



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Kuressaare kolledž

IWR VESIRATTA JÕUÜLEKANNE

IWR WATERBIKE DRIVETRAIN

MERETEHNIKA JA VÄIKELAEVAEHITUSE ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Kaspar Mölder

Üliõpilaskood 182616SDSR

Juhendaja: Kalju Saar, tootearendusinsener

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.

18. mai 2023

Autor: Kaspar Mölder

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

18. mai 2023

Juhendaja: Kalju Saar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

18. mai 2023

Kaitsmiskomisjoni esimees abiprofessor tenuuris Mihkel Kõrgesaar

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kaspar Mölder

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose, IWR vesiratta jõuülekanne, mille juhendaja tootearendusinsener Kalju Saar,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh 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 käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2023

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut

Taltech Inseneriteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kaspar Mölder, 182616SDSR
Õppekava, peeriala:SDSR10/17, Meretehnika ja väikelaevaehitus
Juhendaja(d): Tootearendusinsener Kalju Saar, +372 53004582

Lõputöö teema:

IWR vesijalgratta jõuülekanne konstrueerimine ja modelleerimine
Design and modeling of an IWR water bike transmission

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Konstrueerida IWR paadile istmed ja roolisüsteem
2. Töötada välja parim lahendus olemasoleva ülekanne paigutamiseks paadi kerele
3. Teha võimalikud parendused olemasolevale ülekanadesüsteemile ja konstrueerida sõukruvi kinnitus.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Materjali otsimine ja uurimine ning andmete analüüs	01.02.2023
2.	Meeskonna asendi uurimine ja tulemuste analüüs	27.02.2023
3.	Erinevad arvutused aitamaks alustada konstrueerimist	07.03.2023
4.	Peavõlli arvutus	20.03.2023
7.	Ülekanne detailide leidmine ja modelleerimine	23.04.2023
9.	Lõputöö 100% esitamine	18.05.2023

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 18. mai 2023a

Üliõpilane: Kaspar Mölder 18. mai 2023a
/allkiri/
Juhendaja: Kalju Saar ".....".....20.....a
/allkiri/
Konsultant: Mare Ansperi ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Mihhail Afanasjev..... ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei keht

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. IWR KIRJELDUS.....	9
3. JÕUÜLEKANDE DISAIN	11
3.1 IWR paadi referentsid	12
3.2 Peavõlli arvutus	16
3.3 Ülekanded	18
3.4 Jõuülekande sõlmede kaal	22
4. MODELLEERIMISE LÕPPTULEMUS	25
4.1 Raami konstruktsioon	25
4.2 Detailide hankimine ja ülekande tootmine	27
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY.....	34
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	36
LISAD	38
Lisa 1. Jõuülekanne.....	38
Lisa 2. Plaat liistuga	40
Lisa 3. Vahelüli	41
Lisa 4. Reduktori kinnitus.....	42
Lisa 5. Tugevduskolmnurk	43
Lisa 6. Ülekande raam	44
Lisa 7. Rullpukskett 08B-1SS tehniline leht	45
Lisa 8. Siduri tehniline leht.....	46
Lisa 9. Reduktor tüüp 28 tehniline leht	48
Lisa 10. Reduktor tüüp 2 tehniline leht	50
Lisa 11. Laager SKF 61805 tehniline leht	52

EESSÕNA

Käesoleva töö eesmärk oli konstrueerida ja modelleerida rahvusvahelise vesijalgratta regati jaoks TalTech Kuressaare kolledži vesijalgrattale jõuülekanne süsteem. Autori soov oli välja töötada optimaalseim lahendus ning leida võimalikult palju standardseid detaile, mis teeksid projekti elluviimise lihtsamaks. Õigete detailide leidmiseks tuli teha mõningaid arvutusi, näiteks peavõlli diameetri leidmiseks, mille tulemusena sai hakata valima detaile. Kõiki vajaminevaid detaile polnud võimalik poest soetada, seega pidi töö autor koostama eritellimusdetailidest koostejoonised, et neid oleks võimalik arvuti arvjuhtimismasinas (*Computer Numerical Control machine, CNC*) välja lõigata.

Rahvusvahelisest vesirataste regatist (*International Waterbike Regatta, IWR*) rääkis TalTech Kuressaare kolledži õppejõu Mikloš Lakatoš paar aastat tagasi ning õppejõu soov oli, et kolledži tudengid osaleksid enda ehitatud vesijalgrattaga. IWRi projekt sai alguse kolledžis 2022. aastal, kui endine tudeng Alex Vainokivi kaitses oma lõputöö teemal „IWR vesiratta jõuülekanne disain“. Sellest ajast on disain saanud hoo sisse ning 2023 kevadsemestril tegelevad lõputöö raames IWRiga kolm tudengit.

Lõputöö valmimisele aitasid kaasa paljud õppejõud ja oma ala eksperdid. Masinaehituslike teadmistega aitas külalisõppejõud Neeme Järvpõld, Mihhail Afanasjev aitas insener tehniliste teadmistega ning OY Mekanex AB Eesti filiaali müügiinsener Raul Maripuu aitas leida vastavatele parameetritele õiged reduktorid ja sidurid ning sobilikud CAD mudelid. Töö autor soovib tänada oma juhendajat, Kalju Saart, kes aitas igasuguse nõu ja jõuga. Diplomitöö autor soovib, et kunagi ehitatakse vesijalgratas valmis ja minnakse sellega võistlema ning loodetavasti tuuakse võit Kuressaare kolledžile.

Võtmesõnad:

- Vesiratas
- IWR
- Konstrueerimine
- Modelleerimine
- Ülekanne
- Diplomitöö

Lühendite ja tähiste loetelu

Näide:

AISI – *American Iron and Steel Institute* ehk Ameerika raua- ja terasinstituut

CAD – *Computer-Aided Design* ehk raalprojekteerimine

CD – tsentrite vahe lülides

CNC – *Computer Numerical Control machine* ehk arvuti arvjuhtimismasin

F – jõud

hj – hobujõud

IWR – *International Waterbike Regatta* ehk rahvusvaheline vesirataste regatt

L_c – keti pikkus lülides

Mpa – megapaskal

N – njuuton

N_1 – väikese hammasratta hammaste arv

N_2 – suure hammasratta hammaste arv

Nm – njuutonmeeter

RPM – *revolution per minute* ehk pööret minutis

T – pöördemoment

τ – nihkepinge

W – vatt

1. SISSEJUHATUS

Rahvusvaheline vesijalgratate regatt on iga-aastane üritus, mida peetakse alates 1980. aastast ja kus kohtuvad laevaehitustudengid üle kogu Euroopa. Iga võistkond võistleb spetsiaalselt selleks võistluseks disainitud vesijalgrattaga, et võistelda erinevatel aladel. [1] Selline võistlus on tudengitele väga kasulik ja vajalik, nimelt saab rakendada kogu koolis õpitut - lõpptulemuseks on töötav vesijalgratas, millesse on pandud kõik laevaehituse teadmised. Regatil võistlevad ainult laevaehitustudengid, mistõttu võimaldab seal osalemine laiendada Kuressaare kolledži tudengite silmaringi: võistlusel saab näha erinevate disainidega vesirattaid, kohtuda uute põnevate inimestega ja saada teada rohkem teistest tehnikaülikoolidest.

Käesoleva töö eesmärk on konstrueerida ja modelleerida IWR vesijalgrattale jõuülekanne. Leida parim töötav mehaaniline süsteem ning selle paigutus ja kinnitamine võistluspaadile. Töö käigus tuleb konstrueerida ja modelleerida jõuülekanne ning leida kogu süsteemile vajalikud komponendid. Uurimisülesanneteks on analüüsida Alex Vainokivi lõputöös koostatud mehaanilise süsteemi kontseptsiooni ning leida parim viis, kuidas süsteem kere sisse paigutada ja leida materjalid, mis sobivad süsteemi jaoks. Süsteemi konstrueerimiseks tuleb analüüsida varasemalt võistelnud meeskondade paatide disaini ning sel puhul oli suureks toeks Vainokivi lõputöös koostatud mehaaniline süsteem. Töö põhirõhk on jõuülekanne konstrueerimine või olemasoleva parendamine.

Vesirattale jõuülekanne projekteerimiseks on kaks varianti: a) *saildrive* süsteem kere keskelt alla viia; b) tavaline sõuvõll ahtrist välja tuua. Projekteerimise ja simuleerimise tegevus toimub CAD tarkvaras Autodesk Inventor Professional 2023. Disainimisel on arvestatud, et detaile oleks võimalikult kerge ja soodne valmistada ning need ei oleks üleliia keerukad.

2. IWR KIRJELDUS

Regati korraldajate poolt on ette antud reeglid, mida tuleb järgida. Allpool on toodud lühike kokkuvõte reeglitest. [5]

- Võistlejad vesirattad peavad olema projekteeritud ja ehitatud tudengite poolt ning meeskonna liikmed peavad olema tudengid.
- Paadid peavad saama liikuma paneva jõu ainult inimlihastest. Peamise jõu peavad tootma jalad ja igasugune energiasalvestus on keelatud.
- Liikuma panevat jõudu tohivad toota ainult kaks inimest.
- Energia salvestamine, nt akudesse või vedrudesse, ei ole lubatud enne starti ega võistluse ajal.
- Paadi maksimaalne pikkus võib olla 6 meetrit.
- Paadi laius peab olema kitsam kui pikkus.
- Paadi maksimaalne süvis on 1,2 meetrit.
- Remonttööd on lubatud.
- Suuremad muudatused paadi kerel pole lubatud.
- Iga avatud kerega paat peab olema varustatud ujvuskeredega, mis suudavad paati ümbermineku korral vee peal hoida
- Vesiratta detaile võib regati vältel vahetada, aga need peavad jääma vesiratta pardale.

Sellel võistlusel on võistlusalasid on kokku seitse ning igal alal selgub võitja ja kõige rohkem võistlusalasid võitnud paatkond saab regati üldvõidu. Allpool on toodud võistlusalad. [5]

- 100m sprint
- 100m kiirendus
- Edasi-stopp-tagasi

- 100m slaalom
- Pikk distant
- Poi tirimine
- Salajane missioon

3. JÕUÜLEKANDE DISAIN

Jõuülekande disain sõltub küll projekteerijast, kuid eesmärk on teha laevakere liikumine võimalikult efektiivseks. Selleks on kaks varianti: sõukruvi võll tuleb ahtrist välja või läheb kere keskelt otse alla. Kui jõuülekanne tuleb kere keskelt alla on võimalik loobuda roolilehest ja teha ülekanne alumine ots pööratavaks. Samas, kui ülekanne tuleb ahtrist, tuleb modelleerida ka roolileht.

Lihtsam, odavam ja kindlam on tuua ülekande süsteemist võll ahtrisse ja kinnitada sinna sõukruvi (vt joonist 2). Vesijalgrattas oleva limiteeritud ruumi tõttu oleks optimaalsem kasutada *saildrive* lahendust (vt joonist 1). *Saildrive*'iga mahuvad paati paremini ära istmed ning neid ei pea tõstma kõrgemale, et võll alt läbi mahuks. Istmetega saab raskuskeskme viia võimalikult madalale, mis teeb aluse stabiilsemaks. Selleks, et ehitatav võistluspaat oleks võimalikult kiire ja väikese takistusega, tuleb *saildrive* süsteemi jalg teha voolujooneliseks. Jala sisse tuleb ära mahutada võll ja nurkreduktor. Vaadates varem võistelnud aluseid ja nende lähenemisi, võiks kõige optimaalsem olla joonisel 3 kujutatud lahendus. Selline lahendus ei tohi olla väga suur, sest sinna sisse käiv nurkreduktor peab olema võimalikult väike, aga samas vastama kõigile nõutud parameetritele ehk nõutav võlli diameeter ja nurkreduktori pöörlemiskiirus.



Joonis 1. *Saildrive* jalg [16]



Joonis 2. Ahtrist väljuv sõuvõll [3]

3.1 IWR paadi referentsid

Kõige rohkem on võistlejaid Saksamaa tehnikaülikoolidest ning nendes koolides on regatil osalemine juba traditsioon. 2019. aastal olid regatil esindatud Saksamaa, Poola, Austria, Holland, Horvaatia, Türgi, Itaalia ja Venemaa ning kokku osales üle 300 tudengi.[4]

Mitmed koolid on esindatud enam kui ühe vesirattaga, mida on aastate jooksul täiendatud ja uuendatud. Vaadates varem toimunud regattide pilte on kasutusel palju huvitavaid lahendusi. Peamiselt kasutatakse kahte tüüpi paadi kereid: ühekere ehk *monohull* tüüpi ja kahe kere ehk katamaraan tüüpi. Jõuülekandeid on nii *saildrive* tüüpi kui ka klassikalisi sõuvõlliga ahtrist väljuvaid lahendusi ning ka sõurattaid, mille labad on tehtud, kas puidust või mingist metallist (vt joonist 5). Kõige populaarsem kere tüüp 2019. aasta regatil oli *monohull* tüüpi kere. [1]

Saildrive on ülekandesüsteem, mille jõuväljundil on horisontaalne väljundvõll. *Saildrive*'i sisendvõll on seega ka horisontaalne. Sisendvõll on suunatud nii, et see juhib vertikaalset vahevõlli, mis ulatub läbi kere allapoole. [2]



Joonis 3. Saildrive jõuülekandega monohull vesiratas [3]

Katamaraan tüüpi vesiratastel saab kasutada analoogset süsteemi nagu jalgratastel. Tandem jalgratta raam on pandud katamaraani peale ja lenkstang on ühendatud roolilehega, mille abil toimub juhtimine. Või kasutatakse sellist varianti nagu kasutab Rostocki Tehnikaülikooli tudengite ehitatud vesiratas, kus sõitjad istuvad küljega sõidusuunas (vt joonist 4). Kõrvaltvaatajana on keeruline hinnata, kumma paadi jõuülekande on efektiivsem.



Joonis 4. Katamaraan tüüpi vesijalgrattad [3]

Uurides varem toimunud regattide pilte, jäi silma paar võistluslust, mis ei kasuta ei sõukruvi ega *saildrive*'i, vaid sõurattast nagu kasutati 19. sajandi lõpus ja 20. sajandi alguses rataslaevadel [14]. Regati sõurattad olid tehtud, kas puidust või mõnest metallist. Arvestades, et alus peab võimalikult kerge olema, oli kasutatavaks metalliks ilmselt alumiiniumsulam.



Joonis 5. Puidust katamaraan tüüpi vesijalgratas sõurattaga. [3]

Autori põhiliselt referentsiks oli joonisel 6 olev süsteem, kus ülekande veepealne osa on kompaktne. Võrreldes joonis 5 oleva süsteemiga, eelistatakse kasutada joonisel 6 olevat süsteemi, sest selle keti pikkus ülekande süsteemil on lühem ning seega on ka ülekande süsteem kergem. Kui vaadata joonist 5, on näha, et keti pikkus ülekande süsteemil on päris suuremahuline.



Joonis 6. Kompaktne süsteem [3]

Uurides varasemalt toimunud regattide aluseid, jääb silma kahte tüüpi istme lahendusi. Esimene variant on püstine asend, kus sõidetakse nagu klassikalise jalgrattaga, mis on kõige lihtsamini lahendatav just jõuülekanne süsteemilt. Selleks, et sellist asendit kasutada on vaja kõigest tandemjalgratast, mis ehitatakse ümber, et sobiks regati jaoks disainitud kere peale (vt joonist 4). Sõitjad istuvad üksteise taga ja on näoga sõidusuunas.

Teine variant on kaldune asend ehk keres olev iste on taha poole kaldu. Istme seljatugi on 30-50 kraadise nurga all. Võistlejad istuvad näod vastamisi ehk üks võistleja on näoga sõidusuunas ja teine istub seljaga sõidusuunas või mõlemad on sõidusuunas (vt joonist 5). On olemas ka selliseid lahendusi, kus võistlejad istuvad küljega sõidusuunas ühel pool (vt joonist 4) või vastamisi (vt joonist 7) või istuvad üks ühel kerel sõidusuunas ja teine teisel (vt joonist 8). Sellist lahendust kasutatakse peamiselt katamaraan tüüpi vesiratastel.



Joonis 7. Kalduse istmega vesiratas [3]



Joonis 8. Külg ees sõitev tandemvesiratas

3.2 Peavõlli arvutus

Selleks, et leida kõige optimaalseim võlli diameeter, tuleb teha vastavad arvutused. Võlli diameeter peab olema võimalikult väike, aga samas piisavalt suur, et taluda sellele mõjuvat jõudu, et vältida deformatsiooni. Arvutuste täpne tegemine on oluline, et kogu süsteem tuleks kaalult võimalikult kerge ja soodne. Iga liigne kilo teeb süsteemi raskemaks ja lõpuks kogu tudengite poolt ehitatava vesiratta. Liiga raske vesirattaga on keeruline konkurentsipüsida ning meeskond, kes sellega sõidab, peab rohkem tööd tegema ja energiat kulutama.

Väändele ja paindele töötava võlli dimensioneerimisel lähtutakse võllile mõjuvast pöördemomendist ja võlli materjalist. Kui on teada momendi suurus, saab tugevustingimusest arvutada välja võlli diameetri. Momendi suurus sõltub inimeste jalgade arendatavast jõust, sest moment on jõud, mida tekitatakse jalgadega, korda õlg, mis on vända pikkus. Vända pikkus tuleb vântaja jala sisemõõdust.

Tabel 3.1 Jalgade sisepikkus ja vântade pikkus [7]

Jalgade sisepikkus (cm)	Vântade pikkus (mm)
...-75	165
75-81	165,5
78-84	170
81-87	172,5
84-90	175
87-93	177,5
93-...	180

Võlli diameetri leidmiseks rakendab töö autor valemit, milles kasutatakse tulemuse kindlaks tegemiseks nihkepinget ja pöördemomenti. Selleks, et leida pöördemomenti on vaja teada jalgade tekitatavat jõudu ja jalgratta hammasratta vända pikkust. Teades nende inimeste pikkusi, kes on vesiratta projektiga seotud ning on ka potentsiaalsed vântajad, saab väita, et keskmine jalgade sisepikkus jääb vahemikku 84-90 cm. Tabelist 3.1 lähtudes vastab jalgade sisepikkusele 84-90 cm vända pikkus 175 mm.

Keskmiselt suudab inimene toota jalgadega jõudu kusagil umbes 200N.[6] Mehaanikainseneri käsiraamatust on leitav valem, kus pöördemoment võrdub jõud (F) korda jõuõla pikkus (l): [13]

$$T = F \times l \quad (3.1)$$

$$T = 200 \text{ N} \times 0,175 \text{ m} = 35 \text{ Nm}$$

Saades teada, et pöördemoment on 35Nm (T), on võimalik siit edasi hakata dimensioneerima jõuvõlli.

Järgmiseks on vaja nihkepinget. Nihkepinge sõltub kasutatavast materjalist ning antud töös rakendatakse roostevaba terast AISI 316, sest see on korrosioonikindel ning sobib suurepäraselt veesõidukisse. AISI 316 nihkepinge (τ) on 400MPa. [8]

Võlli läbimõõdu leidmiseks kasutatakse valemit [9]:

$$d = 10 \sqrt[3]{\frac{5 \times T}{\tau}} \quad (3.2)$$

$$d = 10 \sqrt[3]{\frac{5 \times 35}{400}} = 7.5914 = 8 \text{ mm}$$

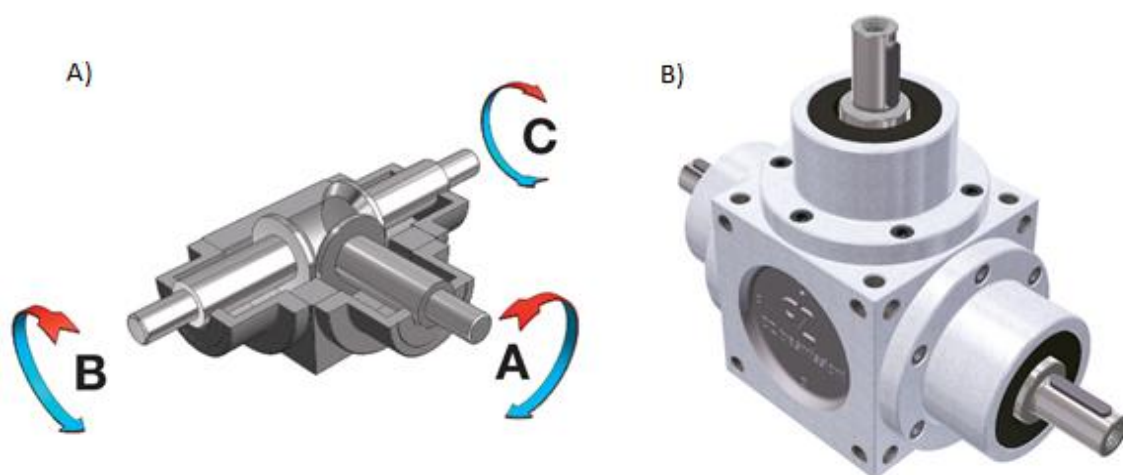
Tehes läbi eesoleva arvutuskäigu leitakse, et sobilik on kasutada jõuvõlliks 8mm läbimõõduga (d) roostevaba terasvarrast. Võlli pikkuseks on 550mm. 3D mudelit tehes ja otsides sobivaid detaile, selgus, et võlli läbimõõduks peab olema 11mm, et projektis kasutatavad detailid oleksid võimalikult sarnased ja jõuvõll sobiks standardsete detailidega kokku. Tuues näiteks reduktori, sest väiksemate reduktorite võllide läbimõõdud algavad alates 11mm. Võlli diameetri suurendamise põhjenduseks toob töö autor detailide standardsuse.

3.3 Ülekanded

Ülekannetena kasutatakse töös reduktorit ja kettülekannet. Reduktor on ülekandemehhanism, mis on tavaliselt kinnine hammas- või tiguülekandega ja kett- või rihmülekandega. Sobiva reduktori saame valida vastavalt pöörlemissagedusele ja – kiirusele. Konsulterides masinaehituse õppejõu Neeme Järvpõlluga leidis töö autor, et ise hammasülekande projekteerimine ja vastavalt sellele valmistamine ei ole mõistlik

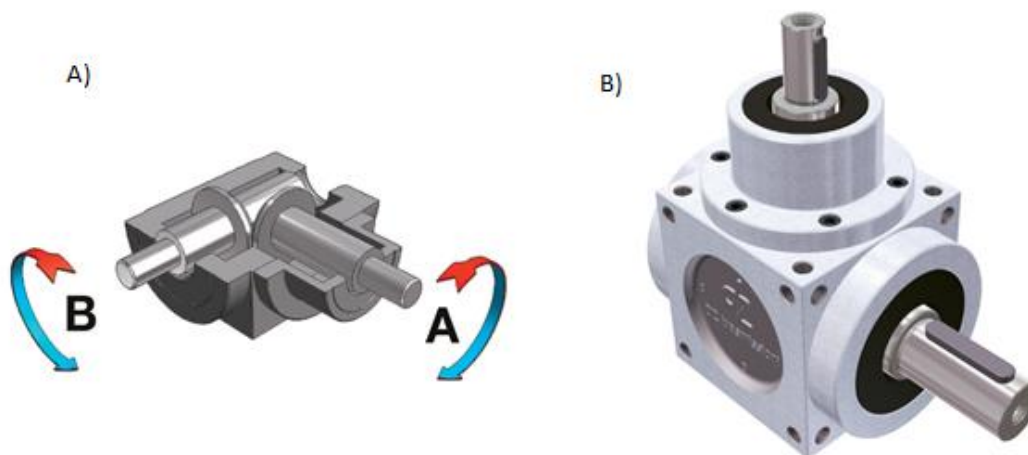
kõrge hinna ja ajakulukuse tõttu. Reduktoreid on olemas igas suuruses ja kujus ning käesoleva projekti jaoks oli vaja võimalikult kergelt ja mõõtmetelt väikest reduktorit. Sobiva reduktori leidmiseks tuli jälgida reduktori kaalu, momenti väljundvõllil, sisse- ja väljaminevate võllide diameetreid ja ülekande suhet.

Selleks, et leida õige reduktor, tutvus töö autor erinevate reduktori valmistajate toodangutega. Valituks osutus Itaalia ettevõtte DZ Trasmissioni kaks reduktorit. Esimese reduktori külge kinnitub kettülekanne, mis paneb kogu süsteemi liikuma ning see asetseb ülekande raami vahel. Teise reduktori külge kinnitatakse esimesest reduktorist väljuv võll ning see paneb liikuma sõukruvi. Selleks, et ühendada reduktorid omavahel võlliga, pannakse mõlema reduktori külge sidur. Esimene reduktor, mis asetseb ülekande süsteemi ülemises otsas on suurus 54 ja mudeliks tüüp 28 ehk üks sisend võll A ning kaks väljund võlli B ja C, mis pöörlevad eri suunas (vt joonist 9).



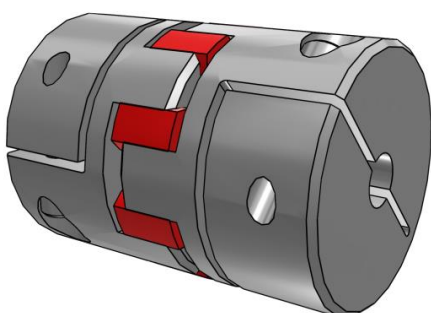
Joonis 9. A) Tüüp 28 reduktori läbilõige ja B) 3D vaade [20]

Teine reduktor, mis asetseb ülekande süsteemi alumises osas on suurus 54 ja mudeliks tüüp 2 ehk üks sisend võll A ja väljund võll B. Võllid asetsevad 90 kraadise nurga all (vt joonist 10).



Joonis 10. A) Tüüp 2 reduktori ristlõige ja B) 3D vaade [21]

Võlli ühendamiseks reduktoritega kasutatakse sidureid. Ülekande süsteemis kasutatav sidur sobib kitsastesse oludesse ning vajadusel on võimalik neid lahti ühendada, ilma, et peaks hakkama midagi demonteerima. Jõuülekandes kasutatakse StS Coupling WKE/N-24-N11-11-98 sidurit, kus ühes otsas on võlli kinnitusava kiilu sisselõikega, et oleks võimalik panna reduktori võlli otsa, millel on kiil ning teine ava on klassikaline kinnitusava, mida saab reguleerida poldiga. Kahe siduri osapoole vahel on punane plastikust vahelüli, mis püüab kinni äkkkoormuse ning sellega välditakse siduri ja peavõlli purunemist.



Joonis 11. Sidur WKE/N-24-N11-11-98 [22]

Uurides varasemalt võistelnud vesijalgrattaid, jäi autorile silma, et peamiselt kasutatakse ülekandena kettülekannet. Ühel vesijalgrattal oli rihmülekanne ja rihmaks oli ühepoolne hammasrihm. Rihmülekanne eelis on ülekande kaal, rihm kaalub vähem

kui kett. Kettülekande eelis on mitte libisemine võrreldes rihmülekandega. Kettülekanne sobib paremini madalatel pööretel töötamiseks ja rihmülekanne kõrgematel pööretel. Kui rihmülekandele ei anta piisavalt pöördeid, ei täida see oma eesmärki ning vedav rihmaratas ei suuda rihma liikuma panna.

Töötades välja kõige sobivamat kettülekande lahendust, tuli järgida paari punkti. Ülekande suhe pidi olema, kas 1:5 või 1:6-le. Töö autor valis ülekande suhtes 1:5-le ning püüdes vältida ebameeldivusi, raha ja aja liigset kulutamist, tuli hammasrattad valida standardsetena. Soov oli kasutada suurt hammasrattast 50 hambaga ja väikest hammasrattast 10 hambaga ning seoses sellega tutvuti rattapoes müüdavate hammasrattastega. Ülesanne polnud sugugi lihtne, sest 50 hambaga hammasrattad pole kuigi populaarsed ja 10 hambaga hammasrattast polnud võimalik leida. Õnneks ei jäänud töö seisma ning sobiv 10 hambaga hammasrattas leiti tööstusseadmete ja komponentide müügi ja hooldusfirma Alas-kuuli kodulehelt.

Järgmiseks tuli leida sobiv kett, mis sobiks leitud hammasrattastega ning esimesena jäi silma 05B tüüpi kett. Uurides lähemalt raamatut [12], leiti, et 08B tüüpi rullpukskett on vastupidavam. 05B rullpuksketi katkepinge on 4400N, aga 08B-l 17800N. [12] Keti katkepinge on teada, kuid kasuks tuleb kui teame ka tõmbepinget. Selleks tuleb jagada pöördemoment suurema hammasratta raadiusega. 05B rullpuksketi hammasrattal 50T on tulemuseks 265N, aga 08B rullpuksketil on 167N. Suurem tõmbepinge lõhub keti enne ära, aga et jääks suurem varutegur, kasutatakse 08B ketti. Sellega ennetatakse löökoormuse ajal tekkivat keti purunemist, sest löögi ajal võib tekkida mitmekordne ülekoormus.

Esimese hooga oli soov kasutada 10 hambaga väikest hammasrattast, aga lisades 1 hamba juurde kannatab 08B rullpukskett 500 RPMi juures 2,42hj. [10]

Kuigi tavaline rattur suudab tekitada pöörlemiskiiruseks 60-80 RPMi ning toota sellega 75-100W ehk 0,1-0,13hj ja maksimaalselt 100-130 RPMi, 400-410W ning 0,54-0,55jh [15], ei ole ohtu, et hammasrattas ega kett puruneks, vaid jämedam kett on kulumiskindlam ja vastupidavam. Sellest tulenevalt kasutab töö autor kettülekanDES hammasrattaid 50 hambaga ja 11 hambaga, seega on ülekande suhe nüüd 1:4,5-le. Kahe hammasratta tsentrite vahe on 450mm ning see tuleb 3D mudelist.

Lähtudes eespool uuritust, kasutatakse 08B rullpuksketti. Keti pikkuse leidmiseks on valem, kus tuleb kasutada ketilüli pikkust. [13] Kus keti pikkuse lülides (L_c) leiame kasutades tsentrite vahe lülides (CD), suure hammasratta hammaste arvu (N_2) ja väikese hammasratta hammaste arvu (N_1). Tsentrite vahe lülides on leitav jagades hammasrattaste tsentrite kauguse (450mm), ketilüli pikkusega. Seega on tsentrite vahe

lülides 36 lüli. 08B ketilüli pikkus on 12,7mm ehk 0,5 tolli. Valem, mida autor kasutab: [11]

$$L_c = 2CD + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 CD} \quad (3.3)$$

$$L_c = 2 \times 36 + \frac{50 + 11}{2} + \frac{(50 - 11)^2}{4\pi^2 \times 36} = 104$$

$$L_{C_{36}} \times 12.7 = 104 \times 12.7 = 1321mm$$

Lahendades eespool oleva võrrandi, leiame ketilülide arvu ja keti pikkuse ning mõlemad peavad olema paarisarvud. Arvutuse käigust on näha, et keti pikkus on 1321 ehk paaritu arv, aga see tuleb ümmardada 1322-ni. Seega on ketilülide arv 104 ja keti pikkus 1322mm. Ülekande raami külge tuleb kinnitada pinguti, mis reguleerib keti pinget. Lõtv kett võib hammasrattastelt maha tulla ning pinguti aitab seda vältida. Lõdvemat ketti on lisaks ka lihtsam vahetada. Seda tõestab ka valem 3.4:

$$36 \times 12.7 = 457mm \quad (3.4)$$

Selleks, et leida õiget tsentrite vahet tuleb teha arvutus, mis sisaldab tsentrite vahe lülides (CD) ja ketilüli pikkust (vt valemit 3.4). 3D mudelis on tsentrite vahe 450mm, aga arvutades seda ketilülides saame 457mm. Seega on on ketil lõtk sees 7mm.

3.4 Jõuülekande sõlmede kaal

Nagu kogu töö vältel rõhutatud, on kõige tähtsam süsteemi kergus: mida kergem süsteem, seda kiiremini on võimalik sõita. Selleks, et leida iga detaili kaal, tuleb teada materjali. Alumiinium detailid on kergemad kui terasdetailid, sest alumiiniumi tihedus on 2700 kg/m^3 ja raua 7800 kg/m^3 . [13] Alati pole detaili kergus kõige olulisem, loeb ka detaili materjali kõvadus. Pehmetest materjalidest nagu seda on alumiinium, ei saa teha hammasrattaid ja võlle, sest need ei peaks kaua vastu.

Kogu süsteemi juurde kuuluvad erinevad hammasrattad, ketid, võll, laagrid ning raam, mille külge kinnituvad pedaalid koos ketirattaga.

Selleks, et saada kogu ülekande kaalu, tuleb kõik detailid joonestada 3D formaadis Inventor programmi. Kui detailid on programmis ära joonestatud saame anda neile materjali ja massi sätteid (*mass properties*) arvutab kõigi detailide kaalu vastavalt nende materjalile ja kujule. Paljud detailid on vaja soetada ning mõned lasta eraldi teha, näiteks kere sees olev raam, kuhu kinnituvad hammasrattad ja vändad.

Kõikide komponentide kaal on toodud tabelis 3.2.

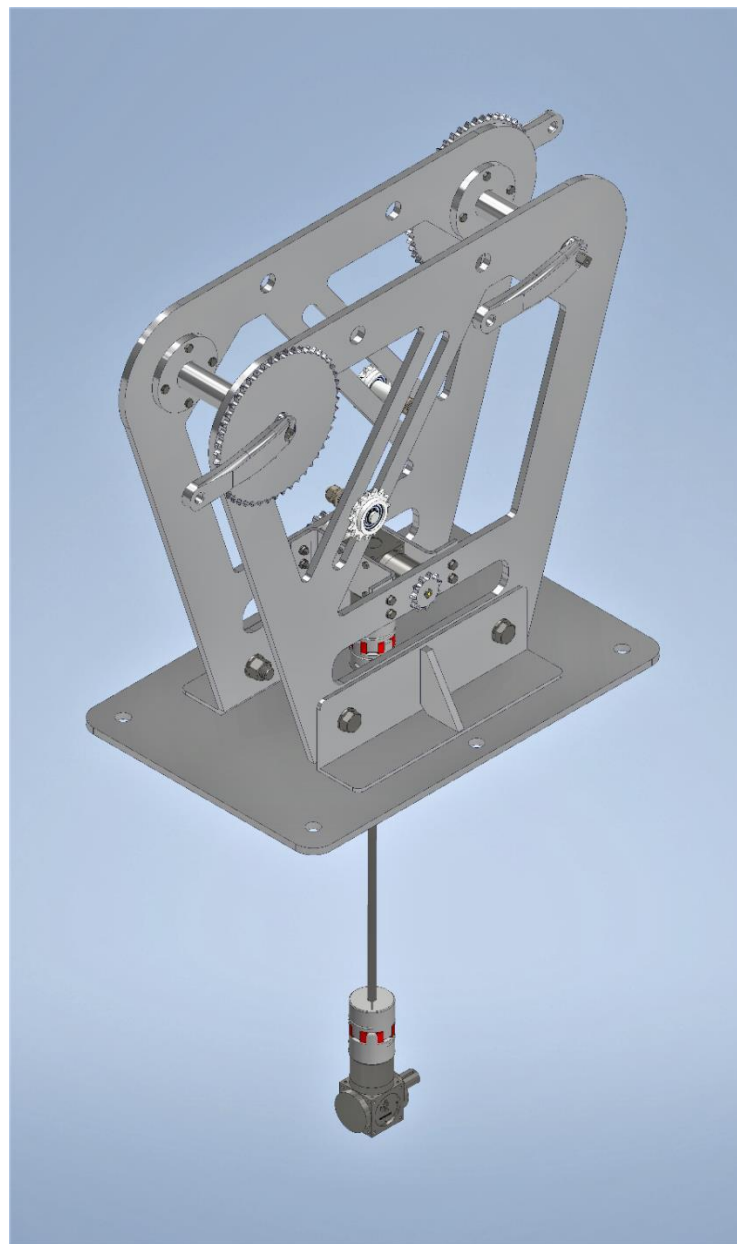
Tabel 3.2. Kaalu tabel

Detaili nr	Nimetus	Materjal	Kogus	Mass (kg)
1	Kantvõll	AISI 316	2	1.28
2	Kinnitusvahendid		64	0.87
3	Rullpukskett	AISI 316	2	0.93
4	Laager BS290 SKF 61805		4	0.084
5	Nurkreduktor		1	1.4
6	Peavõll	AISI 316	1	0.42
7	Pedaalid		4	1.4
8	Pedaalide vänt	Al 5083	4	1.05
9	Pinguti		2	0.08
10	Raami plaat	Al 5083	1	6.36
11	Reduktor		1	2.1
12	Reduktori kinnitus	Al 5083	2	0.34
13	Sidur		2	0.7
14	Suur ketiratas 50T	S355	2	1.2
15	Tugevuskolmnurk	Al 5083	2	1.4
16	Tugiliist	Al 5083	2	1.70
17	Ülekande raam	Al 5083	2	10.9
18	Vahelüli	Al 5083	2	0.92
19	Väike ketiratas 11T	S355	2	0.05
			KOKKU	33.2

4. MODELLEERIMISE LÕPPTULEMUS

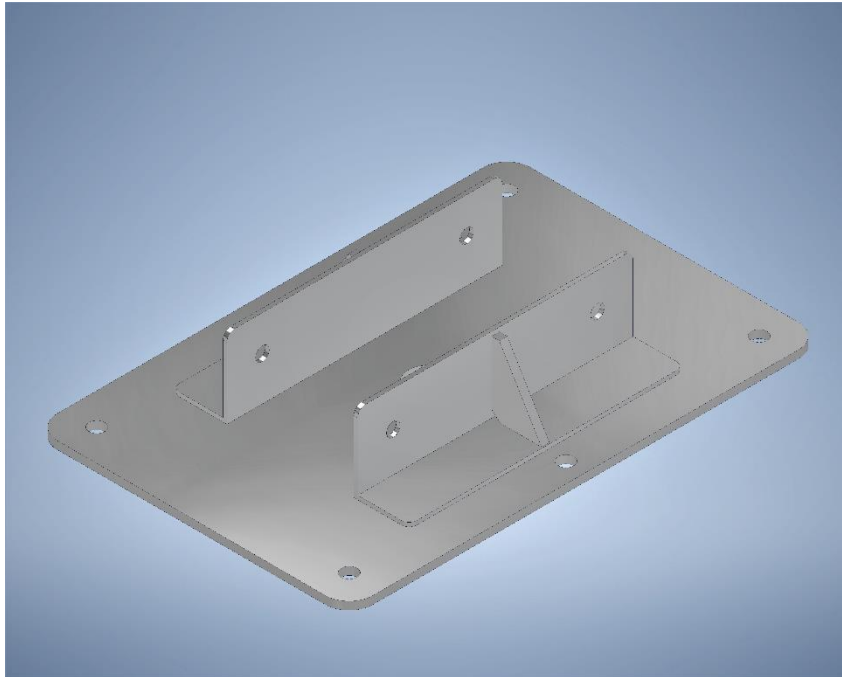
4.1 Raami konstruktsioon

Ülekande modelleerimise käigus valmis töötav jõuülekanne (vt joonis 12), milles on 19 erinevat detaili. Jõuülekanne 13 on standardsed detailid (vt tabelit 4.1.1) ning 6 on eritellimus detailid (vt tabelit 4.1.2). Lisaks on erinevaid kinnitusvahendeid kokku 64 tükki (vt tabelit 4.1.3). Terves ülekanne on kokku 91 detaili ning kaalub ~30kg. Mõned üksikud detailid on tehtud terasest S355 ning ülejäänud on tehtud alumiiniumsulamist EN AW-5083.



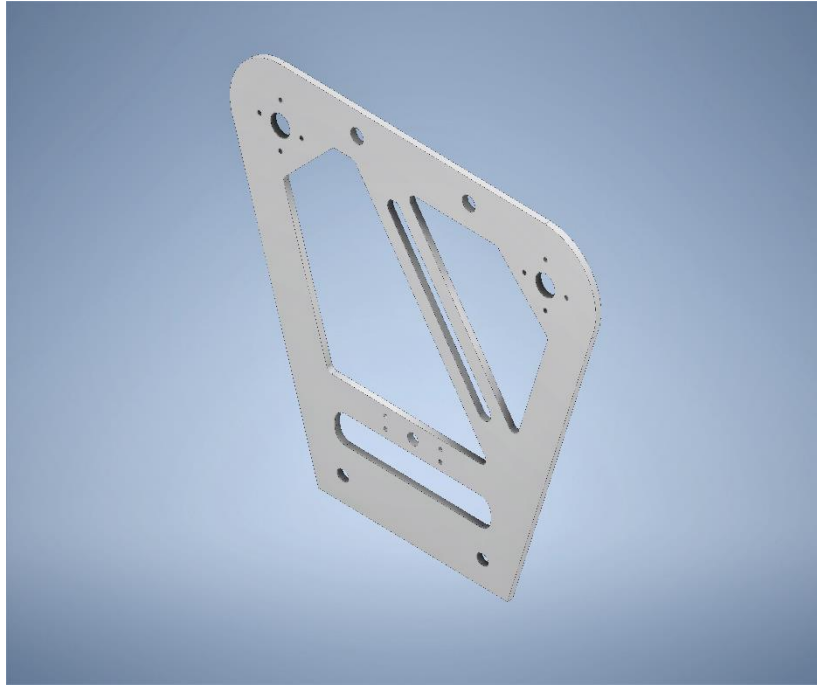
Joonis 12. Jõuülekanne mudel

Kogu ülekande toetub alumiiniumist tehtud plaadile, kuhu on keevitatud kaks tugiliistu koos tugevduskolmnurkadega, et liist oleks tugevam ning ei tekiks liistu deformeerumist. Tugiliistu külge kinnitatakse poltühendusega ülekande raam. Selleks, et plaati oleks võimalik vesijalgratta põhja külge kinnitada, on autor teinud nurkadesse ja keskele avad, kust saab läbi tuua erinevaid kinnitusvahendeid.



Joonis 13. Plaat tugiliistuga

Kaks kõige suuremat detaili jõuülekandes on ülekande raamid. Ülekande raam on kogu süsteemi kandev osa, kus kaks 10mm paksusega plaati on paralleelsed, neile kahele plaadile on kinnitatud suurem osa ülekande detaile, näiteks detail, mille külge kinnitub reduktor ja vahelüli, kust seest läheb kantvõll. Raami ülemisse osasse on tehtud 8 keermestatud ava, kuhu kinnitatakse poltidega vahelüli.



Joonis 14. Ülekande raam

Ülekande disainiga sai paika pandud istumisasend. Välja töötatud ülekandele sobib kõige paremini istumisasend, kus tooli seljatugi on 30-50 kraadise nurga all ning tool asetseb pedaalidest 75 kuni 85 sentimeetri kaugusel.

4.2 Detailide hankimine ja ülekande tootmine

Detailide konstrueerimisel on lähtutud sellest, et võimalikult palju detaile oleksid standardsed ehk poest kättesaadavad. Standardsed detailid tagavad selle, et projekti maksumus tuleb odavam, kui lasta teha kõik detailid eritellimusel. Eritellimusena tuleb kindlasti toota jõuülekande raam, kuhu kinnituvad pedaalid hammasratastega ja hammasülekanne. Standardsete komponentide puhul pole ka ohtu, kui võistluse käigus mõni detail puruneb ning sellele pole alternatiivi leida. Kogu süsteemi juures on kokku paar detaili, mis tuleb eritellimusel teha, kõik muu on poest leitav ja ostetav. Eritellimusel tuleb lasta teha detailid, mida pole võimalik standardselt soetada.

Standardised detailid, mida on võimalik osta.

Tabel 4.1.1 Standardised detailid

Number	Nimetus	Lisainfo	Kogus
1	Kantvõll	Peab sobima hammasratta ja pedaali vändaga	2
2	Rullpukskett	08B1 tüüpi kett, 104 lüli, L=1322mm	2
3	Kinnitusvahendid	Vt tabel 4.1.1	64
4	Laager	BS290 SKF 61805	4
5	Nurkreduktor	DZ Trasmissioni tüüp 2, ülekanne 1:1	1
6	Peavõll	Materjal AISI 316, L=550mm, Ø11mm	1
7	Pedaalid	Soetada rattapoest	4
8	Pedaalide vänt	Pikkus 175mm	4
9	Pinguti	KS08B1-15 MA10 SS MAD	2
10	Reduktor	DZ Trasmissioni tüüp 28, ülekanne 1:1	1
11	Sidur	StS Coupling WKE/N-24-N11-11-98	2
12	Suur ketiratas	Hammaste arv: 50 Leitav rattapoest	2
13	Väike ketiratas	Hammaste arv: 11 Leitav Alas-kuuli e-poest	2

Detailid, mis tuleb teha eritellimusena, neile on olemas ka tootmisjoonised (vt lisasid). Eritellimusena tehtavad detailid on toodud tabelis 4.1.2:

Tabel 4.1.2 Eritellimus detailid

Number	Nimetus	Materjal	Kogus
1	Raami plaat	EN AW-5083	1
2	Reduktori kinnitus	EN AW-5083	2
3	Tugiliist	EN AW-5083	2
4	Ülekande raam	EN AW-5083	2
5	Vahelüli	EN AW-5083	2
6	Tugevduskolmnurk	EN AW-5083	2

Jõuülekanne tootmisel tuleb kasutada poltühendusi ja keevitamist. Tugiliistu külge tuleb keevitada tugevduskolmnurk ning hiljem kogu koost keevitada ülekanne plaadi külge. Eritellimus detailid saab kõik CNC-ga välja lõigata, välja arvatud vahelüli ümartoru ja tugiliist. Reduktori kinnitus lõigatakse CNC-st välja pinnalaotusena ning hiljem painutatakse painutuspingis. Vahelüli jaoks tuleb välja lõigata neli ringi CNCs, sest detaile on kaks, ning hiljem need ümartoru külge keevitada.

Poltidega on ühendatud tugiliist ja ülekanne raam. Tugiliist keevitatakse raami plaadi külge ning hiljem ühendatakse poltidega ülekanne raam selle külge, sest kui keevitada ülekanne raam raami plaadi külge, pole võimalik kahe ülekanne raami vahele reduktorit panna. Selline lahendus tagab ülekandesüsteemi võimalikult kerge monteerimise ja demonteerimise. Kahe ülekanne raami vahele käivad kaks vahelüli, mis ühendatakse poltidega raami külge. Ülekanne raami sisse on tehtud keerrestatud avad. Kõik ülekandes vaja minevad kinnitusvahendid on toodud tabelis 4.1.3.

Tabel 4.1.3 Kinnitusvahendid

Polt	DIN 933 ISO 4017 happekindel	Kogus
M5x10	A4-70	8tk
M6x20	A4-70	8tk
M6x12	A4-70	16tk
M16x45	A4-70	4tk
Mutter	DIN 439 ISO 4035 happekindel	
M6	A4	8tk
	DIN 934 ISO 4032 happekindel	
M16	A4-70	4tk
Seib	DIN 125 ISO 7089 happekindel	
M6	A4	16tk
M16	A4	6tk

Jõuülekanne vääntade otsa saab panna kahte tüüpi pedaale (vt joonist 15). Kõige klassikalisemaid pedaale võib kohata pea igal tavalisel rattal, need on tehtud, kas plastikust või mingit tüüpi metallist.



Joonis 15. Plastikust ja alumiiniumist pedaal [17]

Teine variant on kasutada pedaale, mida kasutatakse maanteevatstel. Neid nimetatakse ka clip pedaalideks (vt joonist 17). Nende külge on võimalik kinnitada selleks otstarbeks eraldi loodud jalanõud ehk rattakingad.



Joonis 16. Clip pedaal [18]

Rattakingade eelis on see, et jalg ei tule väga lihtsalt pedaali pealt maha ning selline lahendus on hea, kui toimub intensiivne vääntamine. Kasutades tavalist pedaali võib hoogsal vääntamisel jalg maha tulla ja vääntaja võin ennast vigastada või siis kaotada

väärtuslikku aega. Klassikaline pedaal on muidugi universaalsem, sest selle jaoks pole vaja väntajale soetada eraldi tema jala numbriga rattakingi, korralikud rattakingad maksavad mitmeid sadu eurosid.

Ülekande süsteemis ei saa kasutada igasuguseid väntasid. Vänt peab olema võimalikult kerge ja konkreetse pikkusega. Käesoleva töö raames kasutatakse alumiinium vänta pikkusega 175mm.



Joonis 17. 175mm vänt ja hammasratas 50T [19]

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli konstrueerida ja modelleerida IWR vesijalgrattale jõuülekanne. Leida parim töötav mehaaniline süsteem ning selle paigutus ja kinnitamine võistluspaadile. Töö käigus tuli konstrueerida ja modelleerida jõuülekanne ning leida kogu süsteemile vajalikud komponendid. Töö põhirõhk oli jõuülekanne konstrueerimine või olemasoleva parendamine.

Enne ülekanne konstrueerimist, tutvus töö autor teiste tehnikaülikoolide IWR meeskondade vesijalgratastega ja nende jõuülekannetega ning Alex Vainokivi loodud ülekandega. Selleks, et leida kõige sobivam sõuvõlli väljund, tuli tutvuda võistlusaladega. Õppejõud Mikloš Lakatoši soov oli kasutada *saildrive* lahendust ning sellest lähtuvalt tuli teha disain, mis töötaks sellise lahenduse puhul. Kõige olulisem kogu süsteemi juures on peavõll, see peab olema piisavalt suure diameetriga, et tekitatavale jõule vastu pidada ning sellest lähtuvalt tuli teha vastavad arvutused. Ülekannetena kasutatakse reduktoreid, nende kasutamine teeb projekti elluviimise lihtsamaks, ja kettülekanne, mis koosneb kümnest detailist. Jõuülekanne disainist sõltub ka meeskonna asend, kuidas nad vesijalgrattal asetsevad ning selleks tuli uurida teiste IWR meeskondade lahendusi. Kergus on sellise projekti juures hästi tähtis ning iga detaili kaal peab olema võimalikult väike. Standardsetel detailidel on kaal teada, aga eritellimus detailidel tuli kaalu saamiseks kasutada Autodesk Inventor Professional 2023 programmi abi, kus tuli teha detaili 3D mudel, anda talle materjal ning programm arvutas kaalu välja. Kui kaalu arvutused said tehtud, oli võimalik hakata tegelema detailide hankimisega. Töö autori poolt loodud ülekandes on 19 detaili ja sellest 13 on standardsed detailid ehk ainult 6 detaili tuleb teha eritellimusel. Valdavalt on kõik ühendused poltühendused, aga tuleb ka teha paar keevitust. Lõputöö raames tehti tervest jõuülekandest 3D mudel ja koostejoonised ning juurde on lisatud teatud detailide tehnilised lehed. Autori soov lõputööd kirjutades oli lisaks jõuülekandele, töötada välja ka töötav roolisüsteem ning jõuülekandele sobilikud istmed. Aga kunas uue ülekanne modelleerimine ja välja töötamine võttis rohkem aega, kui oli arvatud, otsustas töö autor keskenduda ühele kindlale osale, et tagada võimalikult hea ja töötav ülekanne süsteem.

Ülekanne valmistamise teeb lihtsamaks standardsete detailide suur osakaal, juhul kui mõni detail puruneb on seda võimalik kiiresti ära vahetada ning varuosi on lihtne hankida. Kui võtta võrdluseks Alex Vainokivi projekteeritud ülekanne, mis kaalus pea 13kg, ja käesoleva töö autori loodud ülekanne, mis kaalub natukene üle 30kg, siis kaalu erinevus on päris suur.

Edasiarenguks on vaja ülekanne realselt valmis ehitada ning testida selle töökindlust.

Ehitamise käigus tulevad välja süsteemi vead ning nendega saab hakata tegelema. Kunas tegemist on *saildrive* lahendusega on vaja teha koostööd kere disaineriga, kes disainib hüdrodünaamilise jala, kuhu mahub sisse ära peavõll ja nurkreduktor.

SUMMARY

The aim of the thesis was to design and model a power transmission for an IWR water bike. To find the best working mechanical system and its placement and mounting on the race boat. The thesis aim was to design and model the drivetrain and find the components needed for the whole system. The main focus of the work was the design of the transmission or the improvement of an existing one.

Before designing the gearbox, the author of the thesis studied the water bikes and gearboxes of other IWR teams from technical universities and the gearbox designed by Alex Vainokivi. In order to find the most suitable driveshaft output, it was necessary to study the competition. Mikloš Lakatoš, the lecturer, wanted to use a saildrive solution and so a design had to be made that would work with such a solution. The most important part of the whole system is the main shaft, it has to be large enough in diameter to withstand the force generated and the calculations had to be done accordingly. The transmissions used are a reducer, which makes the project easier to implement, and a chain transmission, which consists of ten pieces. The design of the transmission also depends on the positioning of the crew in relation to the waterwheel, and for this purpose it was necessary to study the solutions of other IWR teams. Lightness is very important in a project like this and the weight of each piece has to be kept to a minimum. The weight of the standard parts is known, but for the bespoke parts the weight had to be obtained using Autodesk Inventor Professional 2023, where a 3D model of the part had to be made, given the material and the program calculated the weight. Once the weight calculations were done, it was possible to start sourcing the parts. The transfer created by the author of the thesis has 20 parts and 15 of them are standard parts, i.e. only 5 parts have to be custom made. For the most part, all the joints are bolted, but a few welds have to be made. As part of the thesis, a 3D model and assembly drawings of the complete transmission have been made, and technical sheets for certain parts have been attached. The author's desire when writing the thesis was not only the powertrain, but also to develop a working steering system, as well as seats suitable for the transmission. However, the modeling and development of the new transmission in the score took more time than it was expected, the author of the work decided to focus on one specific part to ensure the best and most working transmission system possible.

The high proportion of standard parts makes the manufacturing of the transfer easier, in case a part breaks it can be replaced quickly and spare parts are easy to obtain. If you compare the gearbox designed by Alex Vainokivi, which weighed almost 13kg, and

the one designed by the author of this paper, which weighs just over 30kg, the difference in weight is quite significant.

For further development, it is necessary to actually manufacture the transmission and test its reliability.

During the construction process, the system's faults will become apparent and can be addressed. As it is a saildrive solution, it is necessary to work with a chassis designer who will design a hydrodynamic leg to accommodate the main shaft and the cornering gear.

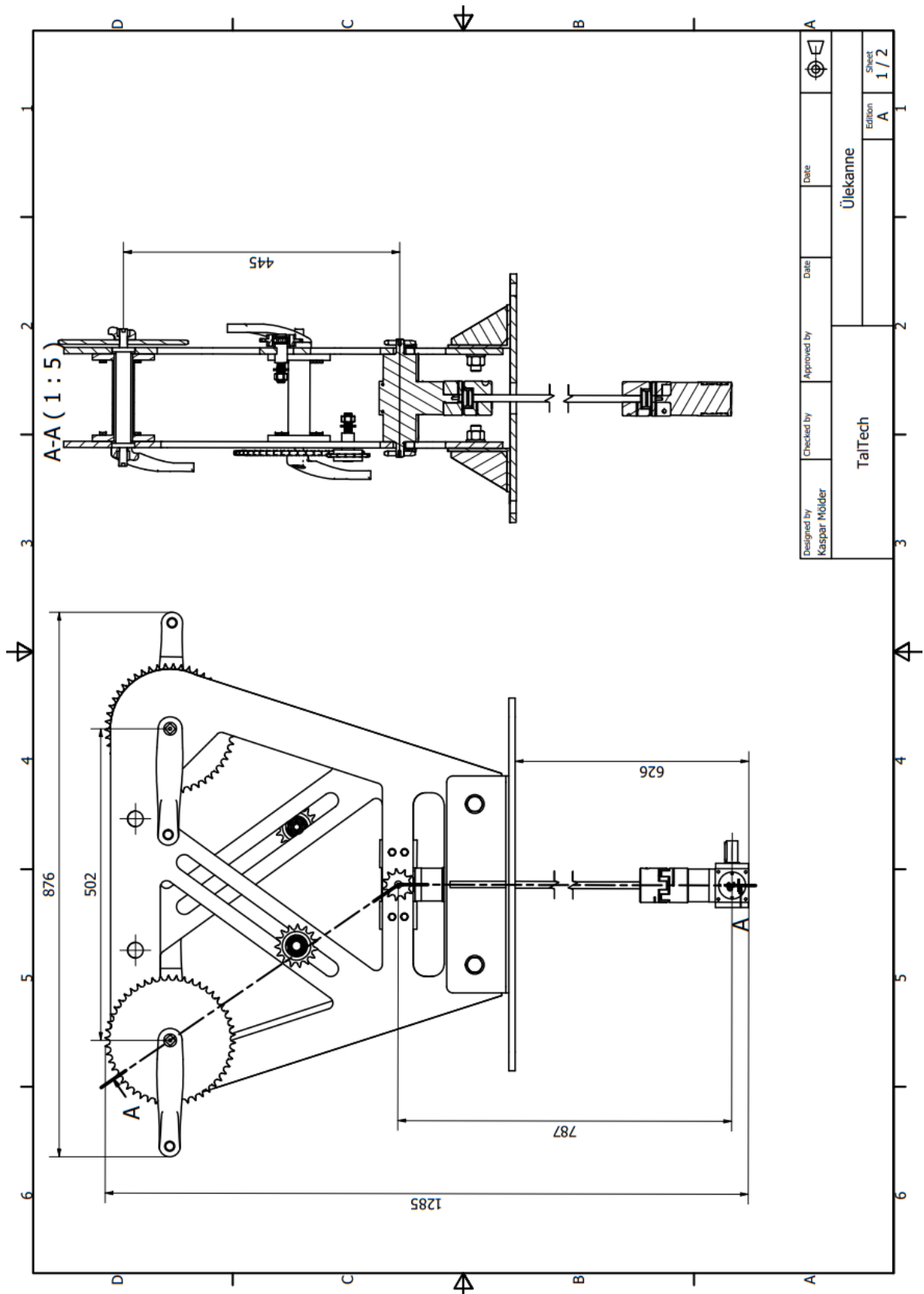
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

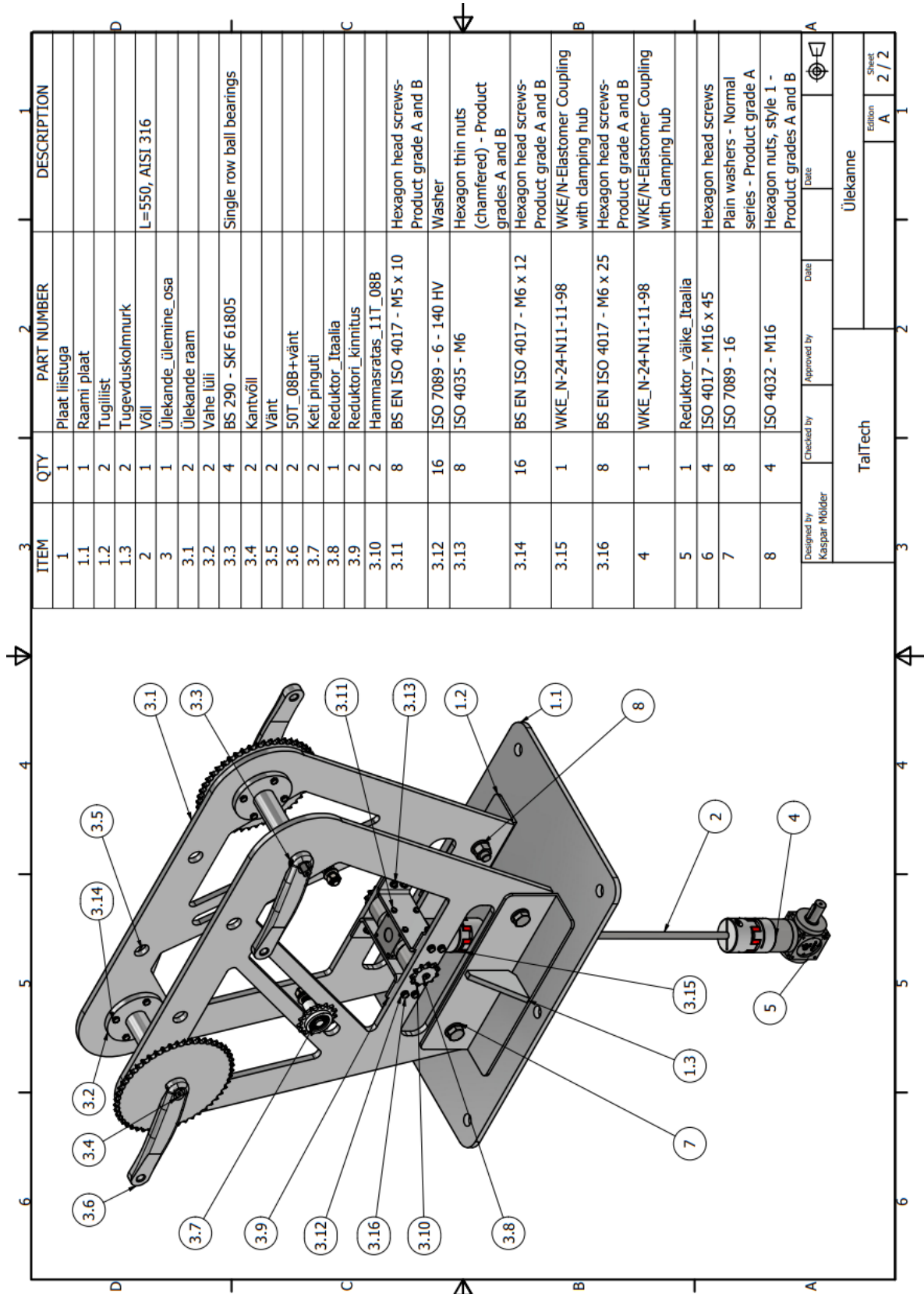
- [1] „International Waterbike Regatta,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.iwr2020.de/newpage37644560>.
- [2] „IWR 2023,” 18 1 2023. [Võrgumaterjal]. Available: www.iwr2023.de.
- [3] „Boats,” 26 01 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.boats.com/reviews/all-about-saildrives/>.
- [4] „Facebook,” 18 01 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.facebook.com/internationalwaterbikeregatta/>.
- [5] „IWR 2019,” 27 01 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.iwr2019.de/teams/>.
- [6] „Physical Cycling,” 28 02 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <http://physicalcycling.com/pedaling-force/>.
- [7] „Hobisport,” 01 03 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hobisport.ee/index.php/tehnikanurk/24-milline-vaenda-pikkus-mulle-sobib>.
- [8] „Proto xyz,” 09 04 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://protoxyz.com/materials/metal/Stainless_Steel_316.
- [9] T. Tiidemann, „Masinaelemendid I,” Tallinn, 1994, p. 2.13.
- [10] E. M. V. J. W. Robert L. Mott, „Machine elements in mechanical design,” 2018, pp. 283 tabel 7-14.
- [11] E. M. V. J. W. Robert L. Mott, „Machine elements in mechanical design,” 2018, pp. 282 valem 7-18.
- [12] E. M. V. J. W. Robert L. Mott, Machine elements in mechanical design, 2018.
- [13] P. Kulu, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2021.
- [14] B. Dumpleton, Story of the paddle steamer, 1973.
- [15] „Triathlete,” 16 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.triathlete.com/training/what-is-the-ideal-bike-cadence-for-you/>.
- [16] „Oceanvolt,” 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://oceanvolt.com/solutions/systems/sail-drive/>.
- [17] „Hawaii Express,” 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hawaii.ee/et/tooted/suvi/jalgratta-varuosad/pedaalid/tava-pedaalid>.

- [18] „Hawaii Express,“ 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hawaii.ee/et/tooted/suvi/jalgratta-varuosad/pedaalid/clip-pedaalid>.
- [19] „Amazon,“ 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amazon.com/SRAM-X-SYNC-Crankset-Without-Bracket/dp/B0127DVSMG>.
- [20] „DZ Trasmissioni,“ 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dztrasmissioni.it/en/products/qb-gear-drives/constructive-form/type-28/>.
- [21] „DZ trasmissioni,“ 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dztrasmissioni.it/en/products/qb-gear-drives/constructive-form/type-2>.
- [22] „StS Coupling,“ 17 05 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stscoupling.de/en/elastomer-couplings/wke-n/>.

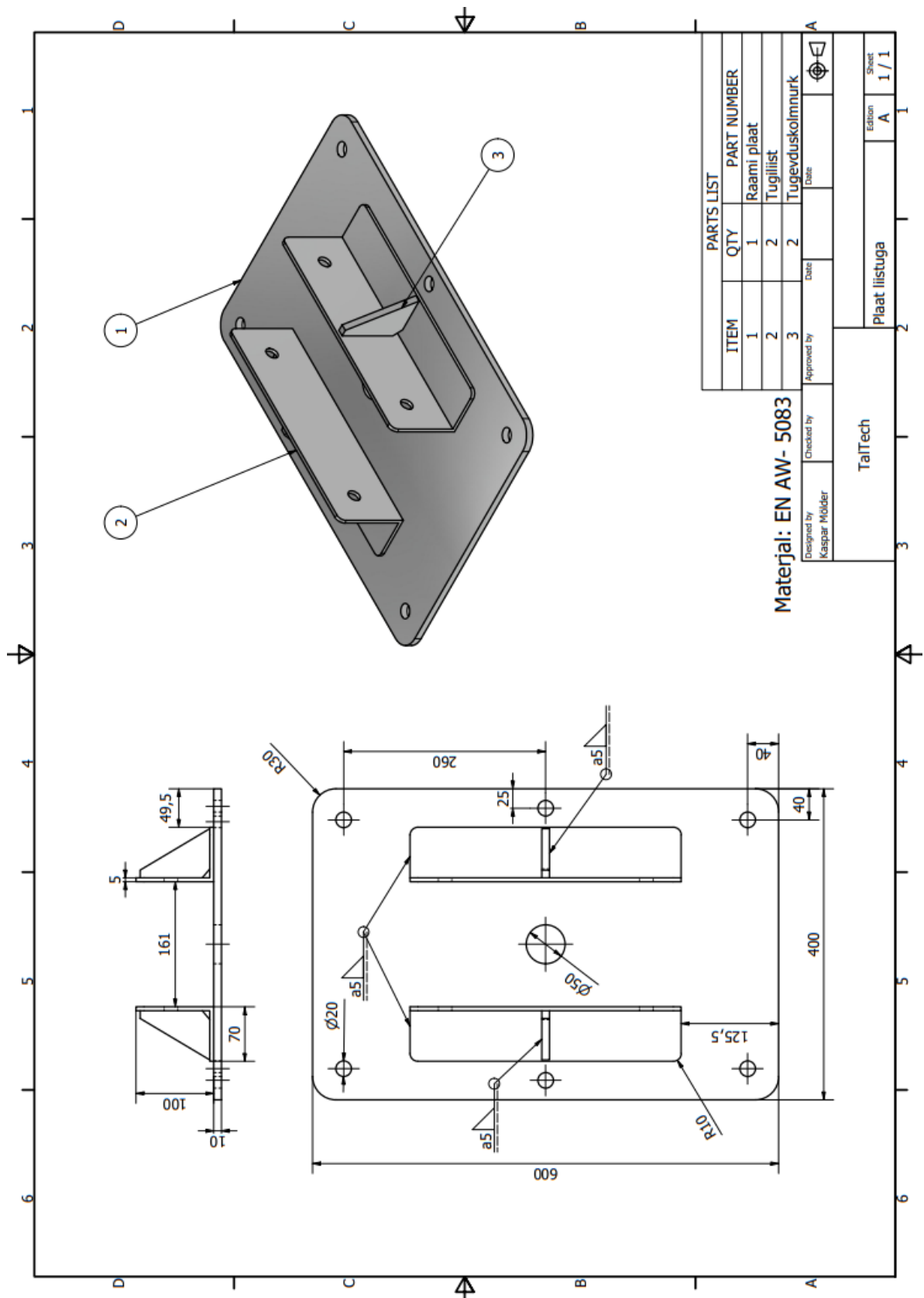
LISAD

Lisa 1. Jõuülekanne

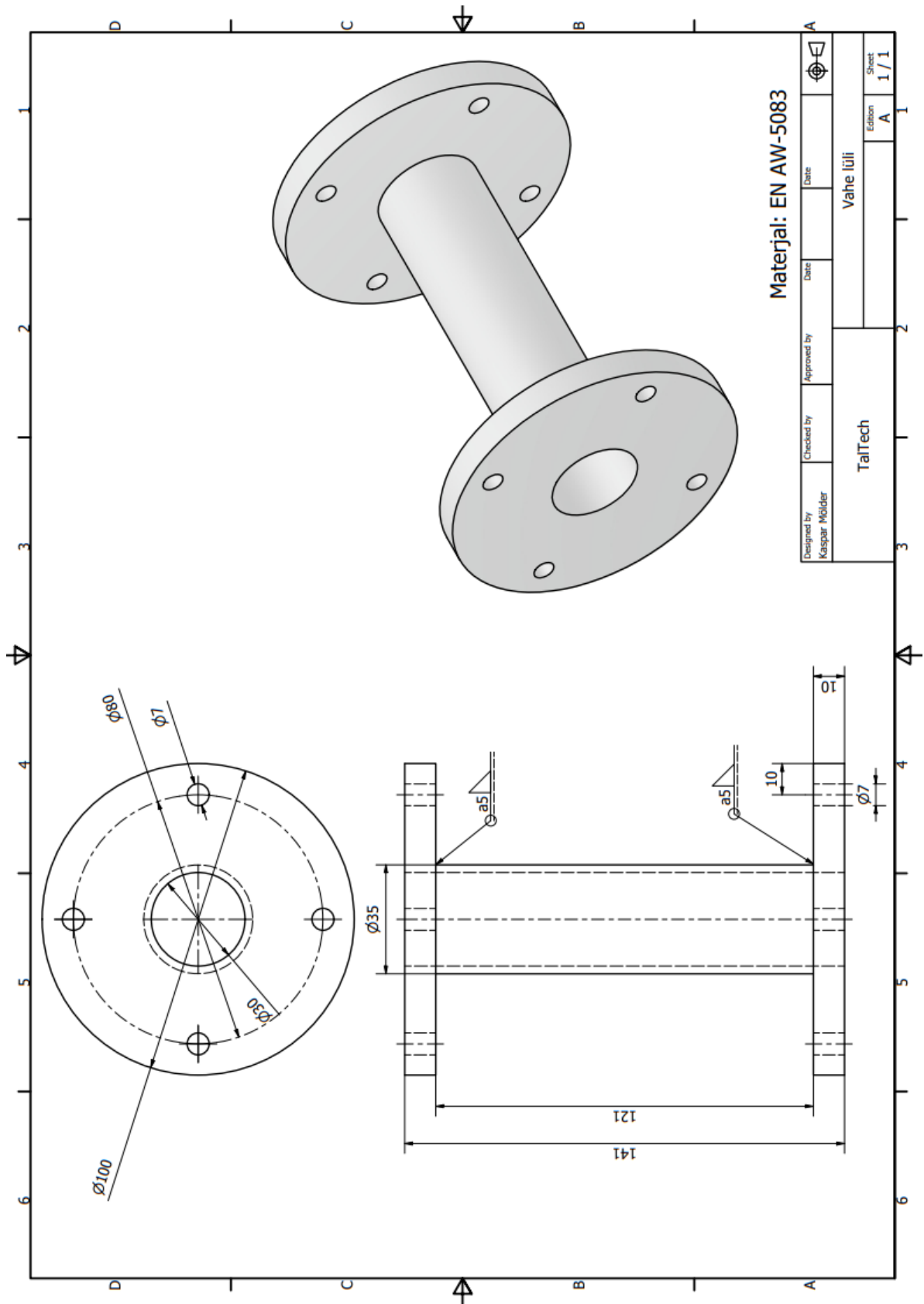




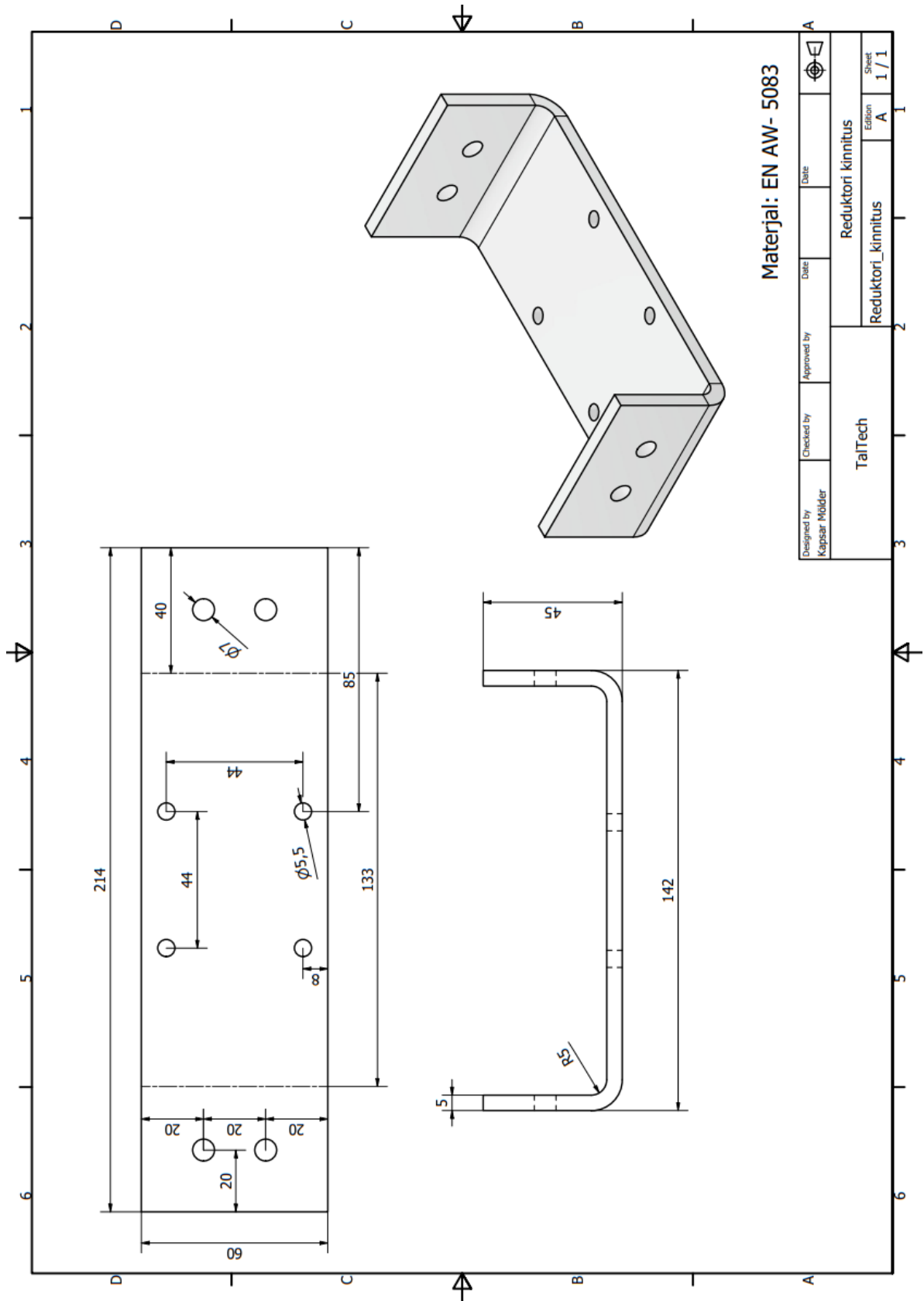
Lisa 2. Plaat liistuga



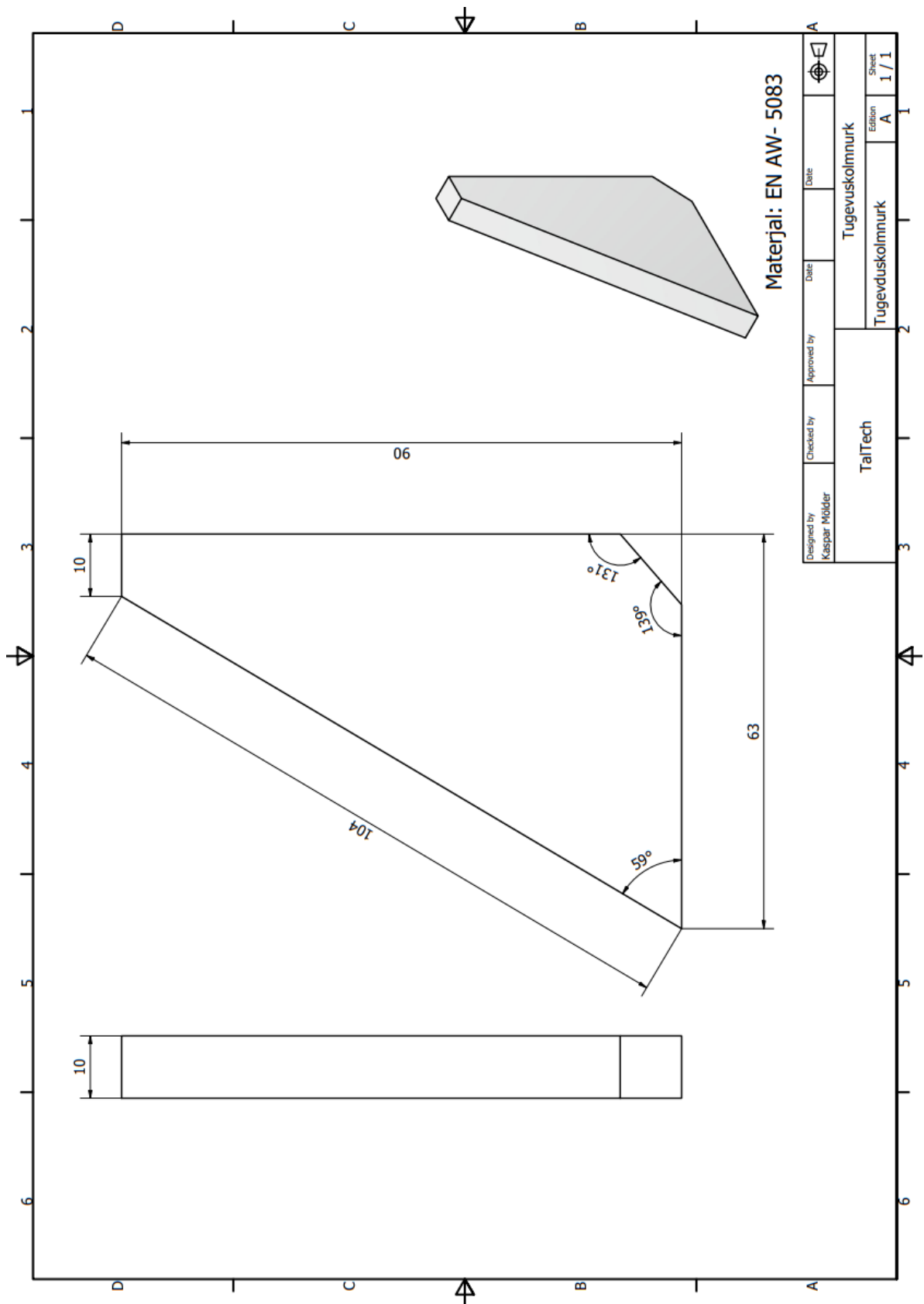
Lisa 3. Vahelüli



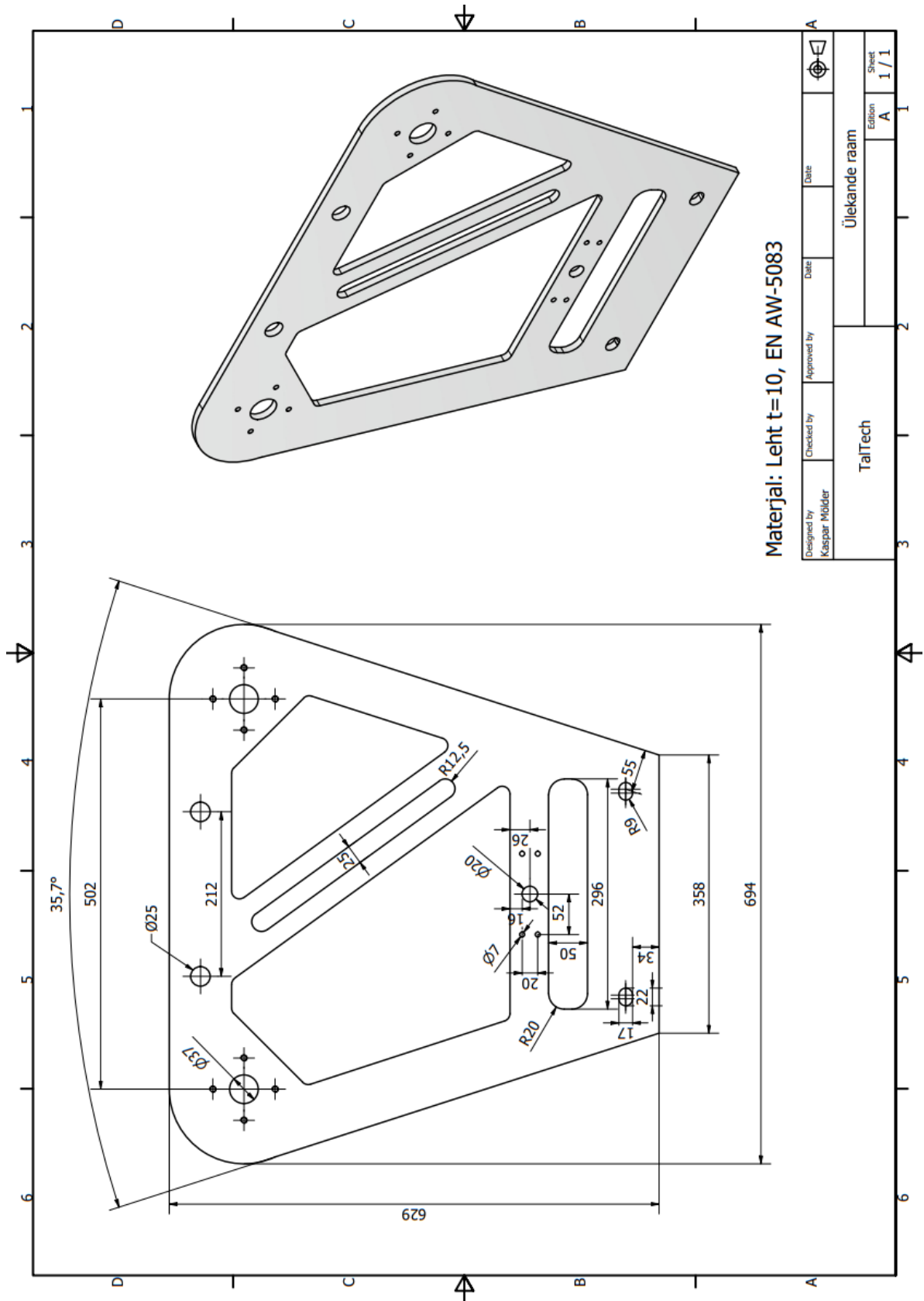
Lisa 4. Reduktori kinnitus



Lisa 5. Tugevduskolmnurk



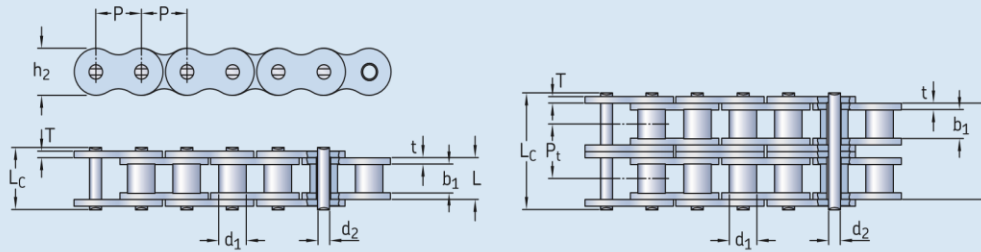
Lisa 6. Ülekande raam



Lisa 7. Rullpukskett 08B-1SS tehniline leht

Table 1

SKF Xtra Corrosion Resistant Chains



Chain number	Dimensions					Inner plate height	Plate thickness		Ultimate tensile strength	Weight per meter	Designation	
	Pitch	Roller diameter	Width between inner plates	Pin diameter	Pin length		t max	T max				
	P	d ₁ max	b ₁ min	d ₂ max	L max	L _c max	h ₂ max	t max	T max	Q min	q	
–	mm									kN	kg/m	–
25-1SS1	6,350	3,30	3,18	2,31	7,90	8,40	6,00	0,80	0,80	2,5	0,15	PHC 25-1SS...
35-1SS1	9,525	5,08	4,77	3,58	12,40	13,17	9,00	1,30	1,30	5,5	0,33	PHC 35-1SS...
40-1SS	12,700	7,95	7,85	3,96	16,60	17,80	12,00	1,50	1,50	9,6	0,63	PHC 40-1SS...
41-1SS	12,700	7,77	6,25	3,58	13,75	15,00	9,91	1,30	1,30	6,0	0,46	PHC 41-1SS...
50-1SS	15,875	10,16	9,40	5,08	20,70	22,20	15,09	2,03	2,03	15,2	1,03	PHC 50-1SS...
60-1SS	19,050	11,91	12,57	5,94	25,90	27,70	18,00	2,42	2,42	21,7	1,51	PHC 60-1SS...
80-1SS	25,400	15,88	15,75	7,92	32,70	35,00	24,00	3,25	3,25	38,9	2,62	PHC 80-1SS...
100-1SS	31,750	19,05	18,90	9,53	40,40	44,70	30,00	4,00	4,00	60,0	3,94	PHC 100-1SS...
120-1SS	38,100	22,23	25,22	11,10	50,30	54,30	35,70	4,80	4,80	72,5	5,72	PHC 120-1SS...
140-1SS	44,450	25,40	25,22	12,70	54,40	59,00	41,00	5,60	5,60	94,0	7,70	PHC 140-1SS...
04B-1SS	6,000	4,00	2,80	1,85	6,80	7,80	5,00	0,60	0,60	2,0	0,11	PHC 04B-1SS...
05B-1SS	8,000	5,00	3,00	2,31	8,20	8,90	7,10	0,80	0,80	3,5	0,20	PHC 05B-1SS...
06B-1SS ²	9,525	6,35	5,72	3,28	13,15	14,10	8,20	1,30	1,30	6,2	0,41	PHC 06B-1SS...
08B-1SS	12,700	8,51	7,75	4,45	16,70	18,20	11,80	1,60	1,60	12,0	0,70	PHC 08B-1SS...
10B-1SS	15,875	10,16	9,65	5,08	19,50	20,90	14,70	1,70	1,70	14,5	0,94	PHC 10B-1SS...
12B-1SS	19,050	12,07	11,68	5,72	22,50	24,20	16,00	1,85	1,85	18,5	1,16	PHC 12B-1SS...
16B-1SS	25,400	15,88	17,02	8,28	36,10	37,40	21,00	4,15	3,10	40,0	2,73	PHC 16B-1SS...
20B-1SS	31,750	19,05	19,56	10,19	41,30	45,00	26,40	4,50	3,50	59,0	3,73	PHC 20B-1SS...
24B-1SS	38,100	25,40	25,40	14,63	53,40	57,80	33,20	6,00	4,80	104,0	7,20	PHC 24B-1SS...
32B-1SS	50,800	29,21	30,99	17,81	66,00	71,00	42,00	7,00	6,00	150,0	10,22	PHC 32B-1SS...

¹ Bushing chain: d₂ indicates external diameter of bushing.

² Straight side plates.

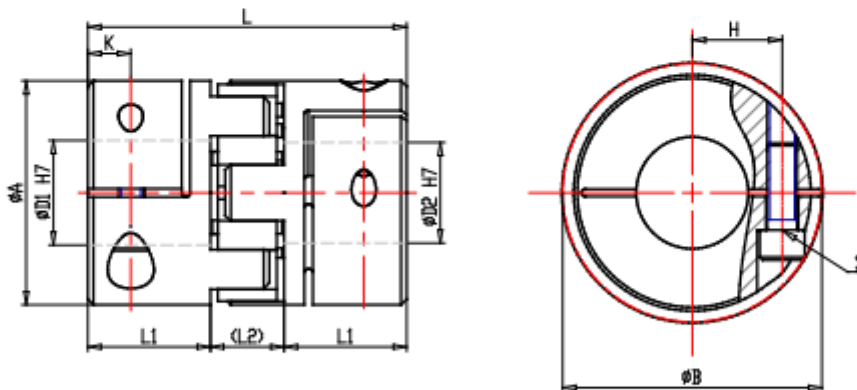
Standard lengths are 10 ft. and 5 m. To complete designation, add chain length. For example, a 5 m box of 80-1SS is PHC 80-1SSX5MTR. For links, add "C/L" for "connecting" and "O/L" for "offset" to the designation.

Lisa 8. Siduri tehniline leht



WKE/N-24-N11-11-98
Elastomer Coupling with clamping hub

Technical drawings



3D PDF DATASHEET				
Create Your Individual 3D PDF Datasheet ▶	eCATALOG solutions Learn How to Create Your Mechanical Product Catalog ▶	BIM catalogs.net Learn How to Create Your BIM Product Catalog ▶	PART solutions Reduce Your Costs in Engineering and Purchasing ▶	



WKE/N-24-N11-11-98
Elastomer Coupling with clamping hub

Technical Data

SIZE (Size)	24
TKN (Torque / Nm)	60
L (Total length / mm)	78
A (Outside diameter / mm)	55
N (Keyway (DIN 6885))	With keyway D1
D1 (Bore diameter ØH7 / mm)	11
D2 (Bore diameter ØH7 / mm)	11
D3 (Basic dimension / mm)	-
Z (Elastomer insert / ShA)	98
L1 (Basic dimension / mm)	30
L2 (Basic dimension / mm)	18
L3 (Basic dimension / mm)	-
B (Interference diameter / mm)	57
K (Basic dimension / mm)	10.5
H (Basic dimension / mm)	20
S (Screw (ISO 4762))	M6
TA (Installation torque per screw / Nm)	19
J (Mass moment of inertia / kg cm ²)	1.65
NMAX (max. speed / 1/min)	7000
M (Mass / kg)	0.35
MAT1 (Material for hub)	Aluminum
MAT2 (Material for elastomer insert)	Polyurethane
CTN (Customs tariff number)	84836080

Lisa 9. Reduktor tüüp 28 tehniline leht



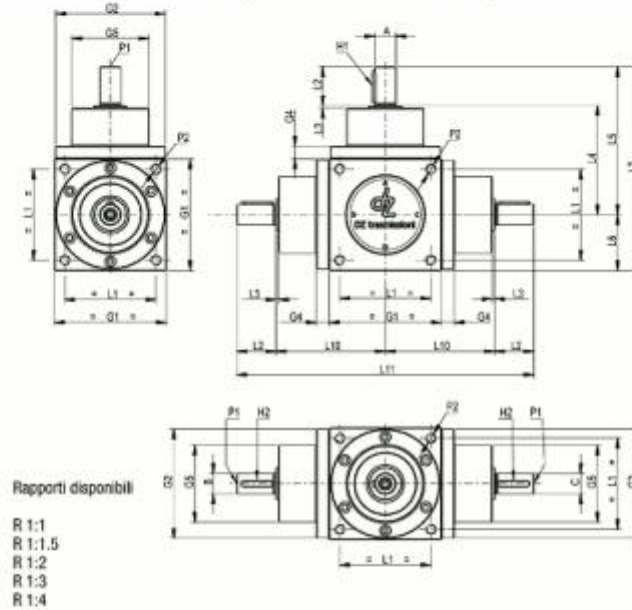
www.traceparts.com
info@traceparts.com

QB Series Angular Transmission Construction Form TYPE 28

Product datasheet

2 Configuration settings

Figure 1: Dimensioned drawing



Configuration	
Size (G1)	54
A - B - C a h7	11
G2 Ø f7	53
G4	10
G5	52,8
L1	44
L2	23
L3	1,5
L4 - L10	72
L5	95
L6	27
L7	122
L11	190



Configuration	
H1 - H2	4x4x20
P1	M4x10
P2	M4x12
Transmission Ratio	1:1

Bill of Materials Data	
Manufacturer	DZ transmission
Description	QB Series Angular Transmission Construction Form TYPE 28 Size-54
Part number	QB_28_54_1-1

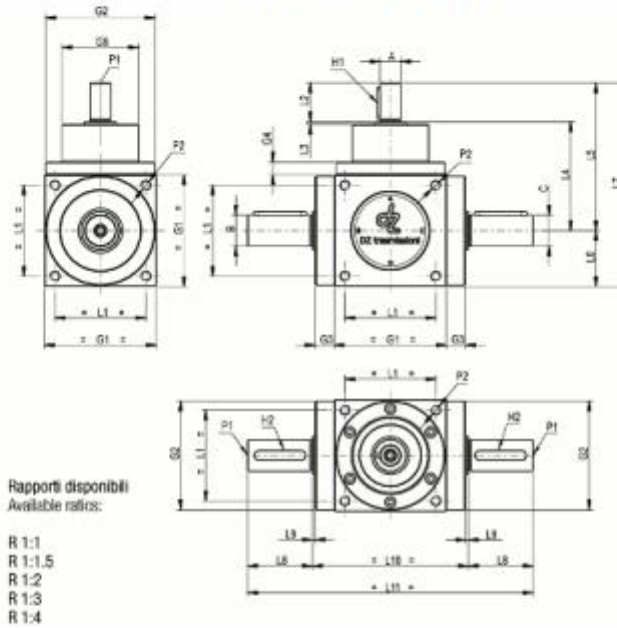
Lisa 10. Reduktor tüüp 2 tehniline leht



www.dtransmission.com
info@dtransmission.com

2 Configuration settings

Figure 1: Dimensioned drawing



Configuration	
Size (G1)	54
B - C Ø h7	18
G2 Ø f7	53
G3	8,5
G4	10
G5	52,8
L1	44
L3 L9	1,5
L4	72
L6	27
L8	35
L10	37
L11	107,5



Configuration	
H2	6x6x30
P1	M4x10
P2	M4x12
A Ø h7	11
Transmission Ratio	1:1
L2	23
L5	95
L7	122
H1	4x4x20

Bill of Materials Data	
Manufacturer	DZ trasmissioni
Description	QB Series Angular Transmission Construction Form TYPE 2 Size=54 - Diameter A=11
Part number	QB_2_54_1-1

Lisa 11. Laager SKF 61805 tehniline leht



61805

SKF

Deep groove ball bearing

Single row deep groove ball bearings are particularly versatile, have low friction and are optimized for low noise and low vibration, which enables high rotational speeds. They accommodate radial and axial loads in both directions, are easy to mount, and require less maintenance than many other bearing types.

- Simple, versatile and robust design
- Low friction
- High-speed capability
- Accommodate radial and axial loads in both directions
- Require little maintenance

Overview

Dimensions

Bore diameter	25 mm
Outside diameter	37 mm
Width	7 mm

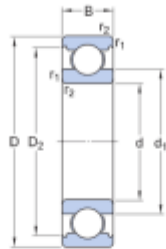
Performance

Basic dynamic load rating	4.36 kN
Basic static load rating	2.6 kN
Reference speed	38 000 r/min
Limiting speed	24 000 r/min

Properties

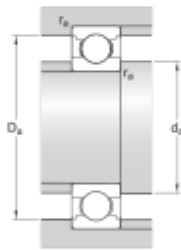
Filling slots	Without
Number of rows	1
Locating feature, bearing outer ring	None
Bore type	Cylindrical
Cage	Sheet metal
Matched arrangement	No
Radial internal clearance	CN
Material, bearing	Bearing steel
Coating	Without
Sealing	Without
Lubricant	None
Relubrication feature	Without

Technical Specification



Dimensions

d	25 mm	Bore diameter
D	37 mm	Outside diameter
B	7 mm	Width
d ₁	≈ 28.5 mm	Shoulder diameter
D ₁	≈ 33.15 mm	Shoulder diameter
D ₂	≈ 34.2 mm	Recess diameter
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Chamfer dimension



Abutment dimensions

d _a	min. 27 mm	Diameter of shaft abutment
D _a	max. 35 mm	Diameter of housing abutment
r _a	max. 0.3 mm	Radius of shaft or housing fillet

Calculation data

Basic dynamic load rating	C	4.36 kN
Basic static load rating	C ₀	2.6 kN
Fatigue load limit	P _u	0.125 kN
Reference speed		38 000 r/min
Limiting speed		24 000 r/min
Minimum load factor	k _r	0.015
Calculation factor	f ₀	14.2



Mass

Mass bearing	0.021 kg
--------------	----------

Tolerance class

Dimensional tolerances	Normal
Radial run-out	Normal