau] = 115$ MPa [10].

$T_{max} = 18090$ Nm (vt valemit 9)

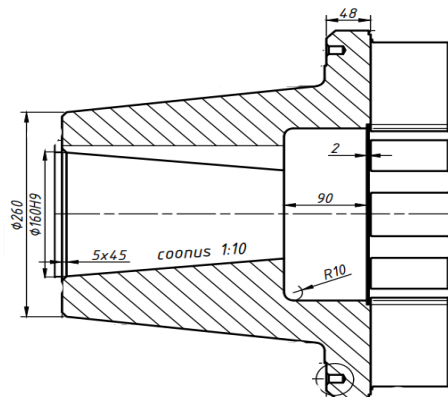
W_p - rõnga polaarvastupanumoment, mm^3

Rõnga polaarvastupanumoment W_p tuleb [4]

$$W_p = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D} \quad (31)$$

kus

$D - \emptyset 260$ mm - rõnga maksimaalne diameeter, $d - \emptyset 160$ mm - rõnga minimaalne diameeter (vt joonist 11).



Joonis 11. Elektrimootori võlli poolesiduri lõike geomeetriselised omadused

Väändepinge τ_{max} poolesiduri ristlõikes määramiseks leiame W_p rõnga polaarvastupanumoment elektrimootori poolesiduri võlli jaoks (vt valemit 31)

$$W_p = \frac{3,14 \cdot (260^4 - 160^4)}{16 \cdot 260} = 2954619 \text{ mm}^3 \quad (32)$$

Lõplikult vastavalt valemile (30) väändepinge τ_{max} siduripoole ristlõikes on

$$\tau_{max} = \frac{18090 \cdot 10^3}{2954619} = 6,1 \text{ MPa} \quad (33)$$

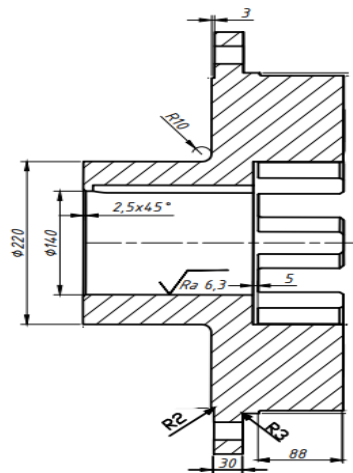
kus

$\tau_{max} = 6,1 \text{ MPa}$ (vt valemit 33), $W_p = 2954619 \text{ mm}^3$ (vt valemit 32), $T_{max} = 18090 \text{ Nm}$ (vt valemit 9), $D - \emptyset 260 \text{ mm}$ - rõnga maksimaalne diameeter, $d - \emptyset 160 \text{ mm}$ - rõnga minimaalne diameeter (vt joonist 11)

$$\tau_{max} = 6,1 \text{ MPa} \leq 115 \text{ MPa}[\tau].$$

Tingimus on täidetud, töökindlus tagatud.

Analoogiliselt arvutame välja reduktori võlli poolesiduri.



Joonis.12 Reduktori võlli siduripoole lõike geomeetriselised omadused

Väändepinge τ_{max} poolesiduri ristlõikes määramiseks leiame W_p polaarvastupanumoment reduktori poolesiduri võlli jaoks (vt valemit 31)

$$W_p = \frac{3,14 \cdot (220^4 - 140^4)}{16 \cdot 220} = 1746981 \text{ mm}^3 \quad (34)$$

kus

$D - \varnothing 220$ mm - rõnga maksimaalne diameeter, $d - \varnothing 140$ mm - rõnga minimaalne diameeter (vt joonist 12)

Lõplikult vastavalt valemile (30) väändepinge τ_{max} poolesiduri ristlõikes on

$$\tau_{max} = \frac{18090 \cdot 10^3}{1746981} = 10,4 \text{ MPa} \quad (35)$$

kus

$\tau_{max} = 10,4$ MPa (vt valemit 35), $W_p = 1746981$ mm³ (vt valemit 34), $T_{max} = 18090$ Nm (vt valemit 9), $D - \varnothing 220$ mm - rõnga maksimaalne diameeter, $d - \varnothing 140$ mm - rõnga minimaalne diameeter (vt joonist 12)

$$\tau_{max} = 10,4 \text{ MPa} \leq 115 \text{ MPa}[\tau]$$

Tingimus on täidetud, töökindlus tagatud.

3.7 Poolesiduri liistliidete arvutus

Arvutame välja poolesiduri liistude muljumise ja kontrollime löiketugevust [2].

Materjaliks on teras C40XH GOST standardi või terase klassi 40NiCr6 Saksa standardi DIN järgi [10][11]:

$$(Rp_{0,2} = 460 \text{ MPa}, R_m = 780 \text{ MPa}, [\sigma_c] = 290 \text{ MPa}, [\tau]_{cp} = 115 \text{ MPa}).$$

Kuna meil elektrimootori võllile on rakendatud löökkoormus, siis vähendame lubatud pinget 40%, ehk $[\sigma_c] \approx 174$ MPa.

Tugevusetingimus näeb välja siis järgmiselt:

$$\sigma_c \leq [\sigma_c]$$

Muljumisepinge σ_c arvutame valemi järgi [2]:

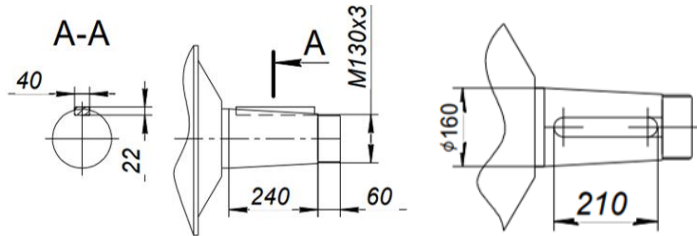
$$\sigma_c = \frac{2 \cdot T_{max}}{d \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \quad (36)$$

kus

$$T_{max} = 18090 \text{ Nm (vt valemit 9),}$$

$d = \varnothing 160$ mm - liistupesaga võlli diameeter, $h = 22$ mm - liistu kõrgus, $t_1 = 13$ pesa sügavus võllil, $l = 210$ mm - liistu pikkus, $b = 40$ mm - liistu laius, $b \times h \times l$, $40 \times 22 \times 210$ (vt joonis 13) [12].

Arvutame välja poolesiduri rummu, mida paigaldatakse elektrimootori võllile - lõige A-A:



Joonis.13 Elektrimootori võlli poolesiduri lõike geomeetrised omadused

Lõplikult vastavalt valemile (36) σ_c muljumispinge tuleb

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot 18090 \cdot 1000}{160 \cdot (22 - 13) \cdot (210 - 40)} \approx 148 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] \approx 174 \text{ MPa}. \quad (37)$$

Muljumise tugevuse tingimus $\sigma_c \approx 148 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] \approx 174 \text{ MPa}$ on täidetud, töökindlus tagatud, järeltult peaks teostama lõiketugevuse kontrolli [2]

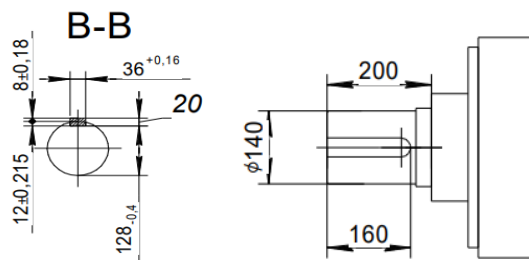
$$\tau = \frac{2 \cdot T_{max}}{2d \cdot b \cdot (l - b)} = \frac{2 \cdot 18090 \cdot 1000}{2 \cdot 160 \cdot 40 \cdot (210 - 40)} \approx 17 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$\tau \approx 17 \text{ MPa} < [\tau] \approx 0,6 \frac{R_{eH}}{S} = 0,6 \frac{460}{1,5} = 184 \text{ MPa} \quad (39)$$

$\tau \approx 17 \text{ MPa} < [\tau] = 184 \text{ MPa}$.

Lõiketugevuse kontroll $\tau \approx 17 \text{ MPa} < [\tau] = 184 \text{ MPa}$ on täidetud, saadud arvutuslik pinge vastab tingimusele.

Arvutame välja poolesiduri rummu, mida paigaldatakse reduktori võllile - lõige B-B, ei hakka muljumispinget kaks korda vähendama, kuna seal on olemas summutid elastsete materjalide kujul, ehk toimub nende löökide leevendamine.



Joonis.14 Reduktori võlli poolesiduri lõike geomeetrised omadused

Vastavalt valemile (36) σ_c muljumispinge tuleb

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot 18090 \cdot 1000}{140 \cdot (20 - 12) \cdot (160 - 36)} \approx 260 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] = 290 \text{ MPa.} \quad (40)$$

Kus

$$T_{max} = 18090 \text{ Nm (vt valemit 9),}$$

$d = \emptyset 140 \text{ mm}$ - liistupesaga võlli diameeter, $h = 20 \text{ mm}$ - liistu kõrgus, $t_1 = 12$ pesa sügavus völliil, $l = 160 \text{ mm}$ - liistu pikkus, $b = 36 \text{ mm}$ - liistu laius, $b \times h \times l$, $36 \times 20 \times 160$ (vt joonis 14) [12].

Muljumise tugevuse tingimus $\sigma_c \approx 260 \text{ MPa} \leq [\sigma_c] = 290 \text{ MPa}$ on täidetud, töökindlus tagatud, järelikult peaks teostama lõiketugevuse kontrolli.

$$\tau = \frac{2 \cdot T_{max}}{2d \cdot b \cdot (l - b)} = \frac{2 \cdot 18090 \cdot 1000}{2 \cdot 140 \cdot 36 \cdot (210 - 36)} \approx 21 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$\tau \approx 21 \text{ MPa} < [\tau] \approx 0,6 \frac{R_{eH}}{S} = 0,6 \frac{460}{1,5} = 184 \text{ MPa}$$

$$\tau \approx 21 \text{ MPa} < [\tau] = 184 \text{ MPa.} \quad (42)$$

Lõiketugevuse kontroll $\tau \approx 21 \text{ MPa} < [\tau] = 184 \text{ MPa}$ on täidetud, saadud arvutuslik pinge vastab tingimusele.

KOKKUVÕTE

Maavara maapealsel kaevandamisel moodustavad omahinna suurema osa draglainide EŠ15/90 hooldamiskulud, isegi väike draglainide pargi tootlikkuse tõstmine võimaldab saavutada positiivset majanduslikku efekti põlevkivi paljandustööde läbiviimisel.

Seoses sellega oli töö eesmärgiks töötada välja probleemi lahenduse draglainide töökindluse tõstmiseks ja remondivahelise aja pikendamiseks tehes muudatusi ühesse tähtsamasse ühendussõlme sammekskavaatori tõstevintsi elektrimootori võllilt väändemomendi üleandmiseks reduktori võllile.

Olid tehtud tööjoonised, antud mehhanismi elementide vajalikud arvutused, olid leitud pinged, mis on tekitatud raskete koormustega ja löökoormustega. Oli tehtud löiketugevuse kontroll, samuti ka väsimustugevuse kontroll, oli kindlaks tehtud, et sidur kannatab paindekoormust, selle tugevuse varutegur on 11. Arvutused näitasid, et moderniseeritud sidur, millel on suurem nukkide ja elastsete elementide tööpind, võimaldab anda elektrimootori võllilt väändemomendi edasi reduktori võllile ning on kindlam ja vastupidavam konstruktsiooni tippkoormuste suhtes. Väljatöötatud nukksidur võimaldab vähendada kulusid kallihinnaliste, tööjõukulukate remonditöödele ja mõjutab põlevkivi kaevandamise omahinda. Jälgides edaspidi antud mehhanismi elemente saab vastata täpselt kas antud arendustöö osutub efektiivseks või tuleb otsida muud insenerlahendust.

Antud hetkel deformeerumisi antud mehhanismi sõlmes täheldatud ei olnud, mida kinnitavad igakuised ülevaatused draglaini EŠ15/90 ekipaažiliikmete poolt. Antud hetkel täiendavaid meetmeid antud sammekskavaatori sõlme vastupidavuse tõstmiseks vaja ei ole.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. М. Н. Иванов, В.А. Финогенов. Детали машин. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей вузов, издание 9-е – Москва «Высшая школа» 2005. 97–105.
2. Gennadi Arjassov. RAE0351 Masinaelemendid. Loeng 10, Lisa 10.1 Liist- ja hammasliited. <https://moodle.taltech.ee/?lang=en> (01.05.2022)
3. Gennadi Arjassov. RAE0351 Masinaelemendid. Loeng 12, Lisa 12.1 Völlid ja Teljad. [Online] <https://moodle.taltech.ee/?lang=en> (02.05.2022)
4. Konstruktori käsiraamat, takistusemomendi valem. [Online] <https://katalim.ru/geom/geomza.php> (02.05.2022)
5. Поляков В. С., Барбаш И. Д., Ряховский О. А. Справочник по муфтам. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1974.
6. Terasemargi mehaanilised omadused 40X. [Online] <https://areal-metal.ru/spravka/marka-stali-40h> (05.05.2022)
7. Euroopa metallurgia ettevõtte 41CR4-1.7035. [Online] https://emk24.ru/wiki/en_steels/41cr4_1_7035_829163/ (01.05.2022)
8. Elektrimootori tehnilised andmed. [Online] <http://spetm.com.ua/html/ekskavatornie-elektricheskie-mashini-ekskavatora-esh-15-90a.html> (02.05.2022)
9. SBR kummiplaadi tehnilised omadused. [Online] http://rti.by/rezinovye_plastiny/rezinovaya_plastina_sbr_nbr.htm (05.05.2022)
10. Lubatud pinged terasemargi jaoks 40X, 40XH. [Online] http://razvitie-pu.ru/?page_id=4121 (04.05.2022)
11. Terasemargi mehaanilised omadused 40 XH. [Online] http://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=175 (05.05.2022)
12. Võtmete ja soonte seksioonide mõõtmed. [Online] <https://docs.cntd.ru/document/1200012266> (05.05.2022)
13. Õppematerjalid õpilastele. Väändetugevuse tingimuse valem. [Online] <http://www.soprotmat.ru/kruch.htm> (05.05.2022)

SUMMARY

When shale is mined in an open pit, most of the cost is the cost of servicing ESH15/90 draglines, even a slight increase in the reliability of the excavator units and assemblies will make it possible to obtain a tangible economic effect when overburdening shale rocks.

In this regard, the purpose of the work is to develop a solution to the problem of increasing the reliability and period between repairs of the dragline by making changes to one of the most important connection points for transmitting the torque of the electric motor shaft to the shaft of the walking winch lifting winch gearbox of the walking excavator.

Working drawings were made, the necessary calculations of the elements of this mechanism were found, the stresses caused by heavy and shock loads were found. Shear and fatigue strength were tested, it was found that the coupling withstands bending loads, and its strength factor is 11. Calculations showed that the upgraded coupling, which has an increased working surface of cams and elastic elements, allows transmitting torque from the motor shaft to the shaft gearbox and is a more reliable and peak-resistant design. The developed dog clutch makes it possible to reduce the cost of expensive, labor-intensive repair work and has an impact on the cost of shale mining. In the future, monitoring the elements of this mechanism will allow you to accurately answer whether this development will be effective or whether you need to look for another engineering solution.

At the moment, there are no deformations in the assembly of this mechanism, which is confirmed by daily inspections by the crew members of the ESH15/90 dragline. Currently, additional measures to increase the strength of this unit of the walking excavator are not required

LISAD

Tabel 1[3] Pingekontsentratsiooni tegurid K_σ ja K_τ

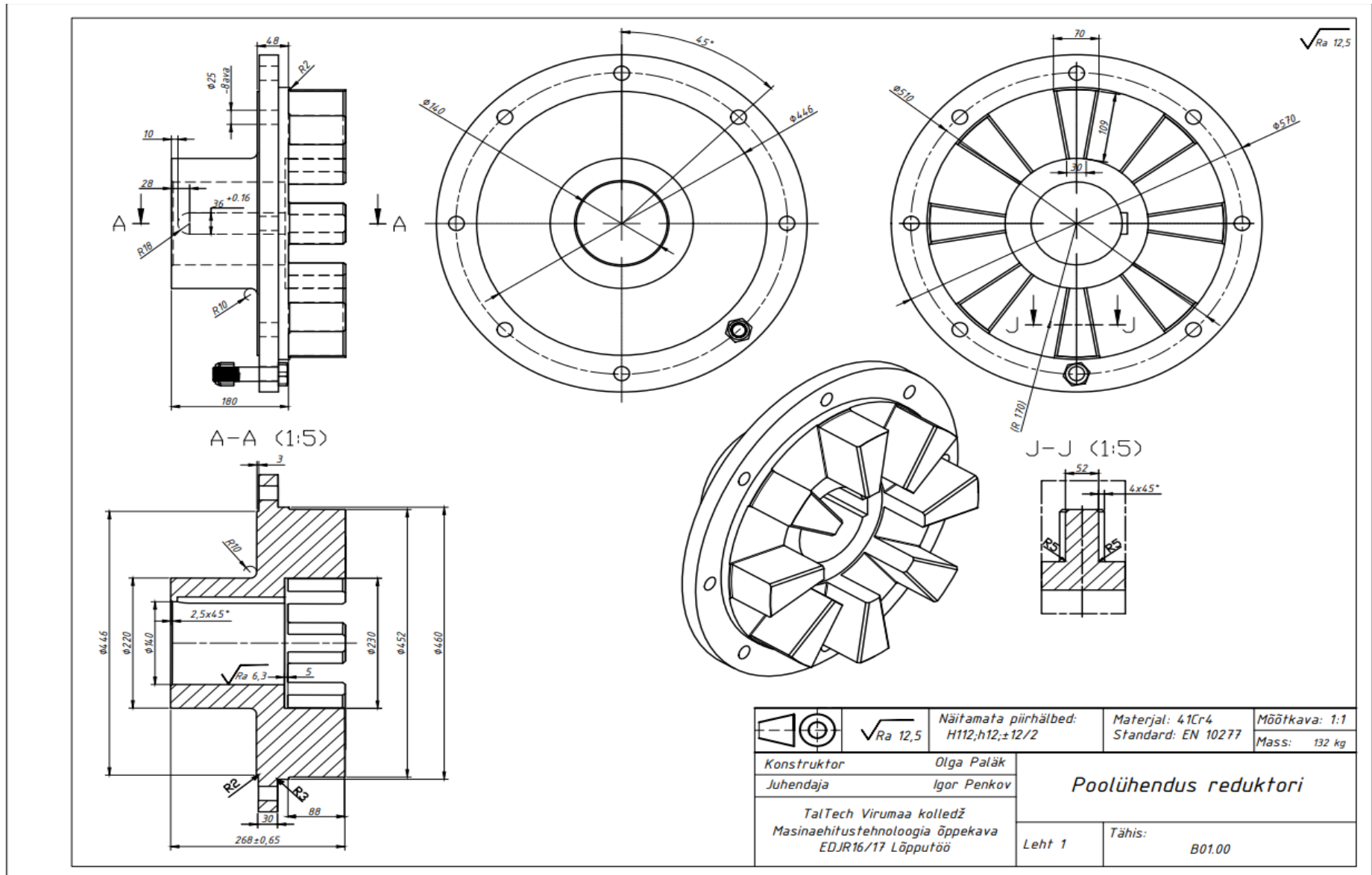
| tegurid | R_m, MPa | | | | | |
|------------|-------------------|------|-----|-----|-----|--|
| | 600 | 700 | 800 | 900 | 2 | |
| K_σ | 1,6 | 1,75 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | |
| K_τ | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | |

Tabel 2[1] Mastabitegur $K_{d\sigma}$ ja $K_{d\tau}$

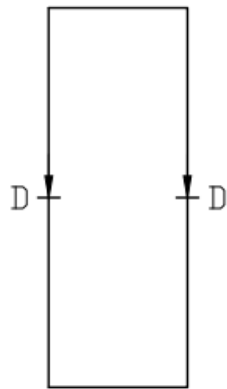
| teras | | Võlli läbimõõt d, mm | | | | | | |
|------------|------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 20 | 30 | 40 | 50 | 70 | 100 | 200 |
| süsinik | $K_{d\sigma}$ | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,76 | 0,7 | 0,61 |
| | $K_{d\tau}$ | 0,83 | 0,77 | 0,73 | 0,7 | 0,65 | 0,59 | 0,52 |
| legeeritud | $K_{d\sigma}$ ja $K_{d\tau}$ | 0,83 | 0,77 | 0,73 | 0,7 | 0,65 | 0,59 | 0,52 |

GRAAFILINE OSA

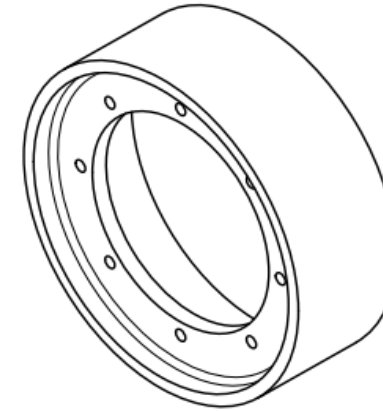
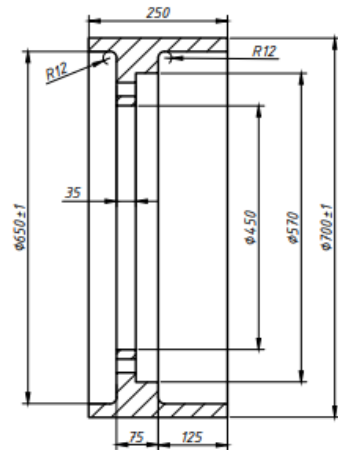
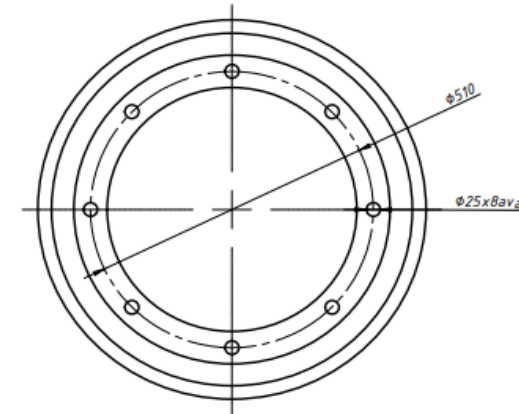
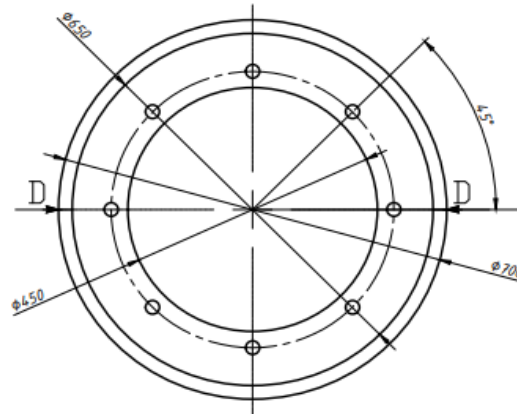
1 Poolühenduse reduktori võlli joonis



2 Piduritrumli joonis

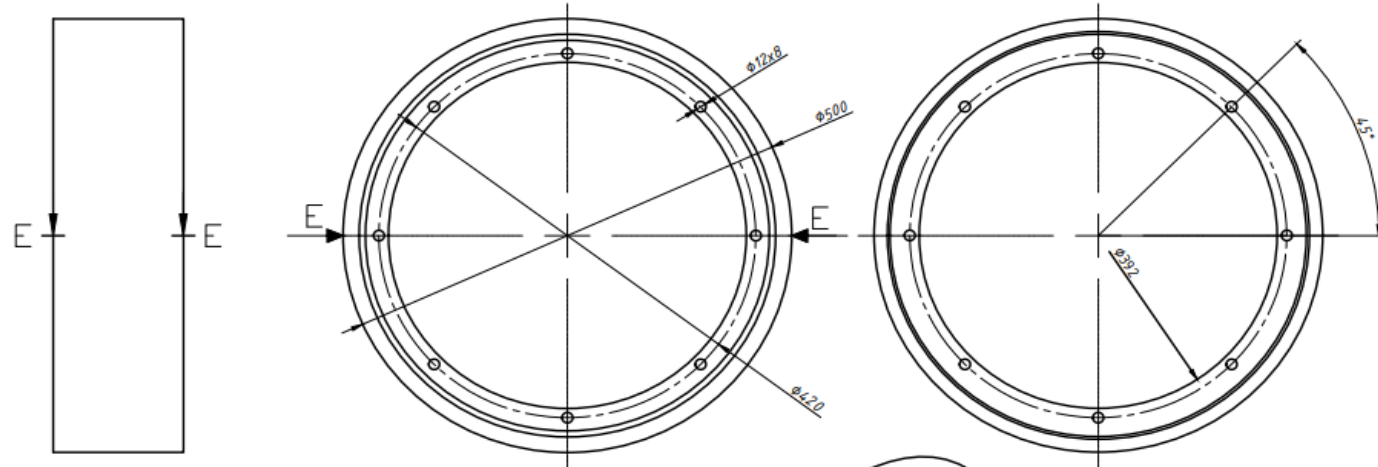


D-D (1:8)



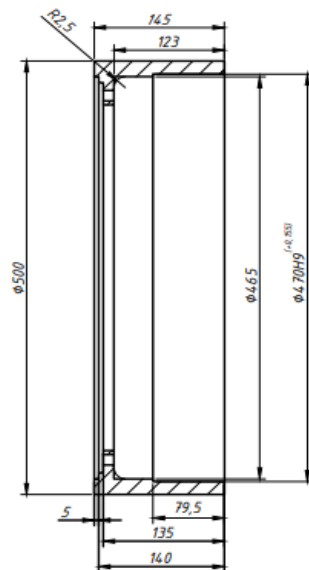
| | | | |
|---|---|--|-------------------------------|
| | Näitamata piirhälbed: H112;h12;±IT12/2 | Materjal: S355J2 Standard: EN 10025 | Mõõtkava: 1:1 Mass: 176 kg |
| | Konstruktor Olga Paläk | Juhendaja Igor Penkov | Piduritrummel |
| TalTech Virumaa kolledž Masinaehitustehnoloogia õppekava EDJR16/17 Lõpputöö | | Leht 2 | |

3 Kaitserõnga joonis



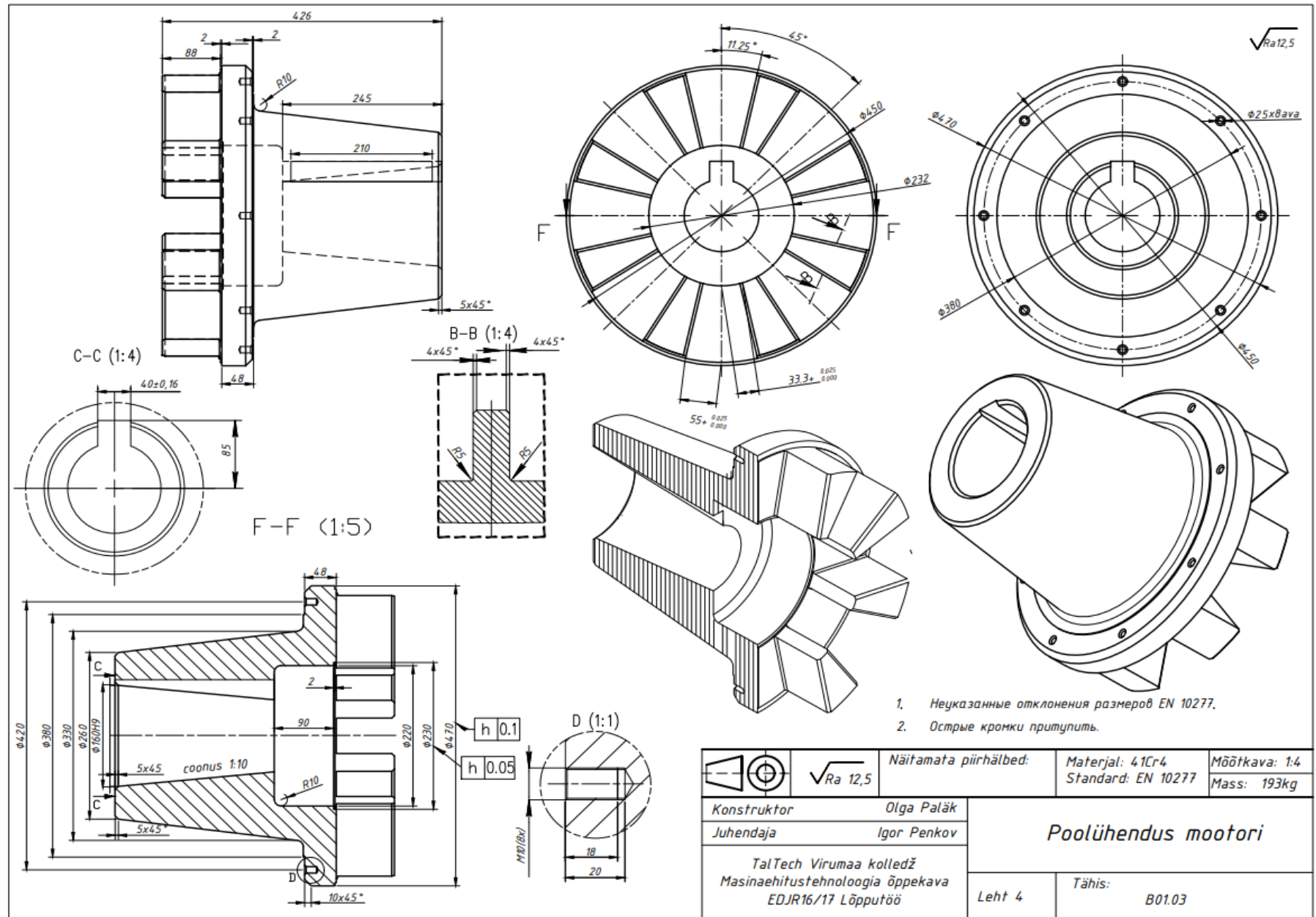
$\phi 12$ Bava ühtlaselt ümbermõõdu ümber

E-E (1:5)

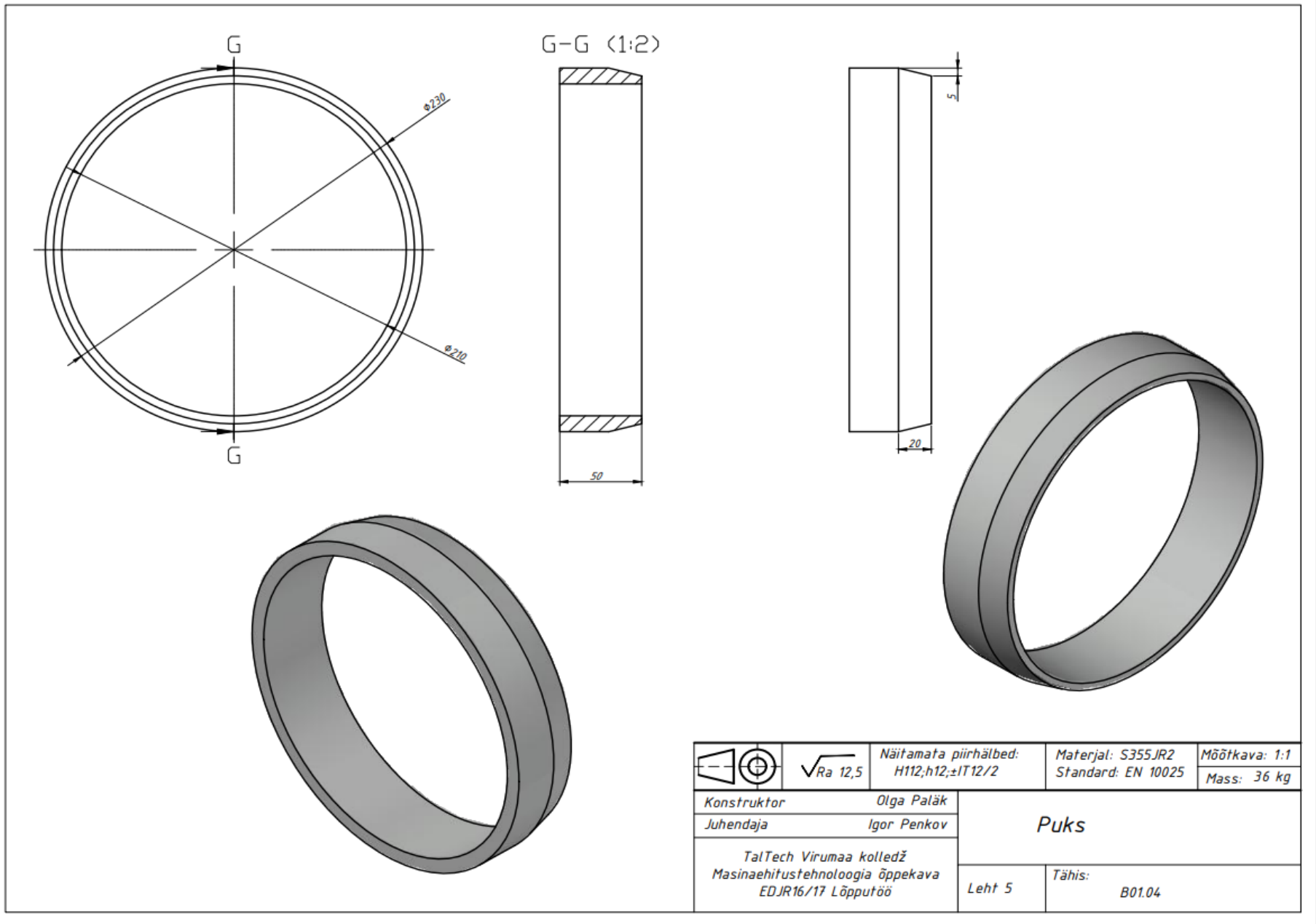


| | | | | |
|---|-------------------|---|--|------------------------------|
| | $\sqrt{Ra\ 12,5}$ | Näitamata piirhälbed: H112,h12; $\pm IT12/2$ | Materjal: S355J2 Standard: EN 10025 | Mõõtkava: 1:1 Mass: 24 kg |
| Konstruktor Juhendaja | | Olga Paläk Igor Penkov | | Kaitserõngas |
| TalTech Virumaa kolledž Masinaehitustehnoloogia õppekava EDJR16/17 Lõpputöö | | Leht 3 | Tähis: B01.02 | |

4 Poolühenduse mootori võlli joonis

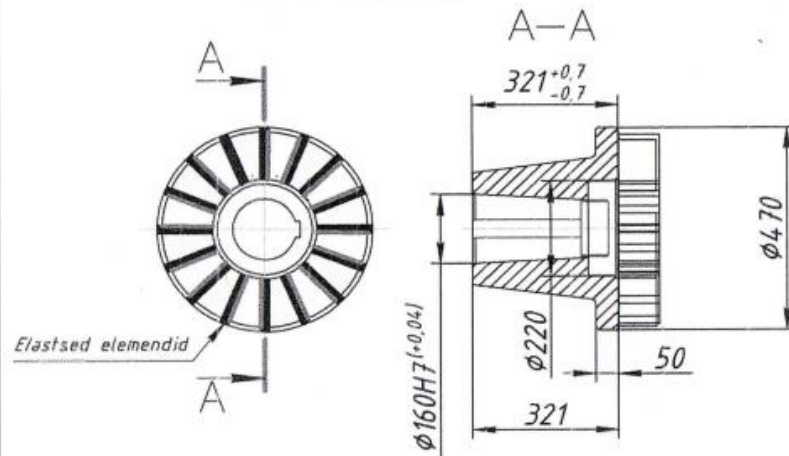


5 Puksi joonis

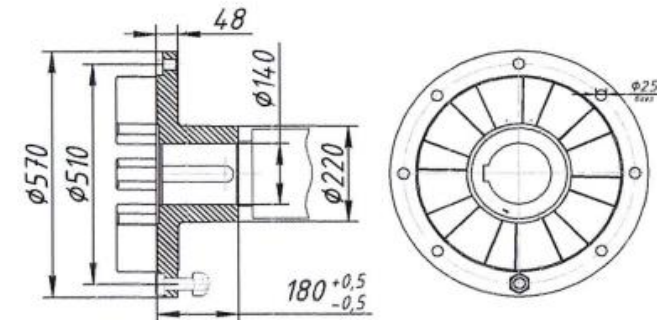


6 Ühenduste detailide(osade)joonised

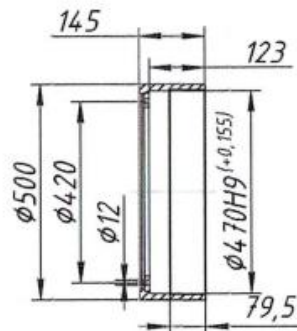
Pos.1 Mootori poolühendus



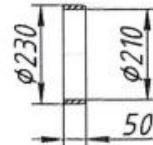
Pos.2 Reduktori poolühendus



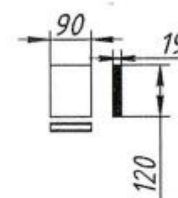
Pos.3 Kaitserõngas



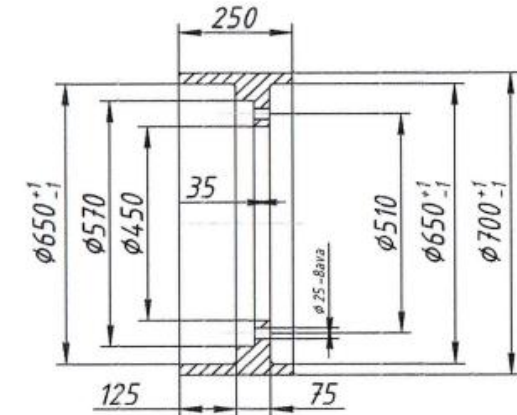
Pos.4 Puks



Pos.5 Elastsed elemendid

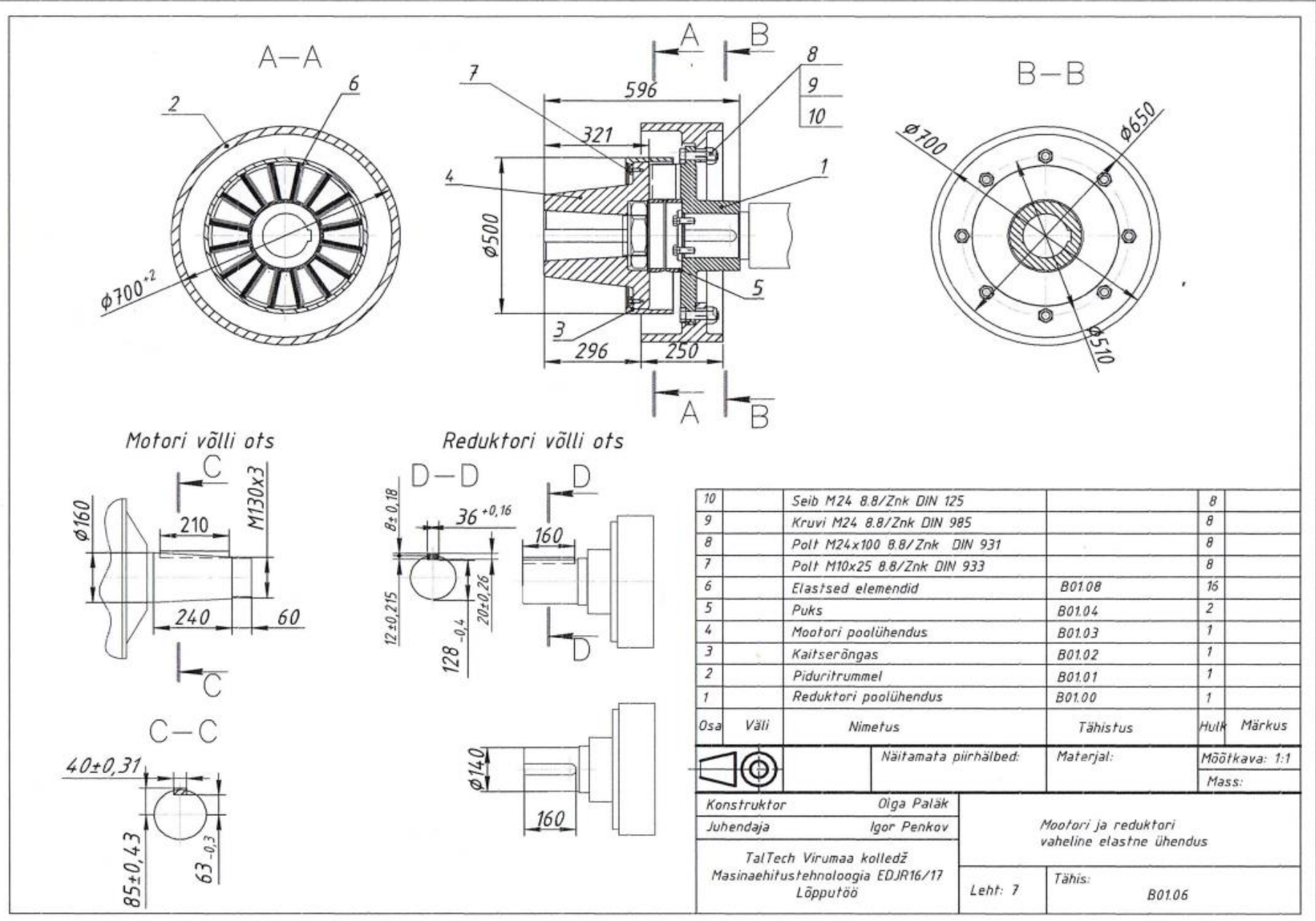


Pos.6 Piduritrummel

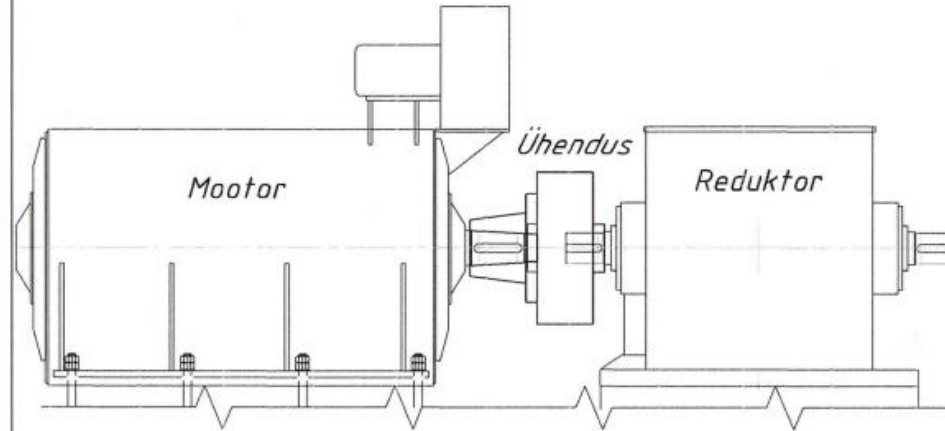


| | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|------------------|
| | Näitamata piirhälbed: | Materjal: | Möötkava: 1:1 |
| Konstruktor | Olga Paläk | Ühenduse detailid (osad) | Mass: |
| Juhendaja | Igor Penkov | | |
| TalTech Virumaa kolledž Masinaehitustehnoloogia õppekava EDJR16/17 Lõpputöö | | Leht 6 | Tähis: B01.05 |

7 Mootori ja reduktori vahelise elastse ühenduse joonis

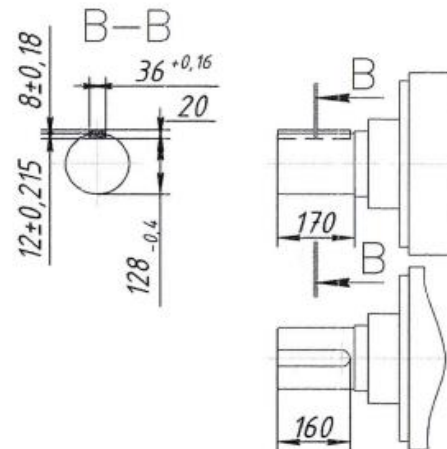
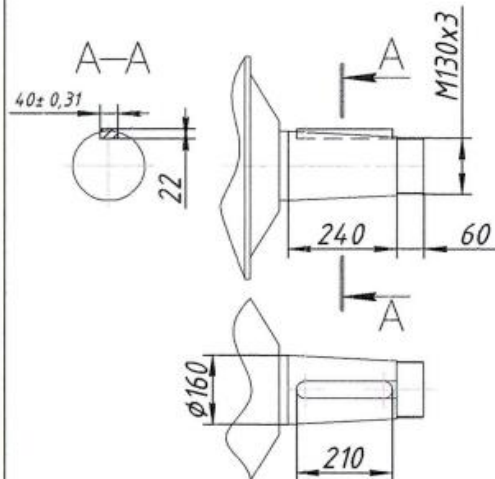


8 Ajamiüksuse joonis



Reduktori võlli ots

Mootori võlli ots



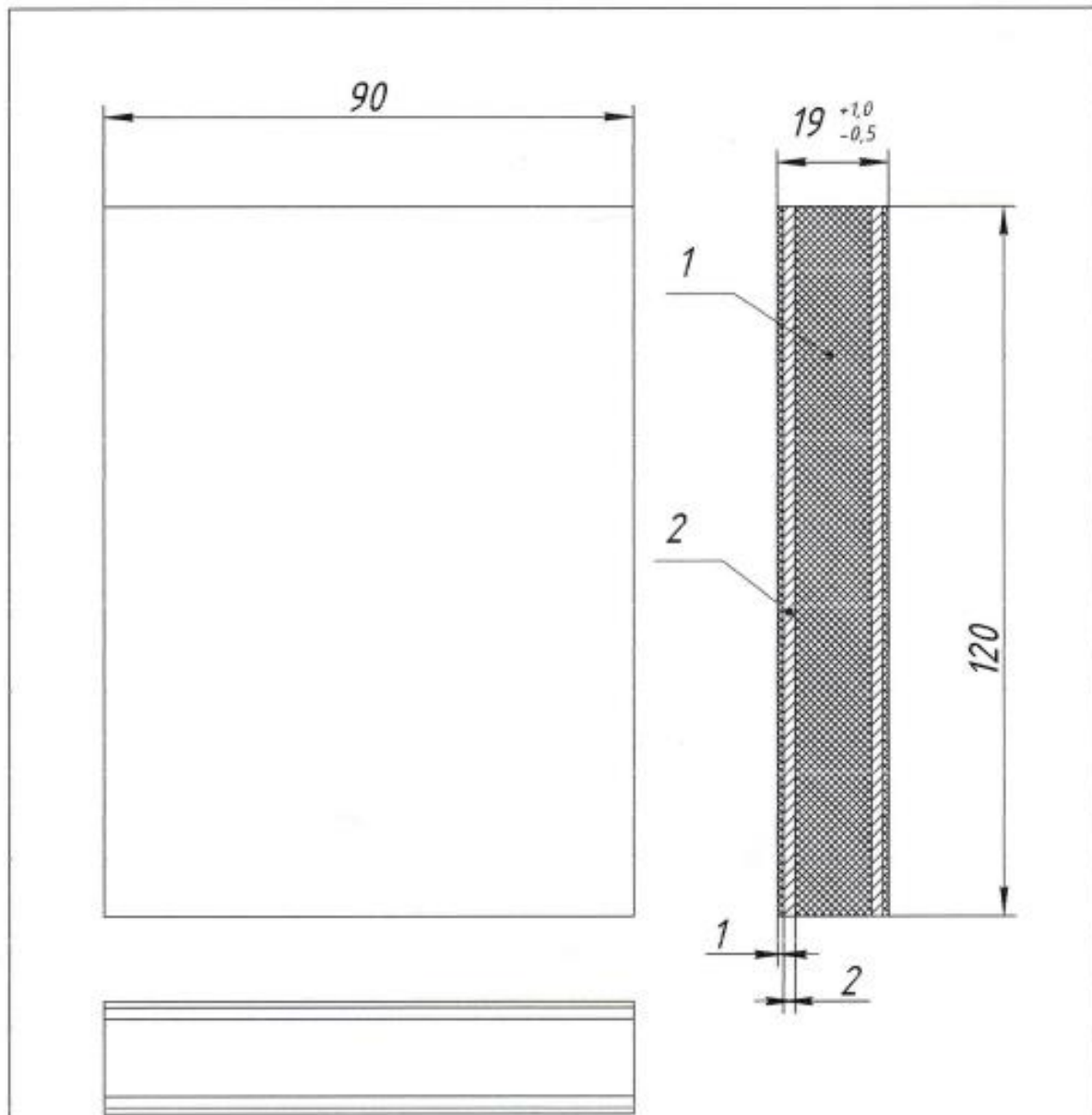
Ajami iseloomustus:

1. Lõhisrootoriga mootor
 $P_m = 710 \text{ kW}$, $n = 750 \text{ pr}$ m, IP 54,

2. Silindriline käigusti reduktor
 1200x1600,
 Ülekandearv $i = 5,2$
 Pöördemoment T , max 97 kNm.

| | | | |
|---|-----------------------|------------|------------------|
| | Näitamata piirhälbed: | Materjal: | Mõõtkava: 1:1 |
| Konstruktor | Oлга Paläk | Ajamiüksus | |
| Juhendaja | Igor Penkov | | |
| TalTech Virumaa kolledž Masinaehitustehnoloogia õppekava EDJR16/17 Lõpp töö | | Leht: 8 | Tähis: B01.07 |

9 Elastse elemendi joonis



Vastupidavus temperatuurirežiimi kõikumise suhtes -40 kuni $+80^{\circ}\text{C}$

| | | | | | |
|---|------|-----------------------|-----------|------------------------|--------|
| 1 | | Terasplaat | | 2 | |
| 1 | | Kumm | | 1 | |
| Osa | Väli | Nimetus | Tähistus | Hulk | Märkus |
| | | Näitamata piirhälbed: | Materjal: | Möötkava: 1:1 | |
| | | | | Mass: 8kg | |
| Konstruktor | | Olga Paläk | | Elastne elemend | |
| Juhendaja | | Igor Penkov | | | |
| TalTech Virumaa kolledž Masinaehitustehnoloogia õppekova EDJR16/17 Lõpp töö | | | Leht 9 | Tähis: | B01.08 |