

ESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut



Hando Leichter

VÄIKESE TÖÖMAHUGA SISEPÕLEMISMOOTORI KATSESTEND

Test bench for small displacement internal combustion engine

Magistritöö
Tootmistehnika erialal

TARTU 2014

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Magistritöö koostaja: **Hando Leichter**

.....

.....

(kuupäev)

(allkiri)

Juhendaja: **lektor Arne Küüt**

.....

.....

(kuupäev)

(allkiri)

Retsensent: **doktorant Risto Ilves**

.....

.....

(kuupäev)

(allkiri)

Töö vastab kehtivatele nõuetele. Kaitsmisele lubatud.

Põllumundus- ja tootmistehnika osakonna juhataja:

professor Jüri Olt

.....

.....

(kuupäev)

(allkiri)

ABSTRACT

Hando Leichter. Test bench for small displacement internal combustion engine. Tartu, EMÜ, 2014. 69 pages, with appendices 88 pages, 31 figures, 13 table, format A4. 38 sources of literature used. In Estonian.

In order to carry out studies on the usage of bioethanol fuels in two-stroke engines, it is essential to develop a suitable test bench for a two-stroke small displacement internal combustion engine. I intended is to evolve a reasonably priced engine dynamometer for chain saw engine in order to conduct torque and power measurements. The solution for the brake system dynamometer is to creat hydraulic a circuit where the pump is set of by the engine under the test and the load of the pump is controlled by the throttle valve. Moreover, it is necessary to find suitable equipment for the analysis of exhaust fumes and fuel consumption. This way essential data can be gathered for improving bioethanol fuels and making them more efficient and cleaner. Furthermore, the fuel systems of engines can be adjusted or rebuilt for the use of bioethanol.

Key words: Test bench, dynamometer, chain saw, bioethanol.

SISUKORD

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| TÄHISED JA LÜHENDID | 5 |
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED | 7 |
| 1.1. Probleemi olemus..... | 7 |
| 1.2. Aktuaalsus ja uudsus..... | 7 |
| 1.3. Eesmärk ja ülesanded..... | 8 |
| 2. MATERJALID JA METOODIKA | 9 |
| 2.1. Katseobjekti valik | 9 |
| 2.2. Olemasolevad katsestendid | 10 |
| 2.2.1. Sakor Technologies, Inc. katsestend..... | 10 |
| 2.2.2. Madsen`s shop & supply katsestend..... | 11 |
| 2.3. Dünamomeeter | 12 |
| 2.4. Dünamomeetrite piduri lahendused | 14 |
| 2.4.1. Prony pidur | 14 |
| 2.4.2. Köispidur | 14 |
| 2.4.3. Hüdrauliline dünamomeeter | 15 |
| 2.4.4. Pöörivoolu dünamomeeter | 16 |
| 2.4.5. Alalis- ja vahelduvvoolu dünamomeeter | 18 |
| 2.4.6. Inertsdünamomeeter..... | 19 |
| 2.5. Bioetanool kütusena..... | 21 |
| 2.5.1. Etanooli kasutamine mootorikütusena..... | 21 |
| 2.5.2. Bioetanool..... | 23 |
| 2.5.3. Bioetanool kahetaktilise mootori kütusena..... | 25 |
| 2.6 Heitgaasid | 26 |
| 2.6.1 Kahetaktiliste mootorite heitgaasid | 28 |
| 2.6.2 Heitgaasid bioetanooli kasutamisel | 29 |
| 2.6.3 Heitgaaside mõju inimese tervisele | 29 |
| 2.6.4. Direktiivid..... | 30 |
| 3. KATSESTENDI DÜNAMOMEETER | 32 |
| 3.1. Pumba valik | 32 |
| 3.2. Hüdro süsteem | 35 |

| | |
|-------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.1 Manomeeter | 36 |
| 3.2.2 Drosselklapp | 37 |
| 3.2.3 Hüdraulikaõli jahuti | 37 |
| 3.2.4 Õlimahuti | 39 |
| 3.2.5 Hüdraulikaõli filter | 40 |
| 3.2.6 Voolikud ja ühedusliitmikud | 41 |
| 3.2.7 Kasutatav õli | 41 |
| 3.3. Kettülekanne | 42 |
| 3.3.1 Veoketi valimine | 43 |
| 3.3.2 Tähikute valimine | 43 |
| 3.4. Võlli arvutus..... | 47 |
| 3.4.1. Võllile sobivate laagrite valimine | 50 |
| 3.5. Katsestendi kandevkonstruktsioonid | 51 |
| 3.5.1 Hüdraulikapumba kinnitusraam..... | 51 |
| 3.5.2. Laagripukid | 52 |
| 3.5.3. Alusraam..... | 52 |
| 3.6. Mõõtemehhanism..... | 54 |
| 3.7. Tahhomeeter | 55 |
| 3.8. Mõõtetulemused..... | 57 |
| 4. KÜTUSEKULU HINDAMINE | 58 |
| 5. HEITGAASIDE ANALÜÜS | 60 |
| 6. EELARVE | 62 |
| KOKKUVÕTE..... | 64 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 65 |
| TÄNUAVALDUSED | 68 |
| LISAD | 69 |
| LISA A. Hinnapakumised..... | 70 |
| LISA B. Katsestendi tehnilised joonised | 74 |

TÄHISED JA LÜHENDID

| | |
|------------|--------------------------------------------------------|
| B_f | - kütusekulu kg/h; |
| d | - siseava läbimõõt mm; |
| D | - läbimõõt mm; |
| F_r | - radiaaljõud N; |
| F_t | - ringjõud N; |
| l | - jõuõla pikkus m; |
| m | - mass kg; |
| n | - võlli pöörlemiskiirus min^{-1} |
| n_{min} | - võlli minimaalne pöörlemiskiirus min^{-1} |
| n_{max} | - võlli maksimaalne pöörlemiskiirus min^{-1} |
| p | - rõhk Mpa; |
| P | - nimivõimsus kW; |
| P_{max} | - maksimaalne võimsus kW; |
| S | - kolvikäik mm; |
| $[S_T]$ | - vähim lubatud ohutustegur; |
| z | - tähiku hammaste arv; |
| t | - temperatuur °C; |
| T | - pöördemoment Nm; |
| u | - ülekandearv; |
| v | - väsimusarvutuse vajalikkuse kriteerium liistliitele; |
| V | - töömaht cm^3 ; |
| V_T | - vähim ohutustegur voolavuspiiri järgi; |
| w | - laius mm; |
| ppm | - osakest miljonist (ing.k <i>parts per million</i>); |
| $[\tau]$ | - tinglik lubatud väändepinge N/mm^2 |
| σ_T | - voolavuspiir; |
| η | - kasutegur; |

SISSEJUHATUS

Eesti Maaülikoolis on aastaid uuritud biokütuseid ja nende tootmise ning kasutamise võimalusi. Katsetatud on bioetanooli nii diisel- kui ottomootorite käitamisel. Vähe on teada bioetanooli kasutamise mõjudest kahetaktiliste mootori käitamisel. Tänapäeval, kui energia hinnad kasvavad, tuleb üha enam kasutusele võtta alternatiivseid kütuseid, mida saab toota taastuvatest loodusvaradest. Ressursi vähenemisest tingitud fossiilsete kütuste hinnatõus on pannud aluse biokütuste kasutamise hoogustumisele.

Kasvav õhusaaste on tänapäeval üks suurimaid probleeme arenenud riikides. Heitgaaside emissioon sisepõlemismootorite kasutamisest omab peamist rolli õhusaaste tekkimisel. Ei ole just mõttekas hakata sisepõlemismootorite ehitust muutma, et toime tulla heitgaasidele kehtestatud nõuete täitmisega. Seega on oluline jätkata tööd alternatiivsete kütuste uurimise ja väljatöötamisega. On ülimalt oluline, et kasutatavad alternatiivsed kütused oleksid toodetud taastuvatest ressurssidest ja et väljatöötatud kütused oleksid kasutatavad juba olemasolevates mootorites vajaduseta neid ümber ehitada.

Enim levinud kahetaktilise sisepõlemismootoriga käsitööriistu on mootorsaag. Seega on mõistlik viia läbi katsetusi just mootorsae mootoriga. Eesti Maaülikooli mootorilaboris aga puudub katsestend väikse töömahuga kahetaktiliste mootorite võimsuse ja pöördemomendi leidmiseks. Vajalik on katsetuste käigus hinnata ka mootori heitgaaside emissiooni ja kütusekulu. Katsetest saadavaid andmeid on võimalik kasutada paremate bioetanooli ja õli segude väljatöötamiseks. Samuti on katsestendis võimalik seadistada mootori toitesüsteemi või isegi kogutud andmete põhjal välja arendada uus ja efektiivsem toitesüsteem.

1. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

1.1. Probleemi olemus

Bioetanooli kasutamist mootorikütusena on uuritud ja ka praktiseeritud juba aastakümneid. Eesti Maaülikooli tehnikainstituut on suures mahus uurinud erinevaid bioetanooli tootmise võimalusi ja samuti läbi viinud katsetusi alternatiivsete kütuste kasutamisel sise põlemismootorites. Alustatud on ka uuringuid selgitamaks, kas ja millistel tingimustel oleks võimalik kasutada bioetanooli kahetaktilistes mootorites. Levinumad kahetaktilised mootorid on erinevatel aia- ja metsatöö masinatel, näiteks trimmeritel, lehepuhuritel ja mootorsaagidel. Antud ajahetkel puudub Eesti Maaülikoolil selliste mootorite töö uurimiseks sobilik katsestend. Majanduslikust aspektist on kõige odavam katsestend ülikoolil ise valmis ehitada, saades osaliselt katsete läbiviimiseks kasutada juba olemasolevaid seadmeid.

1.2. Aktuaalsus ja uudsus

Taastuvenergia kasutamine on kaasaegse tööstuse tähtsaim väljakutse. Üha karmistuvad keskkonnanõuded ja kallinev taastumatutest energiaallikatest saadav kütus sunnivad tööstusi kasutusele võtma ja arendama süsteeme, mis toimivad alternatiivsetel kütustel.

Kui lähemalt vaatluse alla võtta kahetaktilised mootorsaed, pole märkimisväärseid muudatusi nende toitesüsteemides ja kasutatavates küttesegudes aset leidnud. Vähe on uuritud, kas kahetaktilised mootorid on võimelised töötama võrdväärselt nii bioetanooli kui bensiini segudega ning teadmata on, milliseid konkreetseid modifikatsioone oleks vaja teostada mootorites ja nende toitesüsteemides. Hinnata on vaja millist mõju omavad biokütused mootori erinevatele komponentidele ja mootori kestvusele üldiselt.

Oluline aspekt on õhusaaste vähendamine. Kütuse põlemisel tekkivad heitgaasid mitte ainult ei kujuta ohtu õhusaastena, vaid on otsene terviserisk motoriseeritud seadme kasutajale. Töötades näiteks mootorsaega, on tööoperatsioone teostav tööline pidevalt sunnitud sisse hingama heitgaase täis õhku. Osa sise põlemismootori heitgaasides

sisalduvaid ühendid on kantserogeense mõjuga. Teada on, et bioetanooli põletamisel tekkivate mürgiste ainete hulk on oluliselt väiksem.

1.3. Eesmärk ja ülesanded

Töö eesmärgiks on välja töötada katsestend, et analüüsida ja uurida kahetaktilise sise põlemismootori töötamist alternatiivsete biokütustega. Katsestendi konstruktsiooniline lahendus peab olema lihtne ja võimalikult mõistlike rahaliste vahenditega teostatav. Stendil peab olema võimalik teostada kestuskatseid ja analüüsida heitgaase ning kütusekulu.

Töö eesmärgist tulenevalt on püstitatud järgmised ülesanded:

1. Teostada kirjanduse ülevaade.
2. Katseobjekti valik.
3. Töötada välja katsestendi tehniline lahendus:
 - a) projekteerida mootorsae kinnitus stendile;
 - b) valida võimalikult efektiivne ja lihtsasti teostatav pidurdusmehhanism;
 - c) projekteerida kettülekanne mootori ja pidurdusmehhanismi ühendamiseks;
 - d) lahendus mootori pöörlemisageduse mõõtmiseks;
 - e) katsestendi alusraami projekteerimine.
 - f) mootori võimsuse leidmine.
4. Valida seade heitgaaside analüüsimiseks.
5. Valida seade kütusekulu hindamiseks.
6. Koostada eelarve katsestendi ehitamiseks.

2. MATERJALID JA METOODIKA

2.1. Katseobjekti valik

Katsestendi projekteerimise aluseks on vajalik valida konkreetne mootorsae mark ja mudel, mille andmete põhjal on võimalik läbi viia edaspidised kalkulatsioonid. Antud töös on aluseks võetud Saksa päritolu tootja Stihl mootorsaag, mille mudel on MS 260. Tegu ei ole professionaalseks kasutuseks mõeldud mootorsaega, vaid pigem kodumajapidamisse mõeldud mudeliga [1]. Selline mootorsaag on valitud põhjusel, et töö koostamise ajal oli võimalik samasugust saagi vajadusel kasutada. Selline katseobjekti valik ei sea piiranguid, et ei oleks võimalik kasutada teiste tootjate analoogseid mootorsaagide mudeleid.

Tabel 2.1. Mootorsaag Stihl MS 260 tehniline kirjeldus [1]

| Parameeter | Väärtus |
|------------------------|-----------------------------------------------|
| Mudel | MS 260 |
| Töömaht, V | 50,2 cm ³ |
| Silindri läbimõõt, D | 44,7 mm |
| Kolvikäik, S | 32 mm |
| Nimivõimsus, P | 2,6 kW/9600 min ⁻¹ |
| Pöördemoment, T | 3,1 Nm/6800 min ⁻¹ |
| Süütesüteem | Elektrooniline magneeto |
| Küünla vahe | 0,5 mm |
| Karburaator | Diafragma tüüpi, sisseehitatud bensinipumbaga |
| Kütusepaak | 0,46 l |
| Küttesegu | 50:1 |
| Ketiõlitus | Automaatne |
| Õlipaak | 0,145 l |
| Kaal | 4,7 kg |

2.2. Olemasolevad katsestandid

Maailmas on mitmeid tootjaid kelle tootevalikust on võimalik juba valmiskujul katsestande soetada. Testseadmed, mis on spetsiaalselt ehitatud katsetusteks, on väga kõrge hinnaga. Samas on palju nõ isehitatud dünamomeetreid, mis ka väga edukalt töötavad. Kasulik on tutvuda juba olemasolevate ja töötavate seadmetega, et leida lahendus, mis rahuldaks meie vajadused. Selleks on toodud järgnevalt lühiülevaade turul olevatest standidest ja kirjeldatud võimalike tehnilisi lahendusi.

2.2.1. Sakor Technologies, Inc. katsestand

Ameerikas Michigani osariigis asuv ettevõtte Sakor Technologies on tootnud ja arendanud erinevaid mootorite katsetus- ja juhtimisseadmeid juba aastast 1987. Nende tootevalikus on ka sobilik katsestand väikse töömahuga sisepõlemismootorite katsetamiseks, mis on kujutatud joonisel 2.2. Stend on sobilik kõikide väikese kubatuuriga sisepõlemismootorite testimiseks nagu mootorsaed, muruniidukid ja teised motoriseeritud käsitööriistad. Sakor technologies on välja töötanud ka Windows-i operatsioonisüsteemile baseeruva mootorite ja jõuülekannete testimise programmi DynoLAB [2].



Joonis 2.2. Sakor Technologies väikese töömahuga mootori vahelduvoolu dünamomeeter

[2]

Seade on oma mõõtmetelt kompaktne ja kasutab dünamomeetri pidurina vahelduvvoolu mootorit. Maksimaalne mõõdetava siseõlemismootori võimsus on kuni 6 kW ja maksimaalne väntvõlli pöörlemissagedus kuni 12000 min^{-1} . Seadme universaalsemaks kasutamiseks on võimalik erinevaid mootoreid stendile kinnitada nii horisontaalselt kui vertikaalselt. Katsete lihtsamaks läbiviimiseks on selle katsestendiga otstarbekas kasutada laboritarkvara DynoLAB PT [2].

2.2.2. Madsen`s shop & supply katsestend

USAs Washingtoni osariigis Centralias asuv metsatarvikute pood Madsen`s shop & supply inc. on oma remonditavate saagide katsetamiseks ja seadistamiseks ise ehitanud dünamomeeter stendi mis on kujutatud joonisel 2.3. Selle dünamomeetri piduriks on vesipidur, mis oma tööpõhimõttelt on veepump, mille koormamiseks reguleeritakse seadmesse siseneva vee hulka [3].



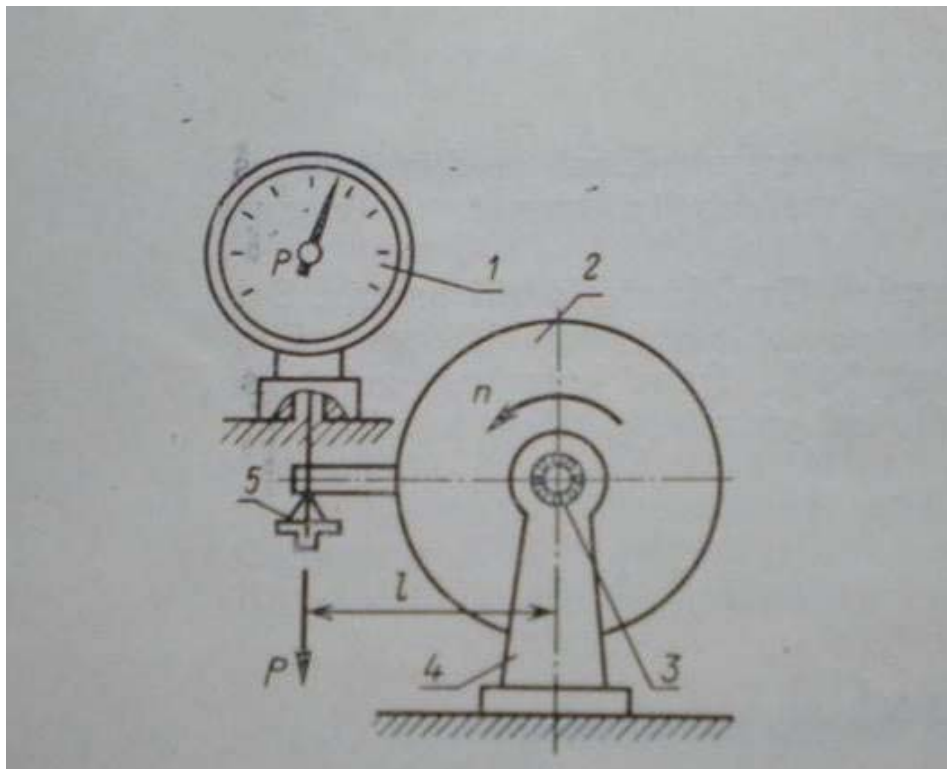
Joonis 2.3. Vesipidur [3]

Antud pidur oli algupäraselt mõeldud kartautode mootorite katsetamiseks, kuid kuna mootorsaagide kubatuurid ja võimsusklassid kattuvad kartautode omaga, on see pidur

kohandatud mootorsaagidele. Selleks on ümber ehitatud mootori ja pidurivaheline ülekanne. Seadmega suudetakse simuleerida mootorile koormust, et saagi seadistada sarnaselt töötingimustele. Samuti mõõdetakse seadmega pöördemomenti ja kuna väljundvõimsus on tuletatav pöördemomendist ja pöörlemissagedusest, on väljundvõimsus kergesti leitav [3].

2.3. Dünamomeeter

Dünamomeeter on seade millega saab mõõta mootori väändemomenti. Võlli pöörlemissagedus on mõõdetav tahhomeetriga ja väntvõllilt ülekantav väändemoment kaalumehhanismiga. Seda põhimõtet kasutavaid dünamomeetreid nimetatakse pendelmasinateks. Pendelmasinad mõõdavad mootori pöördemomenti piduri kere pendeldamise põhimõttel. Pendeldava kere pidurdusmoment on võrdne katsetatava mootori võlli pöördemomendiga. Pendelstendi skeem on kujutatud joonisel 2.4. Jooniselt 2.4 on näha kuidas piduri kere (2) toetub pukkidele (4) laagritel (3), mis võimaldavad piduril veotelje ümber pöörlemist. Kere pöörlemist takistab kaalumehhanism (1), mis on piduri külge ühendatud väljaulatuva piduri õlaga [4].



Joonis 2.4. Pendelstendi skeem [4]

Mootori dünamomeetrid on pidurid, mida kasutatakse mootori võimsuse mõõtmiseks etteantud mootori pöörlemiskiiruse juures. Mootori dünamomeetritel on kaks peamist komponenti: pidurdusseade ja pöördemomenti mõõtev andur. Ilma koormuseta mootor saavutab ainult pöörlemiskiiruse, kuid kiiruse säilitamiseks ei ole mootoril vaja rakendada märkimisväärset jõudu. Piduri ülesandeks on töötavale mootorile tekitada koormus, mida saab reguleerida. Mootorile rakendatud koormuse abil on võimalik mõõta mootorilt saadavat pöördemomenti. Pöördemoment avaldub valemiga [5]:

$$T = l \times p, \quad (2.1)$$

kus T – pöördemoment Nm;
 l – piduri õlg m;
 p – kaaluga mõõdetud jõud N.

Mootori võimsus on arvutatav piduri võlli pöörlemiskiiruse ja väändemomendi kaudu. Kui mootor ei ole otse piduriga ühenduses, tuleb arvestada ka mootori ja piduri vahelise jõuülekanne kasutegurit. Mootori võimsus on arvutatav valemiga [5]:

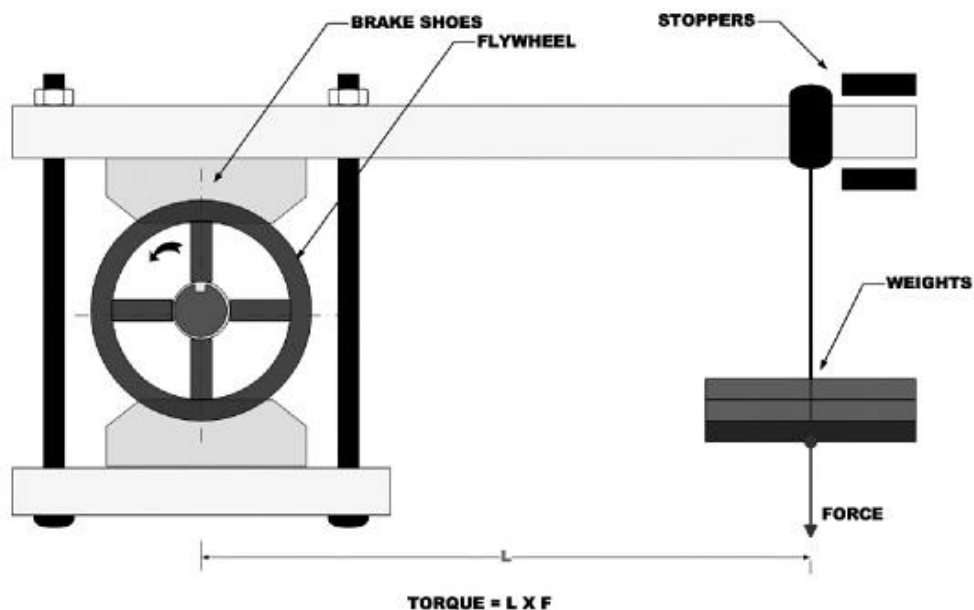
$$P = \frac{T \times n}{9549}, \quad (2.2)$$

kus P – võimsus kW;
 T – pöördemoment Nm;
 n – piduri võlli pöörlemiskiirus min^{-1} .

2.4. Dünamomeetrite piduri lahendused

2.4.1. Prony pidur

Üks lihtsamaid mooduseid väljundjõu mõõtmiseks on lihtsalt mootori külge kinnitatud hooratta pidurdamine ja pidurdamise ajal mõõdetakse millise raskusega on piduriklotsid survestatud. Joonisel 2.5 kujutatud pidurdusmehhanism töötab põhimõttel, kus jõud muudetakse soojuseks kuiva hõõrdejõuga. Seda dünamomeetrit peetakse üheks varasemaks, mis kasutusele on võetud. Kuigi seadmega on võimalik mootori võimsus leida, ei ole see sobilik kestuskatsete läbiviimiseks. Hõõrdejõust tekkiv kulumine ei ole sobilik pikema ajalisele katsele. Prony piduri leiutas 1821 aastal prantsuse matemaatik ja insener G. de Prony [6].

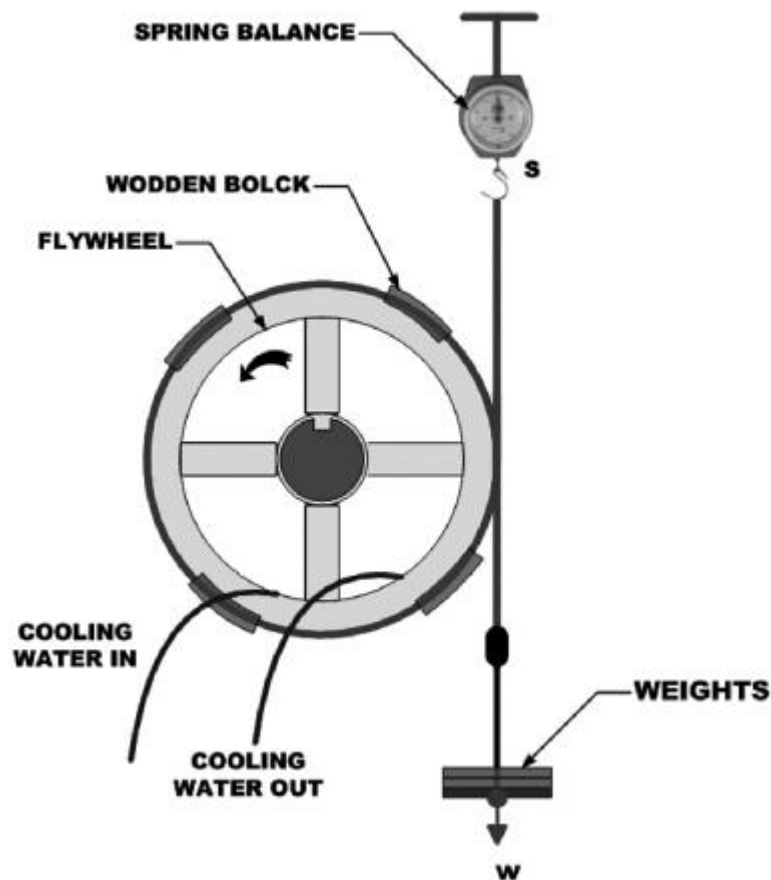


Joonis 2.5. Prony piduri tööpõhimõte [5]

2.4.2. Köispidur

Joonisel 2.6. kujutatud köispidur on lihtne seade mootori pöördemomendi mõõtmiseks. Seade põhineb mootori völli kinnitatud trumlil, mille ümber on keritud köis. Köie ühes otsas on vedruskaala, millega saab mõõta jõudu ja teises otsas on koormamiseks raskused. Ümber trumli keritud köis hakkab tööle pidurina, trumli ja köie vahel tekib hõõrdumine.

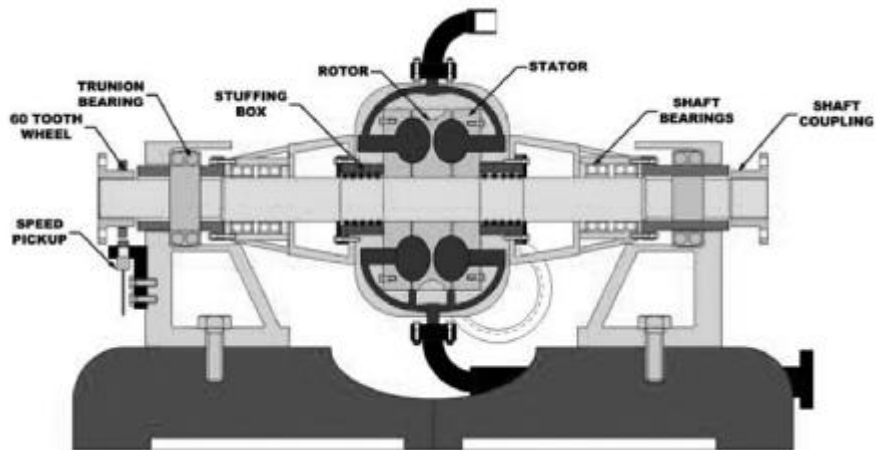
Hõõrdumisega kaasneva soojuse vähendamiseks jahutatakse süsteemi veega. Antud seade ei ole väga täpne, sest köie hõõrdumise koefitsient muutub koos temperatuuri muutusega.



Joonis 2.6. Köispidur [5]

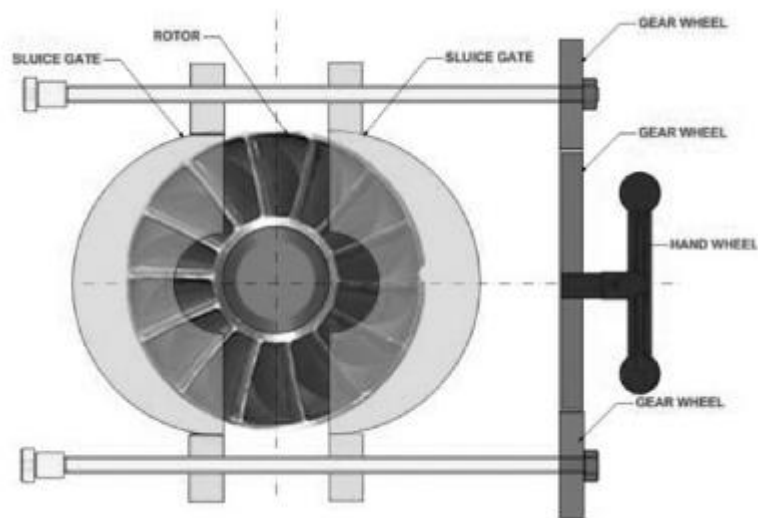
2.4.3 Hüdrauliline dünamomeeter

Hüdrauliline dünamomeeter koosneb liikumatust korpusest, mille küljes on staatorilabad ja selle sees asuvast rootorist. Rotor on ühendatud mõõdetava mootori võllile. Rotoril ja staatoril on mõlemal sissevalatud poolringi kujulised labad. Rootori pöörlemisest tingitult on labadevahel olev vedelik (üldiselt vesi) pööriseselises liikumises, mis tekitab rootori ja korpuse vahel pöördemomendi. Korpus on asetatud laagritele ja väljaulatava õlaku külge kinnitatud kaaluandur mõõdab pidurilt rakenduvat jõudu. Hüdrauliline dünamomeeter on kujutatud joonisel 2.7. [5]



Joonis 2.7. Hüdrauliline dünamomeeter [5]

Seda tüüpi dünamomeetrit kutsutakse ka konstantselt täidetud dünamomeetriks, sest seade on veega täiesti täidetud. Dünamomeetri koormust kontrollitakse lüüsikanali avamisega, mis paljastab üha enam rootori labasid [6]. Rootor ja liikuvad lüüsikanalid on kujutatud joonisel 2.8.



Joonis 2.8. Hüdraulilise dünamomeetri koormuse reguleermehhanism [5]

2.4.4. Pöörivoolu dünamomeeter

Pöörivoolu dünamomeeter (*eddy current dynamometer*) on kujutatud joonisel 2.9. Seade koosneb korpusest, mille külge on paigaldatud elektromagnetid ja rootorist, mis oma kujult on vasest või terasest valmistatud ketas. Rootor on ühendatud katsetatava mootori

väljundvõllile. Kui rootor pöörleb, tekivad staatorikorpuses pöörisvoolud. Pöörisvoolude tekke põhjuseks on elektromagnetitele ergutusvoolu andmisel tekkiv magnetvoog. Pöörisvoolud hajutavad jääenergiat tootes sellest soojust, seega vajab pöörisvoolu pidur jahutussüsteemi. Pöördemoment leitakse momendi õla pikkuse ja õlale langeva koormuse abil, nagu kõigil eelpool kirjeldatud pidurdusmehhanismidel. Koormust reguleeritakse ergutusvoolu muutmise teel elektromagnetites [6].



Joonis 2.9. Pöörisvoolu dünamomeeter

Pöörisvoolu dünamomeetri eelised on [6]:

- 1) kõrge pidurdusjõud dünamomeetri ühe kaaluühiku kohta;
- 2) kõrgeim konstantse võimsuse ja kiiruse vahe;
- 3) ergutusvälja tase on alla 1 % kogu võimsusest mida dünamomeeter kasutab, seega on seda lihtne juhtida ja programmeerida;
- 4) pöörisvoolude tekkimine on sujuv, seega pöördemoment on kõikide tingimuste juures alati sujuv;
- 5) suhteliselt kõrge pöördemoment madalate kiiruste juures;
- 6) puuduvad keerukad pöörlevad osad, on ainult võlli laagrid;
- 7) puuduvad piirangud suurusele, saab igas suuruse mootorile ehitada.

2.4.5. Alalis- ja vahelduvvoolu dünamomeeter

Alalisvoolu dünamomeetri näol on tegu alalisvoolu mootoriga ja vahelduvvoolu dünamomeetri korral vahelduvvoolu mootoriga, mis on asetatud laagripukkidele. Dünamomeetrile valmistatud alalisvoolumootor on kujutatud joonisel 2.10. Mõlemal juhul töötab mootor pidurdamise ajal generaatorina ning saadav elektrienergia juhitakse koormusreostaati või välisesse vooluvõrku. Pöördemoment tekib rootori ja staatori vahelise magnetvälja tõttu. Pöördemomendi mõõtmiseks kasutatakse pendelsüsteemi. Kuna mootori kere on kinnitatud laagritele, võimaldab see teatavat liikumist ümber oma telje. Kere on hoovaga ühendatud kaalumehhanismiga. Kaalumehhanism mõõdab elektromagneetilise ja laagrites tekkiva hõõrdejõu summaarset momenti. Pidurdusmoment tekib staatoris ergutusvoolu tõttu tekitatud takistavast magnetväljast. Mootori koormamine toimub sagedusmuunduriga, mis muudab voolutugevust, millega takistav magnetväli on tekitatud [6].



Joonis 2.10. Alalisvoolumootor dünamomeetrile [7]

Stendi parimad omadused on stabiilne kontrollmehhanism ja kiire allumine kontrollmehhanismile, mis võimaldab imiteerida erinevaid tingimuste muutusi, nagu kiirendus või käiguvahetus. Vahelduvvoolu dünamomeetril on väga suur pöörete taluvus ja väga väike inerts. Alalisvoolu dünamomeeter on suurema inertsiga ja ei kannata nii suuri

pöörlemiskiirusi kui vahelduvvoolu dünamomeeter. Tehnoloogiliselt on alalis- ja vahelduvvoolu dünamomeetritel, võrreldes kõigi teiste dünamomeetritega, kõige keerukam elektrisüsteem ja seega on need dünamomeetrid ühed kallimad [6].

Alalis- ja vahelduvvoolu dünamomeetreid saab kasutada ka mootorina. Selliseid seadmeid saab kasutada näiteks mootorite külmsissetöötamiseks ja käivitamiseks. Külmsissetöötamine toimub madalatel pööretel ($500 - 700 \text{ min}^{-1}$) ja kestab lühiajaliselt (3 – 5 min). Selle ajaga veendutakse, kas mootor on korrektselt komplekteeritud ja kõik detailid õigesti paigaldatud. Külmsissetöötamise teine eesmärk on lekete tuvastamine enne mootori võimsuslike katsetusi [4].

2.4.6. Inertsdünamomeeter

Inertsdünamomeeter erineb kõigist eelpool kirjeldatud dünamomeetritest oma tööpõhimõttelt täielikult. Antud juhul ei mõõdeta koormusandurile langevat pidurdusjõudu. Inertsdünamomeetri aluseks on inertsiaalne mass ehk lihtsustatult hooratas, mida käitab katsetatav mootor. Mootorsaele ehitatud inertsdünamomeeter on kujutatud joonisel 2.11. Hooratta projekteerimine on antud dünamomeetri ehitamise juures kõige olulisem etapp. Hooratas peab olema piisavalt väikese inertsimomendiga, et katse käigus ei esineks mootoris liigse koormuse tagajärjel ülekuumenemist ja detonatsioone. Samas peab inertsimoment olema nii suur, et tagada katsetatavale mootorile piisav kiirendusaeg. Kui mootor saavutab maksimaalse kiiruse liiga kiiresti, hakkavad mootori enda detailide inertsimomendid mõõtetulemusi liigselt mõjutama. Mõistlikuks kiirendusajaks peetakse kümnet sekundit. Lisaks hoorattale tuleb arvutada ka teiste pöörlevate stendi komponentide inertsimomendid ning ka neid katses arvestada. Hooratta massi ja diameetri arvutustel tuleb lähtuda katsetatava mootori võimsusest, et leida mootorile sobivaim lahendus [8].



Joonis 2.11. Inertsdünamomeeter mootorsaele [9]

Katsetatava mootori pöördemoment ja võimsus leitakse arvutuslikult. Ainsad mõõdetavad parameetrid on hooratta pöörlemisagedus ja pöörlemisaeg. Hooratta pöördemoment on alati konstantne ning see on arvutatav hooratta massi ja diameetri baasil. Kui mõõta hooratta pöörlemiskiirust teatud ajaintervalliga, on võimalik arvutada igas ajapunktis katseseadme hooratta nurkkiirus. Nurkkiirustele saab aga inertsmomenti kasutades leida vastava võimsuse, mis on antud ajahetkel hoorattale rakendatud. Võimsuse muutus kahe ajahetke vahel on pöördemomendi arvutamise aluseks. Kõik need arvutused on võimalik reaalajas teostada anduritega ühendatud arvutiprogrammi abil [8].

Inertsdünamomeetri ehitamine on kõige lihtsam ja odavam lahendus, et katselisel teel leida mootori pöördemomenti ja võimsust. Samuti on mootori tüübile sobiva hooratta leidmiseks olemas arvutipõhised kalkulaatorid, mis hõlbustavad katseseadmele sobivate komponentide leidmist. Inertsdünamomeetri puuduseks on, et seda ei saa kasutada kestuskatsete läbiviimiseks, kus on mootori koormamine vajalik pikema ajalise perioodi vältel. Analüüsida ei ole võimalik kütusekulu ja heitgaaside muutumist erinevatel koormusrežiimidel. Mootori detailide kulumise hindamiseks on samuti vajalikud pikema vältusega katsed.

2.5. Bioetanool kütusena

2.5.1. Etanooli kasutamine mootorikütusena

Hetkel kasutatakse etanooli sädesüütega mootorites seguna koos bensiiniga. Levinumad segud etanoolist ja bensiinist on E10 ja E85, kuid kasutusel on ka teisi segusid. Sellise küttesegu tähistamise juures näitab number, mitu protsenti kütusesegust moodustab bensiin, ülejäänud osa on etanool. Puhta etanooli kasutamiseks sädesüütega mootoris on vajalik kasutusele võtta teatavaid modifikatsioone. Etanooli ja bensiini segude kasutamine aitab vältida olukorda, kus tuleks hakata mootoreid ümber ehitama. Segu kasutamine võib raskendada külmkäivitust, kuid parandab detonatsiooni kindlust [10].

Katsed on näidanud, et etanooli ja bensiini segude kasutamisel on mootori pöördemoment samas pöörete vahemikus suurem, kui tavalise bensiini kasutamisel. Kuigi etanooli lisamine bensiinile vähendab kütuse kütteväärtust, on saavutatud pöördemomendi ja võimsuse kasv. See tulemus on selgitatav mitmel põhjusel. Etanool on hapnikuga rikastatud kütus, mis võimaldab rohkem täielikku kütuse põlemist ja seega pöördemomendi kasvu. Kuna etanooli tihedus on suurem kui bensiinil, jõuab ühe ajaühiku kohta mootorisse suurem kogus kütust, mis samuti põhjendab pöördemomendi ja võimsuse kasvu. Kütusesegu aurustub kõrgemal temperatuuril kui bensiin, mille tulemusena on sisselaskekollektoris temperatuur madalam ja saavutatakse siseneva kütuse koguses suurenemine. Bensiini ja etanooli füüsikalised ning keemilised omadused on võrdluseks välja toodud tabelis 2.2. Türgis, Gazi ülikoolis läbiviidud katsete käigus on saadud tulemusi kus etanooli ja bensiini segudega E50 ja E85 on saavutatud kuni 2,8% pöördemomendi kasv võrreldes tavalise bensiiniga [10, 11].

Tabel 2.2. Bensiini ja etanooli füüsikalised ja keemilised omadused [10, 12]

| Kütuse omadus | Bensiin | Etanool |
|----------------------------------------------------|----------------|-------------|
| Valem | $C_4 - C_{12}$ | C_2H_5OH |
| Süsinik | 85 - 88 | 52,2 |
| Vesinik | 12 - 15 | 13,1 |
| Hapnik | 0 - 4 | 34,7 |
| Tihedus kg/l 15 °C | 0,69 – 0,79 | 0,79 – 0,82 |
| Aurumissoojus | 349 | 923 |
| Kütteväärtus MJ/l | 30 - 33 | 21,1 |
| Stõhhiomeetriline õhk/kütus suhe kg õhku/kg kütust | 14,7 | 9 |
| Uurimuslikult määratud oktaanarv | 88 - 100 | 108 – 120 |
| Mootormeetodil määratud oktaanarv | 80 - 90 | 89 - 102 |
| Värvus | Kollane | Värvuseta |

Etanooli kasutamisel suureneb kütuse erikulu, sest etanooli kütteväärtus on 35 % madalam kui bensiinil. Kütusekulu suurenemine on sõltuvuses kasutatavas kütusesegus olevast etanooli hulgast. Näiteks on Türgi Gazi ülikoolis läbiviidud katsete tulemusena leitud, et mootoril surveastmega 10:1 suurenes kütuste E50 ja E85 kasutamisel kütuse erikulu vastavalt 20,3 % ja 45,6 % võrreldes E0 ehk bensiiniga. Samuti täheldati kütuse erikulu sõltuvust mootori surveastmest, sest surveastme 11:1 juures olid kütuse erikulu näitajad kasvanud E50 ja E85 kasutamisel vastavalt 16,1 % ja 36,4 % võrreldes bensiiniga [10].

Sarnased tulemused kütusekulu kasvu kohta on saadud ka Eesti Maaülikooli laboris katsetatud Audi A4 ADR mootoriga. Katse tulemused on toodud tabelis 2.3, kus on kirjas kütuse erikulu kasv võrreldes bensiiniga. Analüüsi ka mootori efektiivkasutegurit ning parema tulemuse bensiinist andsid kütuse E85 (105 %), E50 (102,8 %) ja etanooli (101,1 %) kasutamine. Tulemuseks võib väita, et mõistlik on kasutada suure etanoolisisaldusega küttesegusid, sest katsed näitavad et nendega paranevad mootori võimsus ja ökonoomsus [12].

Tabel 2.3. Keskmise kütuse erikulu kasv [12]

| Kütus | Erikulu kasv |
|---------|--------------|
| E15 | 27,6 % |
| E30 | 22,6 % |
| E50 | 17,7 % |
| E85 | 39,9 % |
| etanool | 63,1 % |

Etanooli on lihtsam kasutada elektroonilise sissepritsega toitesüsteemi kasutatavates mootorites. Sellisel juhul ei pea hakkama toitesüsteemi ennast ümber ehitama, vaid tuleb täiustada toiteseadmeid juhtivat elektrilist süsteemi, lisades sinna programmeeritava lisaseadme, mis suudab kütusesegu muuta vastavalt etanoolkütuse kasutamiseks. Küttesegu reguleerimine käib vastavalt lambda (hapniku) anduriga heitgaasidest mõõdetud andmetele ja seade arvutab igal ajahetkel sobiva kütusekoguse küttesegu moodustamiseks ja juhib täiturseadmete tööd [12].

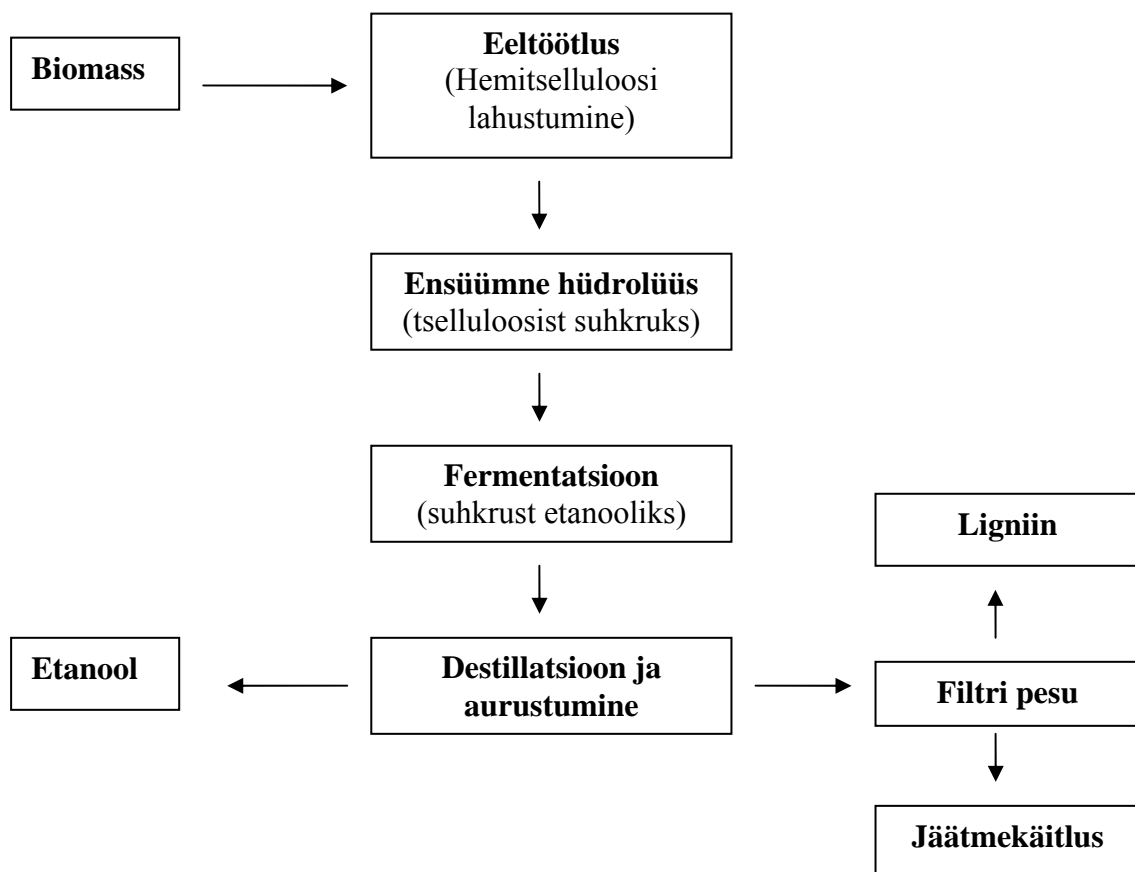
Kahetaktiliste mootorite toitesüsteemides toimuvad kiired arengud. Sthil on juba välja töötanud esimese elektroonilise juhtimisega kütuse sissepritse süsteemi kahetaktilisele mootorile. Toitesüsteemi töö on programmeeritav arvutiga. Ülimalt oluline on jätkata selliste toitesüsteemide arendamist, et leida paremaid võimalusi etanooli kasutamiseks kahetaktilistes mootorites. Tuleviku elektrooniliselt juhitud toitesüsteem võiks olla hõlpsasti programmeeritav vastavalt kütusele, mida parasjagu kasutatakse, olgu selleks siis bensiini- või etanooli kütusesegu.

2.5.2. Bioetanool

Taastuvatest varadest toodetavad biokütused jagunevad üldiselt oma tootmistehnoloogiate alusel. Eesti Maaülikoolis on tegeletud esimese, kuid peamiselt siiski teise generatsiooni biokütuste uurimisega. Esimese generatsiooni biokütused on valmistatud taimsest toorainest, mis sisaldavad suures mahus õli või suhkrut. Sellest toorainest kütuse tootmine ei ole majanduslikult kõige otstarbekam, sest seda toorainet saab kasutada toiduks. Teise generatsiooni biokütused on valmistatud orgaanilistest ainetest nagu õled, puidu ülejäägid,

põllumajanduslikud ülejäägid ja vetikad. Need on kõik taastuvad ressursid, mis on oma keemilistesse sidemetesse salvestanud päikese energiat [13].

Peamiseks probleemiks biomassist bioetanooli tootmisel on tselluloosse biomassi struktuurne ja keemiline algosadeks lõhkumine. Ensüümide abil hüdrolüüsitakse tselluloosist biomassist välja suhkur. Ensüümide kasutamine on väga hea tootlikkusega ja protsessi käigus eraldub minimaalselt jääkaineid. Ensüümide kasutamine on ka loodussõbralikum ja väiksema energiamahuga. Järgmise protsessina leiab aset fermentatsioon, mille käigus toimub suhkru muutumine etanooliks ning peale destillatsiooni protsessi eraldub etanool. Etanooli tootmise protsessi erinevad etapid on välja toodud joonisel 2.11 plokk skeemina [13].



Joonis 2.11. Etanooli tootmine biomassist

Bioetanooli tootmine on ülemaailmselt kasvav trend. Kasvavate tootmismahude juures tuleb kütusele tagada kindel kvaliteet. Mootorikütusena kasutatava bioetanooli

kvaliteedinõuded on oluliselt rangemad kui joogipiiritusel. Mootorikütuseks toodetud etanool peab vastama Euroopa standardile EN15376 Bioetanool. Bioetanooli kvaliteedinõuded on esitatud tabelis 2.4 [14].

Tabel 2.4. Euroopa standard EN15376 bioetanoolile [14]

| Näitajad | Nõuded |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Etanooli sisaldus | 99,41 % |
| Metanooli sisaldus | 0,2 % |
| Lahustiga väljapestav vaik | 1,0 mg/100ml |
| Veesisaldus | 0,18 % |
| Anorgaaniliste kloriidide sisaldus | 10 mg/l |
| Vase sisaldus | 0,004 mg/kg |
| Happesus | 0,001 CH ₃ COOH mg/l |
| pH | 6,7 |
| Välisilme | Selge ja hele |
| Tihedus 20 °C | 0,790 kg/l |

Praegusel ajahetkel on bioetanooli tootmine väikesemahuline ja kulukas tegevus. Leian, et Euroopa Liit ja Eesti riik peaksid suunama rohkem rahalisi vahendeid just teise põlvkonna bioetanooli tootmise arendamisse. Vajalikud oleksid suuremate tootmismahudega tehased, mis suudaksid kasutada Eestis leiduvat toorainet. Tooraine puudust Eestis ei ole, sest põllumajanduses ja metsanduses tekkivaid jäätmeid ei kasutata ja need lihtsalt kõdunevad. Suuremate tootmismahude korral kasvab ka nõudlus seadmetele, mis töötavad bioetanoolil, või siis mootori toitesüsteemidele, millega on võimalik bioetanooli tavalistes bensiinimootorites kasutada.

2.5.3. Bioetanool kahetaktilise mootori kütusena

Maaülikooli mootorilaboris on läbi viidud esimesed katsetused ka bioetanooli kasutamiseks kahetaktilistes sisepõlemismootorites. Katsetes kasutati teise põlvkonna bioetanooli mida, valmistatakse puidu- ja põllumajandusjääkidest tekkivast biomassist. Bioetanooli kasutamist kahetaktilistes mootorites takistavad bioetanooli füüsikalised-keemilised

omadused. Kahetaktilises mootoris kasutatav bioetanool peab olema vee vaba ja segunema õliga. Kahetaktilise mootori kütus peab olema väga heade määrimisomadustega, et tagada väntvõlli laagrite ja kolvigrupi töö ning vastupidavus. Maaülikooli mootorilaboris on suudetud valmis segada küttesegu bioetanoolist ja õlist, mis on sobilik kasutamiseks kahetaktilises mootoris ning seda on ka katsetatud [15].

Bioetanooli ja õli segu kasutamine kahetaktilises mootoris nõuab mootoril toitesüsteemi modifitseerimist. Kuna bioetanooli kütteväärtus on väiksem kui tavalisel bensiinil, tuleb teha karburaatori düüsi avasid suuremaks, et rohkem kütust jõuaks mootorisse. Tavaseadistuses karburaator teeb kütusesegu liiga rikka ja sellest tingituna on heitgaasides täheldatud liigset kogust hapniku jääke, mis tuleneb liigse NO_x-de osakaalu tekkest. Katsest selgus, et bioetanooliga töötamiseks seadistamata karburaatoriga mootor toodab rohkem mürgiseid heitgaase, kui sama seadistusega bensiinil töötav mootor. Peale karburaatori reguleerimist saavutati soovitud tulemus ja heitgaaside näitajad muutusid paremaks kui bensiini kasutamisel [15].

Kütusesegu määrimisomaduste hindamiseks mõõdeti enne ja pärast katseid järgnevaid kuluv detaile: silindripinnad, kolvirõngad, kolvisõrm, kepsu kaela ava ja väntvõlli laagrid. Mõõtmiste käigus tuvastati minimaalselt kulumisjälgi bioetanooli kasutamisel võrreldes bensiiniga. Samas oli bioetanool põlenud puhtamalt ja silindripinnale polnud ladestunud põlemisest jääkaineid [15].

2.6 Heitgaasid

Paratamatus on, et sisepõlemismootorite kasutamisel tekivad kütuse põletamisest heitgaasid. Heitgaaside koostis sõltub sellest, millist kütust kasutatakse, kas kasutatakse kütuselisandeid ja milline on mootori töörežiim. Peamised heitgaaside komponendid on loetletud koos tekkepõhjustega tabelis 2.4. Tänapäeval tegelevad kõik mootoritootjad mootorite toite- ja väljalaskesüsteemide täiustamisega, et vähendada keskkonda paiskuvate kahjulike heitgaaside hulka. Levinumad meetodid puhtamate heitgaaside saavutamisel on katalüsaatorite kasutamine, mootoritele paigaldatud gaaside tagastussüsteem EGR ja AdBlue hapete kasutamine kahjulike ainete neutraliseerimiseks. Arendustööle aitavad kaasa ka arenenud riikides kehtestatud karmid keskkonnanõuded.

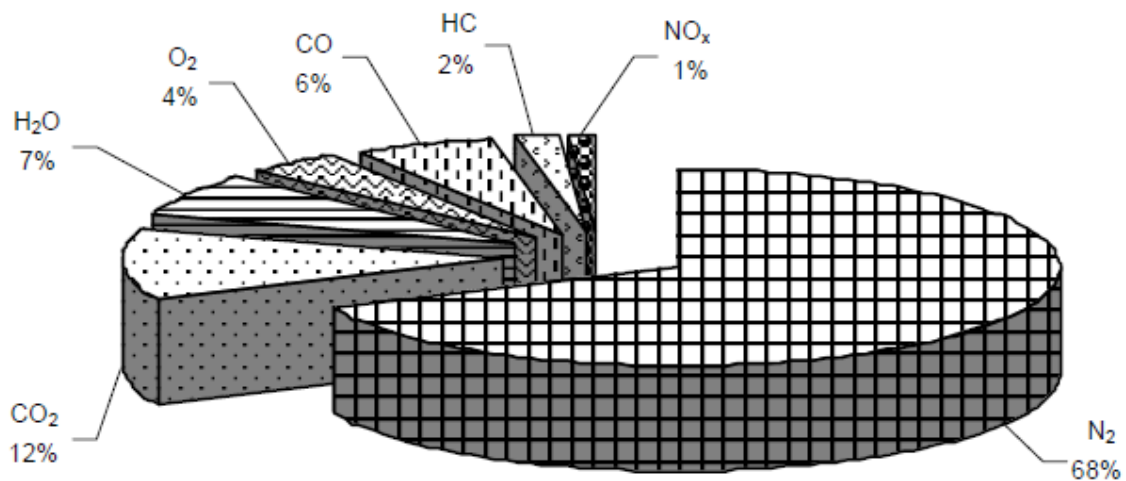
Tabel 2.4. Heitgaaside komponendid ja tekkepõhjus [16, 17]

| Heitgaasi komponent | Heitgaasi komponendi tekkepõhjus. | Iseloomustus |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Hapnik - O ₂ | Põlemisel kasutamata jäänud hapnik. | Kahjutu |
| Lämmastik - N ₂ | Õhu lämmastikku põlemisprotsessis praktiliselt ei kulu. | Kahjutu |
| Süsihappegaas - CO ₂ | Kütuses oleva süsiniku täielikust põlemisest. | Kahjutu inimesele, kahjulik kliima soojenemisele |
| Vesi - H ₂ O | Kütuses oleva vesiniku täielikust põlemisest. | Kahjutu |
| Süsinikmonooksiid (vingugaas) - CO | Kütuses oleva süsiniku ebatäielikust põlemisest. | Mürgine |
| Süsivesinikud - HC | Põlemata kütuseosakesed, liiga rikas kütusesegu, vale süütehelt. | Kahjulik - kantserogeenne |
| Lämmastikoksiidid - NO _x | Lämmastiku ühinemisest hapnikuga põlemisprotsessi kõrge temperatuuri toimetel. | Mürgine |
| Vääveloksiidi - SO _x | Kütuses leiduva väävli põlemisest. | Kahjulik – happevihmade teke |
| Süsinik - C | Põlemata süsinikuosakesed (tahm), liiga rikas kütusesegu. | Kahjulik - kantserogeenne |
| Plii - Pb | Vanemates bensiinides kasutati oktaanarvu tõstmiseks. | Väga mürgine |

2.6.1 Kahetaktiliste mootorite heitgaasid

Mootorsaagide mootoritel on kindlad puudused, millega tuleb arvestada. Esiteks on mootoritel madal soojusefektiivsus ja kõrge ohtlike süsivesinike emissioonitase. See on põhjustatud põlemata õhu ja kütuse segu väljumisest põlemiskambrist läbi väljalaske-süsteemi. Nii kujutab mootorsaag ka ohtu kasutajale, kes heitgaase sisse hingab [18].

Heitgaasid on vältimatu osa mootorsae kasutamise juures. Gaasid jagunevad kahte rühma: mürgised- ja mittemürgised gaasid (tabelis 2.4). Ohutud gaasid on lämmastik (N_2), hapnik (O_2), süsinikdioksiid (CO_2) ja veeaur (H_2O). Kahjulikud gaasid on vingugaas (CO), vääveldioksiid (SO_2) ja teised väävliühendid, mis on osaks vesiniksulfiididele (H_2S). Kasutades kõrgekvaliteedilisi väävlivabu kütuseid, ei teki heitgaaside hulka ka vesiniksulfiide ning keskpärane heitgaaside koosseis näeks välja nagu on kujutatud joonisel 2.12. [18].



Joonis 2.12. Kahetaktilise mootorsae heitgaasi komponentide jagunemine [18]

Ohutute gaaside osakaal kahetaktilise mootori heitgaasides küündib kuni 90%. Hoolimata sellest on mürgised ühendid, mis hõivavad ülejäänud 10%: eeskätt vingugaas ($CO - 6\%$), põlemata süsivesinikud ($HC - 2\%$) ja lämmastikoksiidid ($NO_x - 1\%$), mis kujutavad endast nii ökoloogilist kui ka ergonoomilist probleemi [14].

Väljutatavate heitgaaside hulk ei sõltu niivõrd palju mootorsae kahetaktilise mootori töömahust, kui operaatori poolt kasutatavatest töövõtetest ja tema oskustest. Sae

kasutamisel peab mootori pöördeid hoida ühtlasel tasemel, nii tagatakse madalaim väljutatav hulk mürgiseid heitgaaside. Tühikäigul töötav mootor toob esile märgatavalt suurema süsivesinike emissiooni, kui seda on teiste tööoperatsioonide ajal. Kui karburaatorit seadistada ja lasta suurem kogus hapniku küttesegusse, toob see endaga kaasa mürgise vingugaasi vähenemise heitgaaside hulgas. Seega tuleb alati jälgida, et mootori õhufilter oleks puhas [18].

2.6.2 Heitgaasid bioetanooli kasutamisel

Kasutades bensiini ja etanooli segu on võimalik vähendada märkimisväärselt vingugaasi (CO) ja süsivesinike (CH) hulka heitgaasides ja seda vastavalt 46,5 % ja 24,3 % ning kõigi mootori kiiruste juures. Vingugaasi kogus on kõige rohkem sõltuv õhu ja kütuse vahekorra kütteseguse. Teisalt aga kasvab süsinikdioksiidi hulk ja seda 7,5 %. Süsinikdioksiidi osakaalu tõus on tingitud etanooli hapnikusisaldusest [11].

Lämmastikoksiidide (NO_x) kogus on paljudest teguritest sõltuv. Üldiselt on etanooli aurustumise temperatuur kõrgem ja selle tagajärjel on põlemistemperatuur madalam ning samuti ka lämmastikoksiidi emissioon. Seega on lämmastikoksiidide hulk otseses sõltuvuses sellest, kui palju on bensiini ja etanooli segus etanooli. Lämmastikoksiidide hulka tõstab ka liigne hapniku hulk põlemiskambris [10].

2.6.3 Heitgaaside mõju inimese tervisele

Heitgaasid mootorsae kahetaktilisest mootorist sisaldavad suurel hulgal mürgiseid ühendeid mis on terviseriskid inimesele. Mõned komponendid on potentsiaalsed mutageenid ja on arvestatavad kui kantserogeenid. Veel on hingamisteid ärritavad ja kesknärvisüsteemi rahustavad mürgised gaasid. Samuti põhjustavad heitgaasid peavalu, uimasust ja köha, ning seda rohkem igapäevastel mootorsae kasutajatel, on selgunud tööliste tehtud uuringu põhjal [19].

Metsatööl on palju erinevaid võimalusi, kuidas tööline saab mõjutatud heitgaasidest. Suhteliselt avatud töökeskkonnas, kus on pidev õhu liikumine, võib keskkonna mürgiste heitgaaside sisaldus olla piisavalt madal, et jääb ainult väga väike terviserisk või see

puudub täielikult. Teisalt aga tihedas võsas ja olematu õhuliikumise tagajärjel võivad heitgaasid kahjustada tervist ja isegi kesknärvisüsteemi. Töölised, kes kasutavad mootorsaagi või võsalõikurit, on ohustatud kõige enam benseeni ja 1,3 butadieeni poolt, mis on tuntud inimese jaoks kantserogeensete kemikaalidena. Sellist klassifikatsiooni omavad vähesed kemikaalid. Vingugaas ja neurotoksilised süsivesinikud võivad töölisele põhjustada süstemaatilist mürgistust ja seeläbi halvendavad inimese töövõimet ning risk on ka tööohutuse seisukohalt [20].

Poolas on tööjõu ja sotsiaalministri määrusega fikseeritud lubatud kahjulike mürgiste komponentide kogus, mis võib jõuda tööliseni. Määruse järgi on heitgaasidele töötaja töökeskkonnas seatud järgmised piirangud [18]:

- a) Vingugaas (CO) – 30 mg/m³
- b) Lämmastikoksiidid (NO_x) – 5 mg/m³
- c) Vääveldioksiid (SO₂) – 2 mg/m³
- d) Süsivesinikud (HC) – 100 mg/m³

2.6.4. Direktiivid

Euroopa Liidus on vastu võetud mitmeid olulisi direktiive, määramaks liidu edasist keskkonna ja kliima muutuste vastast tegevust. Peamiseks probleemiks on õhku paisatavate kasvuhoonegaaside vähendamine. Seda tehakse piirangute seadmisega kasvuhoonegaase tekitavatele faktoritele. Direktiividest olulisem on 2008. aastal vastu võetud Euroopa Liidu kliima- ja energiapakett. Kliimapaketi eesmärgid aastaks 2020 on [21]:

1. vähendada energiatarbimist 20 %;
2. vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni 20 %;
3. suurendada taastuvenergia osakaalu energiatarbimises 20 %-ni;
4. suurendada Euroopa Liidus transpordis kasutatavates kütustes biokütuse osakaalu 10 %-ni.

Kliimapakett hõlmab ka kütusekvaliteeti kontrollivat direktiivi (*fuel quality directive*). Kvaliteeti hinnatakse kütuse tootmisel kui ka põlemisel tekkivate kasvuhoonegaaside järgi. Seega on kindlasti kvaliteedi poolest eelistatud alternatiivsed kütused nagu bioetanol, mis on säästlikumalt toodetud.

Üha karmistuvad regulatsioonid energiatootmises võitlemiseks kliima muutuste vastu on põhjuseks alternatiivsete kütuste uurimiseks, arendamiseks ja tootmiseks. Samuti peavad tööstused välja töötama ja täiustama seadmeid, et oleks võimalik taastuvatest ressurssidest toodetud kütuseid kasutada. Antud töös projekteeritav katsestend on samuti üks osa nii bioetanooli kasutamise võimaluste laiendamisest, kui ka mootorite toitesüsteemide arendamisest.

3. KATSESTENDI DÜNAMOMEETER

Dünamomeetri lahendusi on väga palju, lihtsamad neist ei sobi enam kaasaegsele katseseadmele ja samas kaasaegsed dünamomeetrid on juba keeruka ülesehitusega. Dünamomeetri peamine tööorgan on pidur. Katsetatavale mootorile koormuse tekitamiseks tuleb pidur ühendada mootori väljundvõlliga, mis käitab pidurdatavat võlli. Antud töö eesmärk on ehitada töötav ja kvaliteetne katsestend võimalikult soodsalt. Just rahalistel kaalutlustel on valitud dünamomeetri piduriks traktorite hüdroosüsteemides kasutatav hammasrataspump. Selline hüdrauliline lahendus ei ole levinud ja analoogsete lahenduste kohta kättesaadavat informatsiooni ei leidunud. Samuti puudub sellisel katsestendil keeruline elektroonika.

3.1. Pumba valik

Hüdraulikapumba valikul tuleb esmalt jälgida pumba tootlikkust. Suurema tootlikkusega pumba käitamine nõuab suuremat võimsust. Liiga suure töömahuga pumba kasutamisel võib suur osakaal mootorsae võimsusest kuluda pumba käitamisele ja pumba koormuse diapason jääb kitsaks. Seega on valitud pump, mille koormuseta käitamine nõuab minimaalselt võimsust mootorilt, kuid töörežiimis on võimsam kui katsetatav mootor. Suurem võimsus katsetatavast mootorist on oluline, et saada korrektsed mõõtmistulemused mootori kogu väljundvõimsuse ulatuses. Kui pidurdav seade on nõrgem katsetatavast mootorist, rikub see dünamomeetri piduri.

Kuigi turul on parema kasuteguriga hüdraulilisi pumпасid, sai valiku tegemisel määravaks pumba maksumus. Dünamomeetri piduriks on valitud antudjuhul Ukrainas valmistatud hammasrataspump *HIII10Y - 3*. Müügil olevatest analoogsete parameetritega lääne päritolu pumpadest on *HIII10Y - 3* hinna erinevus suurusjärgult kümnekordne. Selle pumba maksimaalne käitamiseks lubatav pöörlemissagedus 3600 min^{-1} on sobilik, et saaks kasutada mõistliku ülekandearvuga kettülekanne pumba käitamiseks. Pumba *HIII10Y - 3* tehnilised andmed on esitatud tabelis 3.1. Antud pump on väga levinud nõukogude päritolu tehnikal ning on peamiselt kasutusel väiketraktorite hüdroosüsteemides, kuid ka suurematel autodel ja traktoritel roolisüsteemi hüdrauliliseks käitamiseks. Hammasratas pumba

eeliseks on ka kompaktsus, tegu on kerge ja väikeste mõõtmetega pumbaga, mis soodustab kompaktse katseseadme ehitamist.

Tabel 3.1. Hammasrataspump HIII10Y -3 tehnilised andmed [22]

| Parameeter | Väärtus |
|--------------------------------------------------|--------------------------|
| Mudel | HIII10Y -3 |
| Töömaht, V | 10 cm ³ |
| Tootlikkus | 0,22 l/s |
| Nominaalne pöörlemissagedus, n | 2400 min ⁻¹ |
| Minimaalne pöörlemissagedus, n _{min} | 500 min ⁻¹ |
| Maksimaalne pöörlemissagedus, n _{max} | 3600 min ⁻¹ |
| Nominaalne tööõhk, P | 16 MPa |
| Maksimaalne tööõhk, P _{max} | 21 MPa |
| Maksimaalne lühiajaline tööõhk, P _{max} | 25 MPa |
| Kasutegur, η | 0,85 |
| Optimaalne töövedeliku viskoossus | 55-70 mm ² /s |
| Optimaalne töövedeliku temperatuur | 0 – 80 °C |
| Maksimaalne võimsus | 8,6 kW |
| Kaal | 2,7 kg |

Pumba valiku oluline kriteerium on ka pumba sisendvõlli pöörlemissuund. Tavaliselt jagunevad hüdropumbad võlli pöörlemisuuna alusel kas parema- või vasakukäelisteks. Projekteeritavale dünamomeetrile on vajalik paigaldada parempoolse pöörlemissuunaga hüdropump lähtuvalt pumba asetsemisest kettülekande suhtes. Võimalik on ka kasutada vasakpoolse pöörlemissuunaga pumpa, kui pump paigaldada veetava tähiku suhtes teisele küljele. Väljavalitud pumba *HIII10Y – 3* näol on tegemist pöörlemissuuna suhtes universaalse pumbaga, millele viitab ka markeeringus tähis U (*venekeeles - Y*). Hammasrataspump *HIII10Y – 3* on kujutatud joonisel 3.1. Pumba sisendvõlli pöörlemissuunda saab muuta pumba vedava ja veetava võlli ning nende pukside omavahelise asukohtade vahetamise teel. Selleks pööratakse pumba kaant 180° ümber oma telje [23].



Joonis 3.1. hammasrataspump HIII10Y -3

Pumba *HIII10Y – 3* sisendvõlle on kahte tüüpi – nelja ja kuue nuudiga. Konkreetse pumba võll on nelja nuudiga. Kaubanduses on saadaval pumba ülekandega ühendamiseks sobiva nuudiga ühendusmuhv, mis on joonisel 3.2. Muhv on ajalise kokkuhoiu mõttes kasulikum soetada kaubandusest ja käitava ülekande võllile paigaldada istu ja keevisliitega. Vedavale võllile sellise nuudi sisse freesimine on väga keerukas.

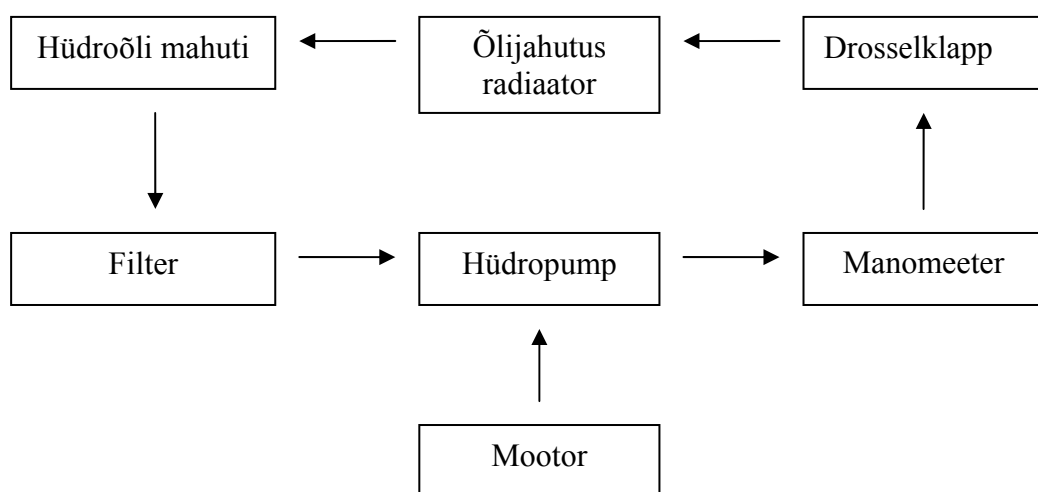


Joonis 3.2. Pumba ühendusmuhv

3.2. Hüdrosüsteem

Hüdraulikapumba koormamiseks on vaja terviklikku hüdrosüsteemi. Lihtsustatult kujutab see endast hüdroõli ringvoolu, mille tekitab mootoriga käitav hüdropump. Tavalisel hüdroajamil on eesmärk käitada mõnda hüdraulilist seadet nagu hüdropump või –silinder. Antud süsteemis aga hüdrauliliselt käitatavad seadmed puuduvad. Pumbale tekitatakse koormust drosselklapiga, mis takistab vaba hüdroõli ringvoolu ning tõstab pumba väljundsurvet. Selle tulemusena suureneb pumba käitamiseks vajalik võimsus, mille antud katsestendil peab edastama katsetatav mootor. Seega piisab mootori koormamiseks ainult drosselklapist.

Hüdrosüsteemi juurde kuuluvad veel teatud kindlad elemendid. Hüdroõli mahuti piisava hüdroõli kogusega, tagamaks pumbale piisav pealevool. Õlifilter on vajalik, et eemaldada õlisse sattunud üleliigsed osakesed, kindlustamaks seadme pikemat tööiga. Pikemate kestuskatsete käigus tuleb vältida õli liigset kuumenemist, mis võib esile kutsuda pidurdusjõu muutusi, samuti on kõrge õli temperatuur kahjulik hüdrosüsteemi tihenditele. Õli temperatuuri hoidmise etteantud piirides tagab jahuti. Pumba töö kontrollimiseks on kasulik paigaldada hüdrosüsteemi ka manomeeter, mõõtmaks pumba väljundrõhku. Hüdrosüsteemi elementide omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse sobilikke hüdrovoolikuid. Hüdrosüsteemi skeem on toodud välja joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Hüdraulika skeem

3.2.1 Manomeeter

Manomeeter ühendatakse hüdrostsüsteemi, et mõõta pumbast väljuva õli rõhku. Manomeetri kasutamine ei mõjuta otseselt pidurdusseadme tööd, kuid on kasulik pumba töö hindamiseks. Katseseadmele on valitud Rootsi ettevõtte Hydroscand tootavalikusse kuuluv manomeeter sarjast 8360 [24]. Manomeetri jalg on keermestatud ja lihtsasti paigaldatav hüdrostsüsteemi kolmikliitmiku abil. Manomeeter koos kolmikliitmikuga on kujutatud joonisel 3.4. Manomeeter on valitud pumba maksimaalse väljundrõhu alusel. Pumba *HIII10V* – 3 maksimaalne väljundrõhk on 25 MPa. Maksimaalset rõhku pump sellel katsestendil kindlasti ei saavuta, sest keskmise võimsusklassi mootorsaed ei ole selle saavutamiseks piisavalt võimsad. Valitud manomeetri mõõtepiirkond on 0 kuni 25 Mpa, mis on täiesti sobilik katseseadmele.



Joonis 3.4. Manomeeter

Manomeeter asetatakse hüdraulilises jadas hüdropumba ja drosselklapi vahele. See on ainus piirkond hüdrostsüsteemis, kus saab mõõta pumba poolt arendatavat rõhku. Rõhu muutus kutsutakse esile drosselklapiga õliläbivoolu tõkestamise teel. Teoreetiliselt on võimalik mootori võimsust leida ka manomeetri näidu alusel, kui on teada hüdrostsüsteemi kogutakistus. Kuid selline arvutus ei ole nii täpne kui jõuõlaga pendeldünamomeetri näidust arvutatav võimsus.

3.2.2 Drosselklapp

Drosselklapp on tööpõhimõttelt kraan, mille siibri asendiga saab piirata vedeliku läbivoolu. Hüdroüsteemis on vajalik kasutada spetsiaalset drosselklappi. Tavalise kraani kasutamisel osutub probleemiks siibri asendi muutumine õli voolamise tõttu. Kui pumba pöörlemissagedus kasvab, liigub õli survele siiber paigast ja läbilaske ava suureneb. Sobilikul drosselklapil ei tohi asend muutuda muul moodusel kui kasutaja poolsele reguleerimisel. Katsestendil kasutatud drosselklapp on avaläbimõõduga 3/8" ning seda ava on võimalik täielikult klapiga sulgeda. Drosselklapi maksimaalne töö rõhk on 35 MPa. Klapp on pärit ettevõtte Hydroscand tootevalikust ja on kujutatud joonisel 3.5 [24].



Joonis 3.5. 3/8 mõõdus drosselklapp

3.2.3 Hüdraulikaõli jahuti

Töötamise käigus soojeneb hüdraulikaõli. Hüdraulikaõli soojenemine toob kaasa õli omaduste muutumise, soojenenud õli on vedelam ja pumba koormus väheneb. Kestuskatse läbiviimiseks kindlal koormusel on ülimalt vajalik, et hüdroõli omadused oleksid katse vältel võimalikult ühtlased. Selleks tuleb liigselt kuumenenud hüdraulikaõli jahutada. Tänapäeval on müügil spetsiaalsed õlijahutid, mis koosnevad radiaatorist ja sellele kinnitatud ventilaatorist, mis on käitav hüdro- või elektrimootoriga.

Katsestendile sobilik jahuti on Hiinas toodetud õlijahuti DCS – 10 – 12 TC140 ja jahuti tehnilised andmed on esitatud tabelis 3.2 ja seade on kujutatud joonisel 3.6.

Tabel 3.2. Hüdraulikaõli jahuti tehnilised andmed [25]

| Parameeter | Väärtus |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Mudel | DCS – 10 – 12 – TC140 |
| Materjal | Alumiinium |
| Maksimaalne õlirõhk | 25 MPa |
| Maksimaalne läbivool | 170 l/min |
| Maksimaalne õli temperatuur | 250 °C |
| Temperatuuri anduri töö temperatuur | 60 °C |
| Maksimaalne temperatuuri alandus | 25 °C |
| Jahutusventilaatori toitepinge | 12 V |
| Mass | 9 kg |
| Mõõtmed | 350 x 300 x 160 mm |
| Sisend- ja väljundava mõõt | 3/8“ |



Joonis 3.6 Õlijahuti DCS – 10 – 12 – TC140 [25]

Hüdraulikaõli jahuti DCS – 10 – 12 – TC140 on kaubanduses pakutavatest jahutitest väikseim, seda just mõõtmetelt ja läbivoolult. Antud jahuti on kordades suurema läbilaskevõimega, kui katseseadmele valitud hüdropumba tootlikkus. Seega ei ole võimalik, et valitud jahuti ei suudaks õli temperatuuri ühtlasena hoida. Jahuti ventilaatori

toitepinge on 12 volti, mis tõttu on jahuti käivitamiseks vaja spetsiaalset toiteplokki. Kõige mõistlikum lahendus on kasutada Eesti Maaülikoolis olevaid voolumuundureid, mis muudavad 220 voldise toitepinge seadmele sobivaks 12 voldiseks pingeks. Teine võimalus on kasutada tavalist akulaadijat, mis on mõeldud sõiduauto aku laadimiseks.

Temperatuuri aitab ühtlasena hoida temperatuuriandur, mis on ühendatud toitejuhtme külge. Toote markeeringus tähendab lühend TC140 (*temperature control 140 °F*) temperatuuri anduri olemasolu jahutil. Andur annab ventilaatorile toite, kui õli temperatuur tõuseb üle 60 °C (ehk 140 °F). Selline süsteem hoiab automaatselt õli temperatuuri maksimaalselt 60 °C juures.

3.2.4 Õlimahuti

Hüdraulikaõli mahuti projekteerimisel ei ole nõuded väga karmid. Peamine näitaja, millega tuleb arvestada, on õlimahuti ruumala. Mahutis peab olema piisavalt õli, et oleks pumba toiteavale tagatud pidev õli pealevool. Õli kogusest sõltub ka see, kui kiiresti õli hüdro süsteemis soojeneb, kuid õlijahutit kasutades ei ole vajadust sellele tähelepanu pöörata. Hüdroõli mahutit projekteerides või valides tuleks pöörata tähelepanu järgmistele teguritele:

1. puhas mahuti;
2. piisav kogus õli;
3. paagi sisene vahesein;
4. 1/2" mõõdus sisendava;
5. 1/2" mõõdus väljundava;
6. korgiga ava õli lisamiseks;
7. õhutusava olemasolu.

Kuna sobiva mahuti mahutavuse kohta pumba tootjapoolsed andmed puuduvad, on võetud mahuti kubatuuriks pumba *HIII10* kasutava traktori T-25 hüdroõlimahuti ruumala. Nii on mahuti minimaalne lubatav õli kogus 7,5 liitrit [23]. Mahutis peab olema ruumi ka õli soojuspaisumiseks ja õhuvahetuseks, et õlis tekkivad õhumullid saaksid eralduda õlist. Optimaalne õlimahuti ruumala peaks olema kümme liitrit.

Mahuti sisend- ja väljundava suurused on valitud vastavalt pumba pealevoolu vooliku jämedusele. Kindlasti ei tohi avasid kõrvuti paigutada. Pumba pealevool tuleb paigutada mahuti kõige alumisse serva, et õli ise voolaks pumba. Sisendava on mõistlik paigutada mahuti ülemisse osasse. Projekteerimisel tuleb mahuti sisemusse paigaldada vahesein, mis peataks pöörise tekkimise.

3.2.5 Hüdraulikaõli filter

Hüdraulikaõli puhtuse tagamiseks tuleb kasutada filtrit. Filter eemaldab õlist kõik tahked osakesed, mis sinna sattuda võivad nii seadme kulumise kui ka muude väliste tegurite mõjul. Projekteeritavale katsestendile on valitud filtrijalg ja madalsurve filter ettevõtte Hydroscand tootevalikust. Filter paigutatakse pumba pealevoolu voolikute vahele. Filtri tihedus on 10μ . Filtri lubatav töösurve on 1,2 MPa, kuid pealevoolu asetatuna ei teki filtrisse suuremat rõhku kui pumba imirõhk. Kasutatava filtri tööiga on 250 töötundi, peale mida tuleb filter uue vastu vahetada [24]. Õlifilter koos filtrijalaga on kujutatud joonisel 3.7.



Joonis 3.7. Pealevoolu filter

Filter on katsestendile hõlpsasti paigaldatav. Õlimahuti ja pumba vahele ühendamiseks on vaja hüdrovoolikuid läbimõõduga 1/2". Filtri kinnitamiseks katsestendile on filtrijas kaks M8 mõõdus keermestatud ava. Filter kinnitatakse pealtpoolt ja jääb rippasendisse.

3.2.6 Voolikud ja ühedusliitmikud

Hüdroüsteemi elementide omavaheliseks ühendamiseks kasutatakse teraspõimingu-tugevdusega kummivoolikuid Kappaflex 2K CO. Need voolikud taluvad rõhku kuni 38 MPa. Hüdraulikaõli paagist kuni pumbani on kasutusel voolikud läbimõõduga 1/2". Surve poolel pumbast kuni õlijahutini aga 3/8" läbimõõduga voolikud. 1/2" mõõdus voolikud on valitud selleks, et parandada õli pealevoolu pumbale.

Ühendusliitmikud ehk tutsid on valitud hüdrovoolikute ja komponentide keermetele sobivalt. Kõik kasutatavad hüdrovoolikud ja ühendusmuhvid on loetletud lisas A olevas ettevõtte Hydroscand poolt koostatud hinnapakumises.

Hüdropumba *HIII10V* – 3 külgedele paigaldatavad ühendusliitmikud on võimalik soetada kaubandusest. Ühendusliitmikud paigaldatakse M8 poltidega pumba korpusele ja on tihendatud rõngastihenditega. Ühendusliitmiku küljel on M20 keermega väljavõtted. Vastavalt tuleb paigaldada pumba sisend- ja väljundpoolele ühendusliitmikud keermelt M20 üleminek tollmõõtu keermele 1/2" ja M20 üleminek 3/8". Pumba korpusele ühendatud ühendusliitmikke koos sobivate üleminekutega on võimalik näha joonisel 3.1.

3.2.7 Kasutatav õli

Hüdraulikaõli valikul tuleb lähtuda millises keskkonnas ja milliste seadmete käitamiseks õli kasutatakse. Hüdraulikaõli peab olema väga taluv suurtele koormuse kõikumistele ja viskoossuse muutustele temperatuuri muutudes. Hüdraulikaõli tähtsamad omadused on:

1. oksüdatsiooni kindlus;
2. stabiilne viskoossus;
3. ei esine vahutamist;
4. hea õhueralduvus;
5. kulumiskindlus;
6. korrosioonivastased omadused;

7. hea vee-eraldus;
8. ei kahjusta tihendeid;
9. suur mahtelastsusmoodul.

Oluline on valida õige viskoossusega õli. Liiga vedelal õlil vähenevad määrimisomadused ja pump kulub kiiremini. Liiga suure viskoossusega õli kasutamine võib esile kutsuda kavitatsiooni. Kavitatsioon on vedeliku voolamispidevuse katkemine ja õlisse tekivad mullid. Mullidest tingitud rõhu langused ja tõusud tekitavad metalli pinnakihi pulseerivaid pingeid, mis põhjustavad metalli väsimist ja kulumist. Piisava määrimise garanteerimiseks peab õli olema piisavalt vedel käivitusmomendil ja viskoosne töötemperatuuril [26].

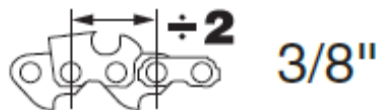
Hüdroüsteemis kasutamiseks kõige sobivam õli on AW 68. Lühend AW tähistab, et õli sisaldab kulumist vähendavaid (*anti wear*) aineid ning numbriga 68 on tähistatud õli viskoossus 40 °C juures. Õli on sobilik pumba tehnilistes andmetes antud viskoossus vahemikuga.

3.3. Kettülekanne

Jõuülekanne katsetatavalt mootorilt dünamomeetrile on lahendatud kettülekandega. Üldiselt ühendatakse katsetatavad mootorid dünamomeetriga hoorattast või väntvõllist, vajadusel kasutatakse ka sidurit. Mootorsaagi ei saa otse väntvõlliga pidurile ühendada, sest ka väikese koormusega koormatud mootorite käivitamine võib osutuda raskendatuks. Selle vältimiseks jääb kasutusele mootorsae inertssidur. Kettülekandega on lihtne muuta ülekannde arvu, mis on vajalik Stihl MS 260 ja hammasrataspump HIII10Y -3 omavahelisel ühendamisel. Erinevate mootorsaagide veotähikute sammud ja saeketid on sama tüüpi, seega tagab kettülekannde kasutamine katsestendi universaalsuse ja hõlbustab erinevate tootjate mootorsaagide paigaldamist katsestendi.

3.3.1 Veoketi valimine

Kettülekanne on ainus võimalus ilma mootorsaagi ümber ehitamata tekitada jõuülekanne dünamomeetri pidurdusseadme ja katsetatava mootori vahel. Mõõtmistulemuste töötlemisel tuleb kindlasti arvestada kettülekanne kasuteguriga, milleks on 0,98. Kettülekanne negatiivne tegur on ligikaudu 2 % võimsuse kadu. Standardne mootorsaagidel kasutatav saekett on piisava tugevusega, et seda ka katsestendil kasutada. Samuti annab see võimaluse kasutada kaubanduses pakutavaid veotähikuid, et tekitada vajaliku ülekandearvuga kettülekanne. Katseseadmele on valitud siiski mootorsae tootjaandmetes toodud võimalikest keti variantidest kõige tugevam kett. Saekettide tugevust määrab veohamba laius. Valitud keti veohamba laius on 0,058" ehk 1,5 mm. Kettide peamiseks erinevuseks, mida keti valimisel peab jälgima, on keti samm. Saeketi eripärast tulenevalt ei ole veo- ja lõikehamba neetimisevahed ühepikkused, mis tõttu on keti samm leitud kolme needi vahekauguse jagamisel kahega nagu on kujutatud joonisel 3.8. Ketisammu tähistatakse kaubanduses üldiselt toll mõõdus. Katseseadmele valitud sobilik kett on sammuga 3/8".



Joonis 3.8. Keti sammu leidmine [27]

Katseseadme turvalisemaks muutmiseks tuleb saeketi lõikehambad nüristada. Kõige lihtsam viis selleks on kasutada universaalset ketiterituspinki. Ketiterituspink tuleb seadistada nii, et käiaketas eemaldaks lõikehambalt terava serva. Protseduur on tehniliselt vähenõudev ja teostatav lühikese ajaga. Oluline on jälgida, et käiakettaga ei kahjustataks lõikehamba vedavat osa. Vastasel juhul on kett rikutud ja vigane lüli tuleb asendada uuega.

3.3.2 Tähikute valimine

Mootorsae mootorilt antakse ketile veojõud edasi veotähikuga. Veotähik on kinnitatud siduriga otse mootori vāntvõllile. Veotähikud paigaldatakse trumlile üldiselt hammasliitega. Siduritrumlil on freesitud hambad ja veotähiku sisse vastavad sooned.

Lähtuvalt saeketi ja mootorsae Stihl MS 260 siduritrumlil olevast hammasülekandest on valitud sobiv veotähik. Valitud veotähik on kujutatud joonisel 3.9 ja veotähikut iseloomustavad andmed on esitatud tabelis 3.3.



Joonis 3.9. Veotähik

Tabel 3.3. Veotähiku andmed [27]

| Parameeter | Väärtus |
|-----------------------|----------|
| Tootja | Oregon |
| Mudel | SD 7 |
| Hammaste arv | 7 |
| Keti samm | 3/8" |
| Siseava läbimõõt, d | 22,25 mm |
| Välisläbimõõt, D | 35 mm |

Sama veotähikut ei saa paigaldada pidurdusseadme võllile veetava tähikuna, kuna pöörlemisagedused sae mootoril ja pumbal on erinevad. Stihl MS 260 mootori maksimaalne pöörlemisagedus on 12000 min^{-1} , hammasrataspump HIII10Y -3 maksimaalne pöörlemisagedus on 3600 min^{-1} . Kahe seadme ühendamiseks on vaja leida sobiv ülekanne suhe. Ülekanne peab olema aeglustav, veetav tähik peab olema vedavast suurem. Minimaalne ülekandearv on leitud järgneva valemiga [28]:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{12000}{3600} = 3,33, \quad (3.1)$$

kus u – ülekandearv;

n_1 – vedava võlli pöörlemissagedus min^{-1} ;

n_2 – veetava võlli pöörlemissagedus min^{-1} .

Minimaalne ülekandearv peab olema vähemalt 3,33. Leitud ülekandearvust lähtuvalt on leitud veetava tähiku minimaalne hammaste arv valemiga:

$$z_2 = u \times z_1 = 3,33 \cdot 7 = 23,3, \quad (3.2)$$

kus z_2 – veetava tähiku hammaste arv;

u – ülekandearv;

z_1 – vedava tähiku hammaste arv.

Tulemusest järeldub, et pumba käitamiseks sobiva kettülekande veetaval tähikul peab olema minimaalselt 24 hammast. Veetava tähiku ehitamine on ajamahukas töö ja lihtsam on otsida lahendus kaubanduses pakutavatest tähikutest. Vajaminev tähik on märkimisväärselt suure hammaste arvuga ja seega ei leia laialdast kasutust masinaehituses. Üldlevinumad suurema hammaste arvuga tähikud leiavad kasutust metsalangetus- ja halumasinade konstrueerimisel. Projekteeritavale katsestendile sobiv tähik on leitud USA tootja Danzco Inc. tootevalikust. Sobiva tähiku andmed on toodud tabelis 3.4.

Tabel 3.4. Veetava tähiku andmed [29]

| Parameeter | Väärtus |
|-----------------------|-------------|
| Tootja | Danzco Inc. |
| Mudel | 26T375TL |
| Hammaste arv | 26 |
| Keti samm | 3/8" |
| Siseava läbimõõt, d | 35,1 mm |
| Välisläbimõõt, D | 130 mm |

Tähikul on 26 hammast ja seega sobib projekteeritavasse ülekandesse. Kuna tähikul on minimaalsest leitud hammaste arvust rohkem hambaid, jääb ülekandele ka teatav varu, kui mootori maksimaalne pöörlemissagedus peaks ületama 12000 min^{-1} . Selleks, et arvutada

mootorikatsete käigus dünamomeetri võlli kiirust, on vaja leida uus ülekandearv. Ülekandearv on leitud valemiga [28]:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{26}{7} = 3,71, \quad (3.3)$$

kus u – ülekandearv;

z_2 – veetava tähiku hammaste arv;

z_1 – vedava tähiku hammaste arv.

Suuremate tähikute kinnitamiseks võllile kasutatakse spetsiaalseid kiirühendus muhve. Muhv paigaldatakse võllile liististuga, kasutades selleks prismaliistu. Võllile läbimõduga 20 mm on sobilik prismaliist kõrguse ja laiusega 6 mm ning pikkusega 26 mm [30]. Tähik omakorda ühendatakse muhvi külge keermesliitega. Ühendusmuhv on standardi järgi tähistatud tähisega JA, ning on sobilik ühendamiseks kõigi sama tähistust kandvate hammas- ja rihmaratastega. Kuna tegu on USAs peamiselt toodetava ja kasutatava tootega, on kõik sellised muhvid tolli mõõdus. Ainult siseava läbimõõtu saab tellida endale sobiva suurusega ja meetermõõdustikus. Sobiv ühendusmuhv siseava läbimõõduga 20 mm on valitud USA tootja Baldor tootevalikust ja on kujutatud joonisel 3.10.



Joonis 3.10. Baldor kiirühendusmuhv [31]

3.4. Võlli arvutus

Kettülekande ja dünamomeetri ühendamiseks on vaja valmistada sobiv võll kasutades lõiketehnoloogiat. Võll asetseb laagripukkidel ja on toetatud kahe laagriga. Võlli otsa paigaldatakse keevisliitega joonisel 3.2 kujutatud ühendusmuhv. Võlli kahe laagripuki vahelisele osale paigaldatakse liistliitega joonisel 3.10 kujutatud kiirühendusmuhv, millele kinnitub kettülekande veetav tähik. Võlli materjaliks on valitud teras 45.

Võlli esialgse läbimõõdu arvutamiseks on vaja teada veetavale võllile ülekantavat pöördemomenti. Pöördemomendi arvutamiseks saame mootorsae tehaseandmetest vedava võlli poolt rakendatava võisuse ja kettülekande suhtearvu kaudu on leitud veetava võlli kiirus. Võllile langeva pöördemomendi arvutamine on teostatud järgneva valemiga [32]:

$$T = \frac{60 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{60 \cdot 2600}{2 \cdot \pi \cdot 2585} = 9,60 \text{ Nm}, \quad (3.4)$$

kus T – võlli maksimaalne pöördemoment Nm;
 P – võllile kantav maksimaalne võimsus W;
 n – võlli pöörlemiskiirus min^{-1} .

Võllile antav suurim pöördemoment on 9,6 N. Sellest lähtuvalt on tehtud esialgse läbimõõdu määramine väändearvutusega [32]:

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{9,60}{0,2 \cdot 0,016}} = 14,42 \text{ mm}, \quad (3.5)$$

kus d_{\min} – võlli minimaalne läbimõõt mm;
 T – võlli maksimaalne pöördemoment Nm;
 $[\tau]$ – tinglik lubatud väändepinge N/mm^2 .

Esialgse arvutuse põhjal on minimaalne võlli läbimõõt 14,42 mm. Järgnevalt on välja selgitatud, kas on vajalik läbi viia sellise läbimõõduga võllile staatilise tugevuse arvutus. Selleks on esmalt leitud võllile langev suurim ringjõud [32]:

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{D} = \frac{2 \cdot 9,60}{0,13} = 147,69 \text{ N}, \quad (3.6)$$

kus F_t – ringjõud N;
 T – võlli maksimaalne pöördemoment Nm;
 D – ajamielemendi läbimõõt m.

Ringjõust lähtuvalt on arvatud võllile kantava radiaaljõu suurus. Radiaaljõud on leitud valemiga [N]:

$$F_r = 1,15 \cdot F_t = 1,15 \cdot 147,69 = 169,84 \text{ N}, \quad (3.7)$$

kus F_r – radiaaljõud N;
 F_t – ringjõud N.

Võlli staatilise tugevuse arvutamise vajadus selgitatakse välja vähima ohutusteguri leidmise kaudu. Vähim ohutustegur voolavuspiiri järgi on leitud järgneva valemiga[32]:

$$V_T = \frac{\sigma_T \cdot d_{\min}^3}{2 \cdot l \cdot \sum F_r + 8 \cdot T} = \frac{650 \cdot 14,42^3}{2 \cdot 120 \cdot 196,85 + 8 \cdot 9,60} = 47,72, \quad (3.8)$$

kus V_T – vähim ohutustegur voolavuspiiri järgi;
 σ_T – voolavuspiir (teras 45);
 d_{\min} – võlli minimaalne läbimõõt mm;
 l – vahemaa kaugemate põikjõudude rakenduspunktidel mm;
 F_r – radiaaljõudude absoluutväärtus N;
 T – võlli maksimaalne pöördemoment Nm.

Staatilise tugevus on piisav, kui kehtib järgnev võrratus:

$$V_T \geq [S_T] \quad (3.9)$$
$$47,72 \geq 2,5$$

kus V_T – vähim ohutustegur voolavuspiiri järgi;
 $[S_T]$ – vähim lubatud ohutustegur (antud võllile 2,5);

Võlli piisav staatiline tugevus on tõestatud võrratusega 3.9. Järgnevalt on kontrollitud, kas on tugevusarvutuse teostamine vajalik leitud minimaalsele võlli läbimõõdule. Lihtsustatud tugevusarvutuse teostamine ei ole vajalik, kui vähima ohutusteguri voolavuspiiri järgi ja väsimusarvutusele vajaliku kriteeriumi vahel kehtib järgnev võrratus

$$V_T \geq v \quad (3.10)$$
$$47,72 \geq 2,25$$

kus V_T – vähim ohutustegur voolavuspiiri järgi;
 v – väsimusarvutuse vajalikkuse kriteerium liistliitele (antud võllile 2,25);

Võrratusest 3.10 võib järeldada, et rohkem tugevusarvutusi ei ole vaja teostada. Võlli tugevus on piisav ja võlli minimaalne läbimõõt peab olema vähemalt 14,43 mm. Seadmele projekteeritud võll tuleb jämedam, kui tugevusarvutustega on leitud, sest võlli otsa paigaldatav pumba ühendusmuhv on läbimõõduga 26,5 mm. Võlli kõige peenem osa on läbimõõduga 20 mm ja selle sisse on freesitud ka kiilusoon. Lähtuvalt eelnevale arvutusele on võll piisavalt tugev nii paindele kui väände. Dünamomeetrile projekteeritud veovõll on kujutatud joonisel 3.11.



Joonis 3.11. Projekteeritud völli

3.4.1. Völlile sobivate laagrite valimine

Dünamomeetrit käitav veovölli ja pidurdusmehhanism on asetatud laagritele. Vastavalt projekteeritud dünamomeetri veovölli gabariitidele on valitud laagripukkidesse sobivate parameetritega laagrid. Sobilike laagrite andmed on esitatud tabelis 3.5. Kokku läheb vaja kolme laagrit kahte siseava läbimõõduga 20 mm ja ühte siseava läbimõõduga 25 mm. Laagrite välisläbimõõd ei oma tähtsust, küll aga laagri laius. Kitsamaid laagreid kasutades saab valmistada laagripukid õhemast metallist [33].

Tabel 3.5. Kasutatavate laagrite tehnilised andmed [34]

| Parameeter | SKF 6004 – 2Z | SKF 6005 – 2Z |
|----------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Siseläbimõõt, d | 20 mm | 25 mm |
| Välisläbimõõt, D | 42 mm | 47 mm |
| Laius, w | 12 mm | 12 mm |
| Dünaamiline koormustaluvus | 9,95 kN | 11,9 kN |
| Staatiline koormustaluvus | 5 kN | 6,55 kN |
| Maksimaalne pöörlemiskiirus, v_{max} | 38000 min ⁻¹ | 32000 min ⁻¹ |
| Soovituslik pöörlemiskiirus | 19000 min ⁻¹ | 16000 min ⁻¹ |
| Hind | 11,76 € | 13,49 € |

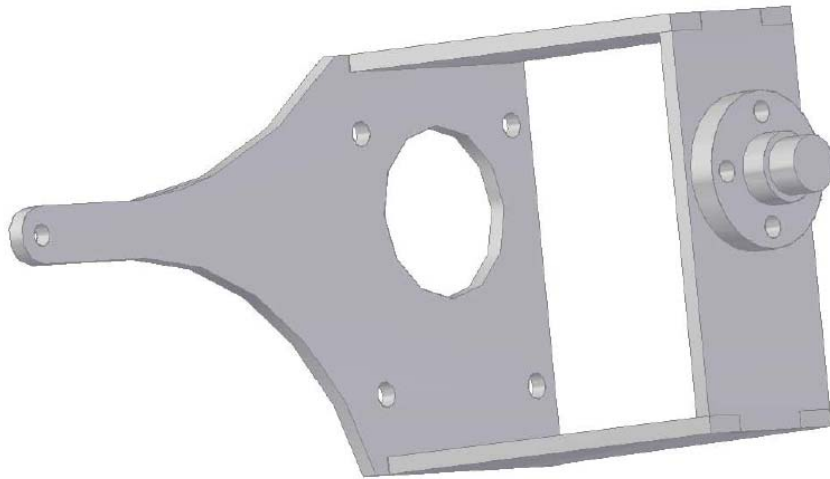
Kasutatavad laagrid on kinnised laagrid ja ei vaja lisamäärimist. Kinniste laagrite kasutamine on tingitud sellest, et laagrid ei tööta õli keskkonnas. Ka ei pääse kinnistesse laagritesse mustus sisse ning laagri kasutusiga on pikem. Laagrite kinnitamiseks laagripukkidesse ja võllile kasutatakse pingistu ning kinnitusvahenditena vedrurõngaid.

3.5. Katsestendi kandevkonstruktsioonid

3.5.1 Hüdraulikapumba kinnitusraam

Hüdraulikapumba paigaldamiseks tuleb projekteerida eraldi raam, mille külge saab pumba kinnitada. Kuna pumba korpus peab olema vabalt sisendvõlli telje suhtes liikuv, tuleb pump asetada laagritele. Üks laager asetseb veovõllil, millega pump käitatakse. Pumba tagant toestamiseks tuleb teha ümber pumba tugiraam. Tugiraami tagumisele küljele tuleb kinnitada tugivõll, millega saab raami kinnitada tagumisele laagripukile. Tagumine tugivõll tuleb asendilt tsentreerida pumba käitusvõlliga, et pidurdusmehhanismil oleks võimalik vabalt laagritel liikuda.

Tugiraam on koostatud 6 mm paksustest metall plaatidest, mis on omavahel ühendatud keevisliitega. Metall paksus on valitud pumba korpuse väljaulatuva, käitusvõlli ümbritseva laagripesa väljaulatuva osa laiuusest. Tagumine tugivõll paigaldatakse raamile keermesliitega. Tugiraam on vajalik ka koormust mõõtva mehhanismi jõuõla kinnitamiseks. Jõuõlg on projekteeritud raamiosana ja lõigatakse lehtmetailist välja koos raami esimese seinaga, millele kinnitub ka hüdraulika pump. Raami mõõtmed lähtuvad kasutatava hüdraulikapumba HIII10Y -3 mõõtmetest. Raami pikkus on valitud nii, et vajadusel saab keevitatud raamilt takistusteta pump demonteerida. Projekteeritud raam hüdraulikapumba kinnitamiseks on kujutatud joonisel 3.12.



Joonis 3.12. Raam hüdraulikapumba kinnitamiseks

3.5.2. Laagripukid

Dünamomeetri pidurdusseadme toetamiseks on vaja kolme laagripukki. Kaks laagripukki on identsed ja lihtsa ehitusega. Nendesse paigaldatakse laagrid SKF 6004 – 2Z. Üks pukk toetab veovõlli peenemat otsa ja teine pumba tugiraami tagumist külge. Pumba ja kettülekande vahele paigutatud laagripukki paigaldatakse laager SKF 6005 – 2Z. Laagrid paigaldatakse laagripukkidesse pinguga istuga ning asukoht fikseeritakse kereesse paigaldatavate lukustusrõngastega.

Keskmine laagripukk on kombineeritud detail, mis ühendab endas kahte funktsiooni. Lisaks veovõlli toetamisele kinnitub keskmisele laagripukile kronstein katsetatava seadme, ehk mootorsae, kinnitamiseks. Mootorsae kinnitatakse modifitseeritud juhtplaadiga poltliitega laagripukile. Selline detail tagab kettülekande tähikute joondumise veosuunal. Laagripukkide joonised on esitatud Lisas B.

3.5.3. Alusraam

Kogu katsestendi seadmestik paigaldatakse metallplaadile, millest saab kogu katsestendi alusraam. Metallplaat peab olema piisava paksusega, sest suurema massiga alusplaat on stabiilsem ja kannab vähem vibratsiooni edasi. Alusraami ehitamiseks on valitud terasplaat mõõtmetega 6 x 600 x 700 mm.

Traditsioonilise katsestendi asemel, mis kujutab endast töölauda, millele kõik seadmed on paigaldatud, olen otsustanud antud katsestendile aluslauda mitte ehitada. Kõik komponendid kinnitatakse metallplaadile ning kui katseseadet on vaja kasutada, saab selle paigutada näiteks töölauale. Alusplaadil on aasad, millest saab transpordiks stendi tõsta ja katsetuste ajaks tööpingile kinnitada. Seadme väikestest mõõtmetest lähtuvalt ei pea ma vajalikuks töölauda ehitamist. Katseperioodi välisel ajal tagab selline lahendus seadme mugavam hoiustamise ja transportimise.

Alusraam on toetatud viiele kummist padjale, mis leevendavad vibratsiooni. Patjade kõrgust saab muuta, et katseseadet stabiilselt paigaldada. Alusraamile kinnitatakse keermesliidetega kolm laagripukki, mille küljes on pidurdusmehhanism ja katsetatav mootorsaag. Samuti kinnituvad keermesliidetega hüdraulikaõli mahuti, hüdraulikaõli jahuti, koormusandur ning raam millega kinnitatakse manomeeter, drosselklapp ja õlifilter. Alusraami joonised on esitatud lisan B.

3.6. Mõõtemehhanism

Pumpa ümbritsevale raamile on projekteeritud jõuõlg. Jõuõla pikkuseks on 200 mm mis on mõõdetud pumba sisendvõlli tsentrist jõuõla otsas asuva kinnitusava tsentrini. Jõuõla pikkusest ja ülekantavast pöördemomendist lähtuvalt on leitud maksimaalne jõud, mida koormusandur mõõdab. Koormusandurile langev jõud on leitud järgneva valemiga:

$$F = \frac{T}{l} = \frac{9,605}{0,2} = 48 \text{ N}, \quad (3.11)$$

kus F – radiaaljõud N;

T – võlli maksimaalne pöördemoment Nm;

l – jõuõla pikkus m.

Valitud katseobjekti Stihl MS 260 korral peab koormusandur maksimaalselt kannatama jõudu kuni 48 N. Lähtuvalt jõust on valitud tootja Futek koormusandur LMC 300. Andur on ühendatav arvuti USB pordiga ja saab ka oma toite arvutilt. Tootjapoolse tarkvaraga on võimalik arvutiekraanilt näha kõiki jõumuutusi reaajas ja samuti on võimalus tulemused katse aja vältel salvestada. Anduril mõõtevahemik on 0 kuni 220 N ning tegu on kõige väiksema sobiliku anduriga Futeki tootevalikust [35]. Koormusandur on kujutatud joonisel 3.13.



Joonis 3.13. Koormusandur LMC 300 [35]

Andur kinnitatakse hüdraulikapumba küljes oleva jõuõla ja alusraamivahele keermesliitega. Anduri mõlemale otsale kinnitatud liigendid annavad võimaluse anduril liikuda, mis on vajalik jõuõla liikumisel.

3.7. Tahhomeeter

Mootori pöörete mõõtmiseks on erinevaid võimalusi. Üldlevinud pöörlemissageduse mõõtmise meetod on kasutada selleks kas optilist- või magnetilist sensorit. Sensor loeb hoorattalt pöörete arvu. Kuid lihtsam moodus kahetaktilise mootori pöörelemiskiiruse mõõtmiseks on kasutada spetsiaalset tahhomeetrit. Erinevalt neljataktilisest mootorist toimub kahetaktilises mootoris iga vääntvõlli pöörde kohta üks süüteimpulss. Seega annab süütepool süüteküünlale iga vääntvõlli pöörde jooksul ühe impulsi, et kütus süüdata. Tahhomeetri PET – 302 tööpõhimõte on lihtne, ta loeb süüteküünlale ühendatud juhtmelt süüte impulsse. Impulsside arv on võrdne pöörete arvuga, seega impulsside arv minutis on sama mis ka pöörete arv minutis. Katsestendile valitud sobiliku tahhomeetri oppama PET – 302 andmed on toodud tabelis 3.6 ja tahhomeeter on kujutatud joonisel 3.14.

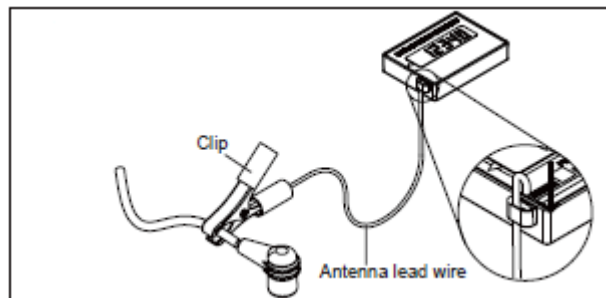
Tabel 3.6. Tahhomeeter PET – 302 tehnilised andmed [36]

| Parameeter | Väärtus |
|----------------------------|---------------------------------|
| Kohandatav mootor | kahetaktiline, ühe silindriline |
| Mõõtevahemik | 100 – 30000 min ⁻¹ |
| Pöörete kuvamise intervall | 0,5 s |
| Patarei eluiga | ~20000 h |
| Kasutamise temperatuur | 20 – 60 °C |
| Hoiustamise temperatuur | -20 – 60 °C |
| Mõõtmed | 44 x 61 x 12 mm |
| Mass | 30 g |
| Hind | 135 € |



Joonis 3.14. Impulss tahhomeeter PET 302R [36]

Tahhomeetriga mõõtmiste läbi viimiseks on erinevad moodused. Tahhomeeter on võimeline pöörlemissagedust mõõtma ilma küünlajuhtmega otsest ühendust omamata. Asetades seade 1 – 30 cm kaugusele küünlajuhtmest, aktiveerub seade automaatselt ja on võimeline mõõtma mootori pöörlemissagedust. Selliselt mõõtes kaasnevad teatavad riskid, et tulemus ei ole kõige täpsem. Seadme liiga lähedale asetamisel võib näit muutuda ebakorrektses. Vältimaks võimalust sellise mõõtetulemuste vea tekkimiseks on seadmega kaasas ka juhtmega ühendatav klamber. Klamber asetatakse küünlajuhtmele ja klambri kaudu antakse juhtmega impulss mõõtseadmele nagu on kujutatud joonisel 3.15.



Joonis 3.15. Tahhomeetri ühendamine [36]

Katse käigus on vaja teada ka dünamomeetri võlli pöörlemissagedust. See on leitav, kui mootori pöörlemissagedus jagada kettülekanne ülekandearvuga.

3.8. Mõõtetulemused

Dünamomeetriga mõõtmiste tulemuseks peab olema pöördemoment. Projekteeritud katsestendiga leitakse katsetatava mootori pöördemoment dünamomeetri jõuõla pikkuse ja sellele langeva jõu järgi valemiga:

$$T = F \cdot l, \quad (3.12)$$

kus T – dünamomeetri võlli maksimaalne pöördemoment Nm;
 F – radiaaljõud N;
 l – jõuõla pikkus m.

Jõuõla pikkus on projekteeritaval katsestendil konstantne suurus ja selleks on 0,2 m.

Eelnevalt arvutatud pöördemomendi ja katsetatava mootori väntvõlli pöörlemissageduse kaudu saab arvutada katsetatava mootori võimsuse. Võimsuse arvutuses tuleb kasutada dünamomeetri võlli pöörlemissagedust. Katsestendil mõõdetakse katsetatava mootori väntvõlli pöörlemissagedust ning see teisendatakse dünamomeetri võlli pöörlemissageduseks, kasutades selleks kettülekande ülekandearvu ($u=3,714$). Katsetatava mootori võimsus on leitav järgneva valemiga:

$$P = \frac{T \cdot \left[\frac{n}{u} \right]}{9549}, \quad (3.13)$$

kus P – katsetatava mootori võimsus kW;
 T – dünamomeetri võlli maksimaalne pöördemoment Nm;
 n – katsetatava mootori väntvõlli pöörlemissagedus min⁻¹;
 u – kettülekande ülekandearv.

4. KÜTUSEKULU HINDAMINE

Kütusekulu mõõtmine on oluline erinevate kütuste omaduste hindamiseks ja võrdlemiseks. Kütustel on erinevad kütteväärtused, seega kulub näiteks bioetanooli sama töö tegemisel bensiinist kolmandiku võrra rohkem. Saavutamaks bioetanooliga paremaid ökonoomsuslikke näitajaid, on ülimalt oluline mootori kestuskatsetuste vältel jälgida kütusekulu. Saadud tulemusi võrreldes on võimalik välja selgitada, millised kütused annavad töömasinale juurde ökonoomsust. Toitesüsteemide seadistamise ja väljatöötamise aluseks saab samuti võtta mõõdetud kütusemahud, mis peavad toitesüsteemi läbima.

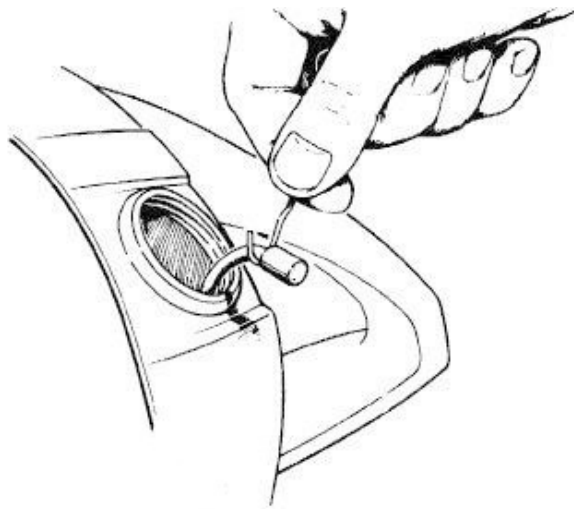
Eesti Maaülikooli mootorilaboris on sobiv seade kütusekulu mõõtmiseks olemas. Mõistlik on kasutada olemasolevaid seadmeid, nii on võimalik katseseadme omahinda hoida mõistlikul tasemel. Mootorilaboris kasutusel olev kütusekulumõõtja AVL 7351 CME on kujutatud joonisel 4.1. Seadmega on võimalik mõõta kütusekulu (B_f) ajaühiku kohta (kg/h) ja saada ka kütuse tiheduse näit. Seade on sobilik töötamiseks erinevate kütustega: bensiin, diislikütus, biodiisel ja bioetanool. Seadme mõõtevahemik on 0 – 125 kg/h ning arvutisse paigaldatud tootjapoolse tarkvaraga on võimalik kõik mõõtetulemused digitaalselt salvestada [37].



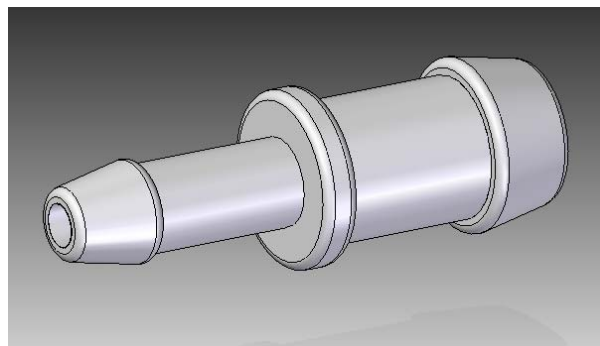
Joonis 4.1. AVL 7351 CME

Kütusekulu mõõteseade tuleb ühendada mootorsae toitesüsteemiga. Mootorsae diafragma karburaator imeb kütust mootorsae kütusepaagist. Imivoolik on paagis vabalt liikuv ning

vooliku otsa on kinnitatud kütusefilter. Seadme AVL 7351 CME ühendamiseks tuleb paagist tankimisava kaudu välja võtta kütusefilter, nagu on kujutatud joonisel 4.2. Järgmise sammuna tuleb vooliku otsast eemaldada filter ning kasutades joonisel 4.3 kujutatud voolikuühendust saab omavahel ühendada mootorsae kütusevooliku ja kütusekulu mõõteseadmest tuleva kütuse pealevoolu vooliku. Üleminek on vajalik, sest kaks ühendatavat voolikut on erinevate siseava läbimõõdudega. Mootorsae kütuse imivoolikule sobib ülemineku pool jämedusega 5,5mm ja seadmele AVL 7351 CME jämedusega 8 mm.



Joonis 4.2. Kütuse imivoolik



Joonis 4.3. Voolikuühendus

5. HEITGAASIDE ANALÜÜS

Heitgaaside analüüsimiseks on Eesti Maaülikooli mootorilaboris mõõteseade Bosch BEA 350-FIN. Seade on kujutatud joonisel 5.1. Kuna ülikoolil on juba olemas väga kvaliteetne mõõteseade heitgaaside analüüsimiseks, on mõistlik seda kasutada projekteeritaval katsestendil teostatavate katsete läbiviimisel. Mõõteseadme kasutamine katsestendile mingeid lisanõudmisi ei tekita. Heitgaaside mõõtmiseks tuleb asetada mõõteseadme sensor katsetatava mootori summuti heitgaaside väljutusava juurde ning teostada mõõtmised.



Joonis 5.1. Bosch BEA 350-FIN [38]

Bosch BEA 350-FIN on universaalne heitgaaside analüüsimise seade. Seade sobib nii bensiini-, diisel- ja gaasimootorite heitgaaside analüüsiks. Seadmega mõõdetavad heitgaaside komponendid ja nende mõõtevahemik koos mõõtetäpsusega on välja toodud tabelis 5.1. Seadmel on sisseehitatud juhtarvuti, mis vastavalt kasutaja käsklustele teostab sobiliku analüüsi ning väljastab seejärel mõõtetulemused. Seega puudub lisavajadus mõõtetulemuste töötlemiseks. Lisaks heitgaaside komponentide mõõtmisele teostab Bosch BEA 350 ka liigõhutegur ehk lambda väärtuse hindamist. Liigõhuteguriks nimetatakse väärtust, mis saadakse, kui tegelik õhu kogus jagatakse teoreetiliselt vajamineva õhukogusega. Töökorras toitesüsteemiga mootoril on lambda väärtus 1. Eesti keskkonnaministri määrusel on Eestis lubatav lambda väärtuse kõikumine ± 3 sajandikku (0,97 - 1,03). Lambda anduri näiduga saab hinnata, kas küttesegu õhu ja kutuse koguste

vahekord on paigas. Liiga lahja või rikka kütusesegu näidu korral tuleb toitesüsteemi vastavalt seadistada ja mõõtmisi korrata, kuniks on saavutatud korrektne küttesegu.

Tabel 5.1. Bosch BEA 350-FIN mõõtevahemikud [38]

| Komponent | Mõõtevahemik | Eristus |
|-----------------|-----------------|---------|
| CO | 0,000 – 10,00 % | 0,001 % |
| CO ₂ | 0,00 – 18,00 % | 0,01 |
| HC | 0 – 9999 ppm | 1 ppm |
| O ₂ | 0,00 – 22,00 % | 0,01 % |
| Lambda | 0,500 – 9,999 | 0,001 |
| NO | 0 -5000 ppm | ≤1 ppm |

ppm* - osakest miljonist (ing.k *parts per million*)

Heitgaaside analüüsimise eesmärk on saada täpsed andmed selle kohta, kui palju on võimalik vähendada mürgiste ja kantserogeensete elementide hulka kahetaktilise mootori käitamisel, kui kütusena kasutatakse bioetanooli ja õli kütusesegu. Välja on vaja selgitada, millisel määral on võimalik vähendada terviseriske motoriseeritud seadmete kasutajale, kelle hingamisteedesse heitgaasid satuvad. Puhtama bioetanooli arendamiseks on vaja andmeid mida saab aluseks võtta edaspidise uurimustöö jätkamiseks.

Oluline on heitgaaside analüüs erinevate katsetatava mootori koormuste juures. Teada on vakt, et kõige vähem mürgiseid elemente on heitgaasides, kui kahetaktilisele mootorile on rakendatud koormus. Enim mürgiseid aineid tekib tühikäigul töötava mootori korral. Siis ei toimu nii täielikku põlemist ja heitgaasidesse satub ka kütuseosakesi. Mittetäieliku põlemise põhjustajaks on tänapäeval kasutusel olevate kahetaktilistele mootoritele paigaldatavate karburaatorite puudulik seadistamise võimalus. Heitgaaside analüüsi andmeid saab võtta aluseks uue ja täiuslikuma mootori toitesüsteemi väljatöötamiseks.

6. EELARVE

Katsestendi koostamisel on väga palju kasutatud ostutooteid. Vajalik on koostada katsestendile eelarve, et oleks võimalik võrrelda, kas stendi ehitamine on rahaliselt kasulikum, kui juba valmis katseseadme soetamine. Eelarve koostamisel on arvestatud ainult materjalide ja kuluosade hindadega. Arvestatud ei ole katseseadme ehitamisele kuluvat tööjõukulu ega tööriistade amortisatsiooni.

Kõikide katseseadmete komponentide valikul on määravaks saanud toote hind. Valitud on parima hinna ja kvaliteedi suhtega komponendid.

Katseseadme ehitamiseks on soetatud hüdraulikakomponendid. Nende hinnapakumised on võetud Eesti edasimüüjatelt ja on esitatud lisas A. Samuti on hinnapakumine olemas mootorsae tarvikutele, mis on vajalikud mootorsae paigaldamiseks katsestendile. Ülejäänud stendil kasutatavate komponentide hinnad on leitud valdavalt internetipõhise otsingu põhjal. Hinnad pärinevad tootjate ja edasimüüjate kodulehekülgedelt ja on võetud 15. mai seisuga aastal 2014. Kõik hinnad on teisendatud eurodesse, et lihtsustada kulude summeerimist. Komponentide hinnakiri ja koondhind on esitatud tabelis 6.1.

Tabel 6.1. Katseseadme komponentide maksumus

| Toode | Hind |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|
| Hüdraulikapump HIII10Y -3, üleminekud, ühendusmuhv | 35,80 € |
| Hydroscand õlifilter, filtriialg | 51,60 € |
| Hydroscand drosselklapp | 35,67 € |
| Hydroscand manomeeter | 16,79 € |
| Hydroscand hüdraulika voolikud, ühendusniplid, hüdraulika tihendid | 118,42 € |
| SKF laagrid (SKF 6004 – 2Z – 2 tk, SKF 6005 – 2Z – 1 tk) | 37,01 € |
| Jahuti DCS – 10 – 12 – TC140 | 255,47 € |
| Koormusandur LMC300 | 528,00 € |
| Tahhomeeter Oppama PET – 302 | 135,00 € |
| Veotähik Oregon | 7,00 € |
| Veotähik Danzco | 38,00 € |
| Saekett Stihl | 16,00 € |
| Mootorsae juhtplaat Stihl | 24,00 € |
| Ümarraud 40 x 150, teras 45 | 5,12 € |
| Terasplaat 6 x 1000 x 1000 mm, teras 45 | 32,80 € |
| Terasplaat 20 x 200 x 500 mm, teras 45 | 8,70 € |
| Kinnitusvahendid (poldid, mutrid, seibid) | 24,00 € |
| Lukustusrõngad (7 tk) | 1,83 € |
| Kokku | 1258,14 € |

Katsestendi komponentide kogumaksumuseks tuleb 1250 €. Arvestades valitud komponentide kvaliteeti, on tegu mõistliku summaga. Eelarve kõige kulukam komponent on koormusandur. Koormusandur asendamisel tavalise kaaluga on võimalus samu katseid läbi viia, kuid kaalu kasutamisel ei ole võimalik andmeid arvuti ekraanilt reaajas jälgida ja digitaalselt salvestada. Seega oleks vajalik siiski täpse ja arvutiga juhitava koormusanduri kasutamine. Teine eelarvemahtu kasvav seade on õlijahuti, kuid ilma korraliku jahutussüsteemita ei saa katseseadmelt korrektseid andmeid ning kestuskatsete täpsus võib muutuva koormuse tõttu kannatada. Jahuti olemasolu on äärmiselt vajalik ja seda kulutust ei saa stendi koostamisel vältida. Valitud jahuti on kaubanduses pakutavatest kõige madalama hinnaga.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö käigus on projekteeritud Eesti Maaülikooli mootorilaborisse katsestend väikese töömahuga kahetaktiliste mootorite katsetamiseks. Katsestendi projekteerimisel on lähtunud Maaülikooli vajadusest arendada ja katsetada teise generatsiooni bioetanooli kütusena kahetaktilistel mootoritel. Samuti on eesmärgiks olnud projekteerida mõõtmelult võimalikult kompaktne seade ning kasutada seadme konstrueerimisel võimalikult kvaliteetseid komponente. Tuginedes tehtud tööle, võib välja tuua järgnevad olulised punktid töö valmimisest:

1. Tutvutud on erialase kirjanduse ja analoogsete katseseadmetega.
2. Tutvutud bioetanooli uurimise vajalikkusega ja erisustega bioetanooli kasutamisel mootorikütusena.
3. Välja on valitud sobiv katseobjekt, milleks on keskmise võimsusklassiga mootorsaag võimsusega kuni 3 kw.
4. Katsestendi tehnilise lahenduse välja töötamisel on:
 - a) projekteeritud katsestendi alusraam ja kronsteinid seadmete kinnitamiseks
 - b) projekteeritud katseseadmele dünamomeeter lähtuvalt katseobjekti tehnilistest andmetest;
 - c) projekteeritud sobiv kettülekanne katsetatavalt mootorilt dünamomeetrile;
 - d) valitud sobiv tahhomeeter mootori väntvõlli pöörlemissageduse mõõtmiseks;
 - e) on kirjeldatud meetodit mootori võimsuse arvutamiseks mõõtmistulemuste alusel.
5. Kütusekulu analüüsimiseks on leitud lahendus Eesti Maaülikooli mootorilaboris asuva seadme AVL 7351 CME kasutamisel.
6. Heitgaaside analüüsimiseks on leitud lahendus Eesti Maaülikooli mootorilaboris asuva seadme Bosch BEA 350 kasutamisel.
7. Koostatud on eelarve katsestendi ehitamiseks vajalike komponentide soetamiseks.

Katsestend on projekteeritud ning oleks vaja jätkata seadme ehitamist. Dünamomeetri ehitamiseks on vajalikud hüdraulika komponendid soetatud ning olemas on ka katsetatav mootorsaag.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Mad on tools – mootorsaagide andmeid koondav kodulehekülg. Kättesaadav : <http://www.madontools.com/chainsaws/stihl-chainsaws/stihl-ms-260-chainsaw-review/> (8.02.2014).
2. Sakor Technologies, inc. Small engine AC motoring dynamometers. Kättesaadav: <http://www.sakor.com/Products/Small-Engine-AC-Dynamometers> (24.03.2014)
3. Madsen`s shop & supply, inc. Saw special tools. Kättesaadav: http://www.madsens1.com/saw_special_tools.htm (16.03.2013).
4. Gurevitš, A., Sorokin, J. Traktorid ja autod. –Tallinn: Valgus, 1983. – 432 lk.
5. Killedar, J. S. Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing. - Xlibris Corporation, 2012. – 608 lk.
6. Indian Gandhi National Open University. IC engine testing. Kättesaadav: www.ignou.ac.in/upload/unit-7.pdf (14.03.2013).
7. Elektrooniline materjal. Kättesaadav: <http://image.made-in-china.com/2f0j00NegQVPGqHZbu/High-Speed-Motor-for-Dynamometer-Machine-01.jpg> (24.03.2014).
8. Elektrooniline materjal. Kättesaadav: <http://dtec.net.au/Inertia%20Dyno%20Design%20Guide.htm> (24.03.2014).
9. Elektrooniline materjal. Kättesaadav: <http://www.rivertrailventures.ca/index.php?page=photos-3> (24.03.2014).
10. Koc, M., Sakmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H.S. The effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in spark-ignition engine. Renewable energy, nr 34. 2009, lk 2101-2106.
11. Al-Hasan, M. Effect of ethanol-unlead gasoline blends on engine performance and exhaust emission. Energy Conversion and Management 44. 2003, lk 1547 – 1561.
12. Küüt, A., Olt, J., Mikita, V., Sõõro, T., Ritslaid, K. Bioetanool kütuste kasutamine sädesüütega sisepõlemismootoris. Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine. Üheteistkümnenda konverentsi kogumik. – Tartu: Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, 2009.
13. Ristlaid, K., Küüt, A., Olt, J. State of the Art in Bioethanol Production. Agronomy Research, 8(1), 2010, lk 236 – 254.
14. Kask, Ü. Bioetanooli kasutamise eeldused ja võimalused Eestis (energia- ja kütusemajandus). Tallinna Tehnikaülikool, soojustehnika instituut, 2013, 62 lk.

15. Kүүt, A., Ilves, R., Vlasov, A., Soots, K., Olt, J. The impact of bioethanol fuel on the output parameters of a two-stroke reciprocating engine. Tehnika instituut, Eesti Maaülikool, 2014. – 8 lk.
16. Küttesegud ja heitgaasid. Kättesaadav: http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/2908/K%C3%BCttesegu%20ja%20Heitgaasid.pdf. (22.03.2013).
17. Mootorite heitgaasid ja euro normid. Kättesaadav: <http://staff.ttu.ee/~asiirde/Loengud/autodiagnostika/ALoeng%201.doc>. (22.03.2013).
18. Wójcik, K., Skarzyński, J.G. Emission and composition of exhaust gases by new chainaw produced by Husqvarna and Stihl. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 5(2), 2006, lk 147-157.
19. Enez, K., Aricak, B. The impacts from the use of chain saw on the forest workers. Logging technologies and primary wood processing, 2011, lk 633-638.
20. Dost, F. N., Toxicology and potential health risk of chemicals that may be encountered by workers using forest vegetation management options. Part I, Risk to workers associated with exposure to emissions from power saws, ISBN 0-7726-4982-0 British Columbia, 2003, 24 lk.
21. Euroopa Liidu kliima- ja energiapakett. Kättesaadav: <http://www.envir.ee/1166958> (22.03.2014).
22. Hüdraulikapumba tehnilised andmed. Kättesaadav: <http://www.hydrosila.com/products/gear-pumps/performance-m/> (22.03.2014).
23. Kirsi, T. Mehaaniku käsiraamat. – Tallinn: Valgus, 1982. – 784 lk
24. Hüdraulika komponendid AS Hydroscand. Kättesaadav: http://www.hydroscand.ee/products_5_2 (22.03.2014).
25. Elektrooniline materjal. Kättesaadav: http://www.alibaba.com/product-detail/DCS-10-12-HYDRAULIC-OIL-COOLER_1728417697.html (22.03.2014).
26. Elektrooniline materjal. Kättesaadav: http://www.e-ope.ee/_download/euni_repository/file/2164/Oil.zip/hdraulikaliid.html (22.03.2014).
27. Oregoni tootevalik. Kättesaadav: www.oregonproducts.com/pdf/sprockets/RimSproxFB0601.pdf (22.03.2014).
28. Tiidemann, T. Kettülekanded. Masinaelemendid. - Tallinn: Valgus, 1982. – 88 lk.
29. Danzco Inc. tootevalik. Kättesaadav: http://www.danzcoinc.com/html/tapered_bore.html (22.03.2014).

30. Strižak, V. Lahtivõetavad liited. Masinaelemendid.- Tallinn: Valgus, 1984. – 176 lk.
31. Baldor tootekataloog. Kättesaadav: http://www.baldor.com/pdf/501_Catalog/Section23_PT.pdf (22.03.2014).
32. Tiidemann, T. Teljed ja völldid. Masinaelemendid. - Tallinn: Valgus, 1981. – 104 lk.
33. Ajaots, M., Järvpõld, L. Laagrid. Masinaelemendid. - Tallinn: Valgus, 1985. – 192 lk.
34. SKF laagrid, tootekataloog. Kättesaadav: <http://www.skf.com/group/products/index.html> (22.03.2014).
35. Koormusanduri LCM300 tehnilised andmed. Kättesaadav: <http://www.futek.com/product.aspx?stock=FSH02699> (22.04.2014).
36. Tahhomeeter Oppama PET – 302 kasutusjuhend. Kättesaadav: www.oppama.co.jp/eng/line/PET-302R_manual_E.pdf (22.04.2014).
37. Kütusekulu mõõtja AVL 7351 CME tehnilised andmed. Kättesaadav: <https://www.avl.com/fuel-massflow-meter-and-fuel-temperature-control> (22.04.2014).
38. Bosch tootekataloog. Kättesaadav: http://rb-aa.bosch.com/boaa-uk/Product.jsp?prod_id=171&ccat_id=77&language=en-GB&publication=3 (22.04.2014).

TÄNUAVALDUSED

Antud uurimustöö valmimisele aitasid kaasa paljud heatahtlikud ja abivalmid inimesed.

Sellega seoses tahan tänada:

1. Juhendajat, lektor Arne Küüti
2. Eesti Maaülikooli õppejõude
3. Eesti Maaülikooli keelekeskust
4. Kõigi infot jaganud ettevõtete eksperte
5. Sugulasi ja sõpru

LISAD

LISA A. Hinnapakkumised



Pakkumine

Pakkumise kuupäev 9.05.2014
 Pakkumise nr SQ_006705-2
 Pakkumise tähtaeg 23.06.2014
 Tellimuse kuupäev 9.05.2014 16:33:31
 Tellimuse kood
 Kliendi kood 26751
 Viide

Tarneaadress
 JAEMÜÜK

Arve address
 JAEMÜÜK

Tarneviis
 Jaemüük

Tarнетingimus

Meie viide
 Endel Vahealu

Kliendiviide

Maksetingimused
 Sularaha

Ladu

Hydroscand AS Rakvere 32 20 877

| Kaubakood | Kirjeldus | Kogus | Lähetuskuupäev | Ühiku hind | Allahindlus | Allah.% | Summa |
|---------------|----------------------------------------|-------|----------------|------------|-------------|---------|-------|
| 70190620 | Nippel G 3/8" vk M20 vk | 1,00 | 9.05.2014 | 5,770 | | | 5,77 |
| 70190820 | Nippel G 1/2" vk M20 vk | 1,00 | 9.05.2014 | 2,800 | | | 2,80 |
| 5K00190158826 | OR 15,88 x 2,62 NBR90 | 2,00 | 9.05.2014 | 0,370 | | | 0,74 |
| 5K00170170030 | OR 17 x 3 NBR70 | 2,00 | 9.05.2014 | 0,370 | | | 0,74 |
| 70020606 | Kaksiknippel G 3/8" vk 3/8" vk | 3,00 | 9.05.2014 | 1,180 | | | 3,54 |
| 56010106 | Tihend Usitr R 3/8" | 3,00 | 9.05.2014 | 0,300 | | | 0,90 |
| 11056306 | Voolik Kappaflex Rock 2SN-K DN10 | 1,00 | 9.05.2014 | 6,300 | | | 6,30 |
| 42001106 | Hülss 3/8" 1SN,2SC non skive | 4,00 | 9.05.2014 | 1,230 | | | 4,92 |
| 42010606 | Otsik G 3/8" sk 3/8" | 3,00 | 9.05.2014 | 1,380 | | | 4,14 |
| 42030606 | Otsik G 3/8" 90° sk 3/8" | 1,00 | 9.05.2014 | 2,730 | | | 2,73 |
| 70080606 | Kaksiknippel mutriga G 3/8" vk 3/8" sk | 1,00 | 9.05.2014 | 2,510 | | | 2,51 |
| 74060606 | Kolmik G 3/8" sk | 1,00 | 9.05.2014 | 8,560 | | | 8,56 |
| 70180604 | Nippel G 3/8" vk x G 1/4" sk ED pikk | 1,00 | 9.05.2014 | 2,800 | | | 2,80 |
| 83600025 | Manomeeter 63 mm 250 bar 1/4" alt | 1,00 | 9.05.2014 | 16,790 | | | 16,79 |
| 70020608 | Kaksiknippel G 3/8" vk 1/2" vk | 1,00 | 9.05.2014 | 1,900 | | | 1,90 |
| 56010108 | Tihend Usitr R 1/2" | 2,00 | 9.05.2014 | 0,370 | | | 0,74 |
| 82010001 | Filterelement CS050 10µm | 1,00 | 9.05.2014 | 15,040 | | | 15,04 |
| EE81AFCS050 | Pealmine kaas AFCS-050 imipool | 1,00 | 9.05.2014 | 36,560 | | | 36,56 |
| 70020812 | Kaksiknippel G 1/2" vk 3/4" vk | 2,00 | 9.05.2014 | 3,380 | | | 6,76 |
| 70020808 | Kaksiknippel G 1/2" vk 1/2" vk | 1,00 | 9.05.2014 | 1,930 | | | 1,93 |
| 11056308 | Voolik Kappaflex Rock 2SN-K DN13 | 1,00 | 9.05.2014 | 7,410 | | | 7,41 |
| 42001108 | Hülss 1/2" 1SN,2SC non skive | 4,00 | 9.05.2014 | 1,550 | | | 6,20 |
| 42010808 | Otsik G 1/2" sk 1/2" | 3,00 | 9.05.2014 | 2,020 | | | 6,06 |
| 42030808 | Otsik G 1/2" 90° sk 1/2" | 1,00 | 9.05.2014 | 3,890 | | | 3,89 |
| 80700606 | Drossel G3/8" sk 350 bar | 1,00 | 9.05.2014 | 35,670 | | | 35,67 |

| Käibemaksu kood | Summa alus | Kogus | Käibemaksusu mma |
|-----------------|------------|-------|------------------|
| EE20-V | 185,40 | 0,00 | 37,08 |

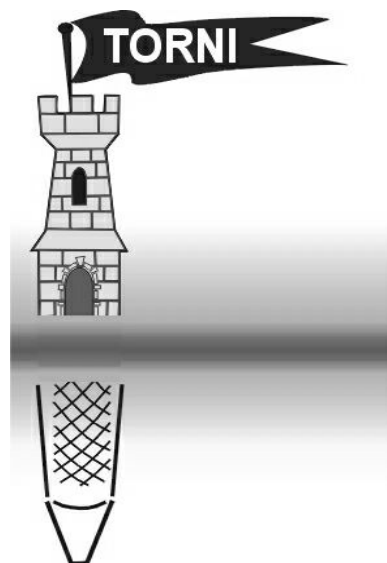
Lõppallahindlus: 0,00
 Lisakulud kokku: 0,00
 Netosumma: 185,40
 Käibemaks: 37,08
 Ümardus: 0,00
 Pakkumise summa: 222,48 EUR

| Aadress | Telefon | @DSE179 | Pangaülekanne | Swift | Registreerimisnumber |
|------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Peterburi tee 83B Tallinn 11415 Harjumaa | +372 6 831 150 | +372 6 831 160 | SEB EE821010220037305014 SWED EE752200221014524063 | EEUH22XX HABAE2XX | 10089454 KMKR EE100613999 |

Hando Leichter

10.05.2014

HINNAPAKKUMINE



| | | |
|----------------------------|------|-------|
| 1. Veotähik Stihl 3/8" x 7 | 1 tk | 7.- |
| 2. Kett 15" 3/8" 1,5 56DL | 1 tk | 16.- |
| 3. Plaat 15" 3/8" 1,5 56DL | 1 tk | 24.- |
| 4. Tahhomeeter PET-302 | 1 tk | 135.- |

Kokku: 182.- EUR

Hind sisaldab k/m 20%

Tooted on uued

Hinnapakumine kehtib kuni 31.05.2014

Andres Reinvee
Juhatuse liige

Pakkumine nr. 1400464

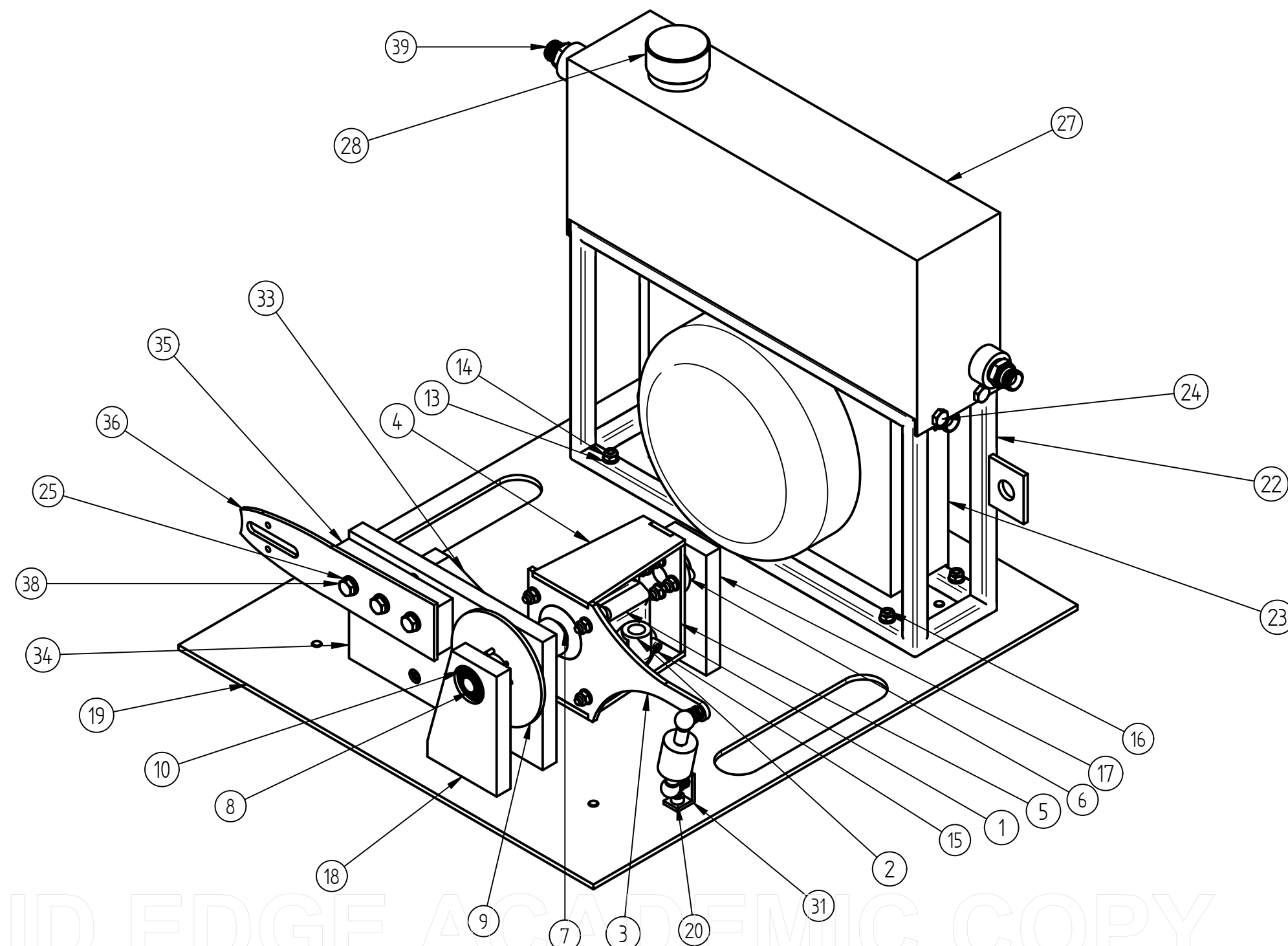
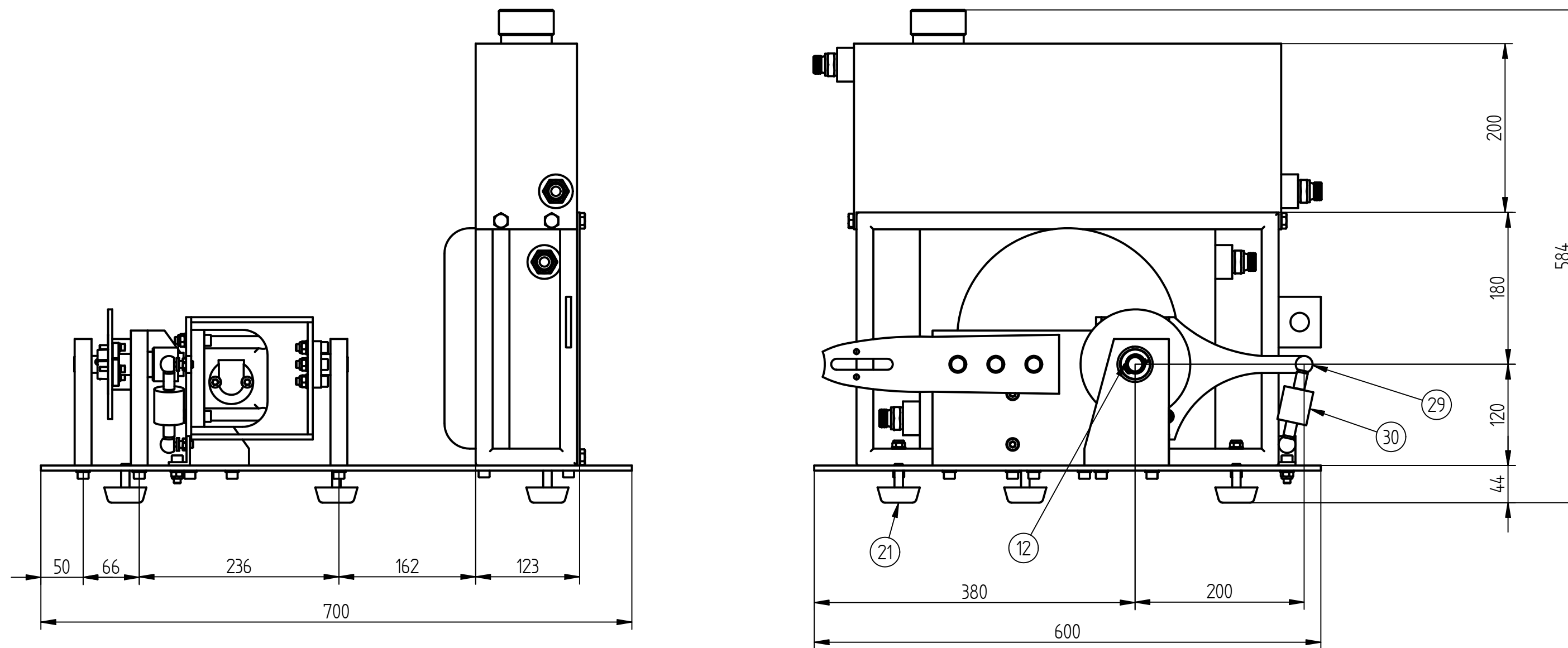
| | | | |
|-------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Klient Eraisik | Kliendi telefon | Esitamise aeg 09.05.2014 13:39:28 | Koostas Villu Silla |
| | Kliendi faks | Kehtivus | |
| | Kliendi esindaja | Maksetingimus | |

| Kood | Hulk | Nimetus | Ühiku hind | - % | Rea summa | Rea KM |
|---------------|------|-----------------------|------------|-----|-----------|--------|
| NS-10-P-4 | 1 | õlipump 4 nuuti | 19.49 | | 19.49 | 3.90 |
| NS10-1 | 2 | õlipumba kõrvad NS-10 | 2.40 | | 4.80 | 0.96 |
| 25T25-22106-1 | 1 | muhv 4 nuuti | 5.54 | | 5.54 | 1.11 |

| | | | |
|---------------|-------------|------------------------|-----------|
| Müüja allkiri | Villu Silla | Summa B | 29.83 EUR |
| | | Käibemaks B 20% | 5.97 EUR |
| | | Ümardus | 0.00 EUR |
| | | Summa kokku | 35.80 EUR |

Agroparts OÜ | reg. nr. 11757953 | KM kohustuse reg. nr. EE101329790
44230, Vöhma küla, Sõmeru vald, Lääne-Virumaa | tel. +372 51 188 24 | faks +372 32 589 61
A/a EE691700017002600857 NDEAEE2X Nordea Bank
lisainfo

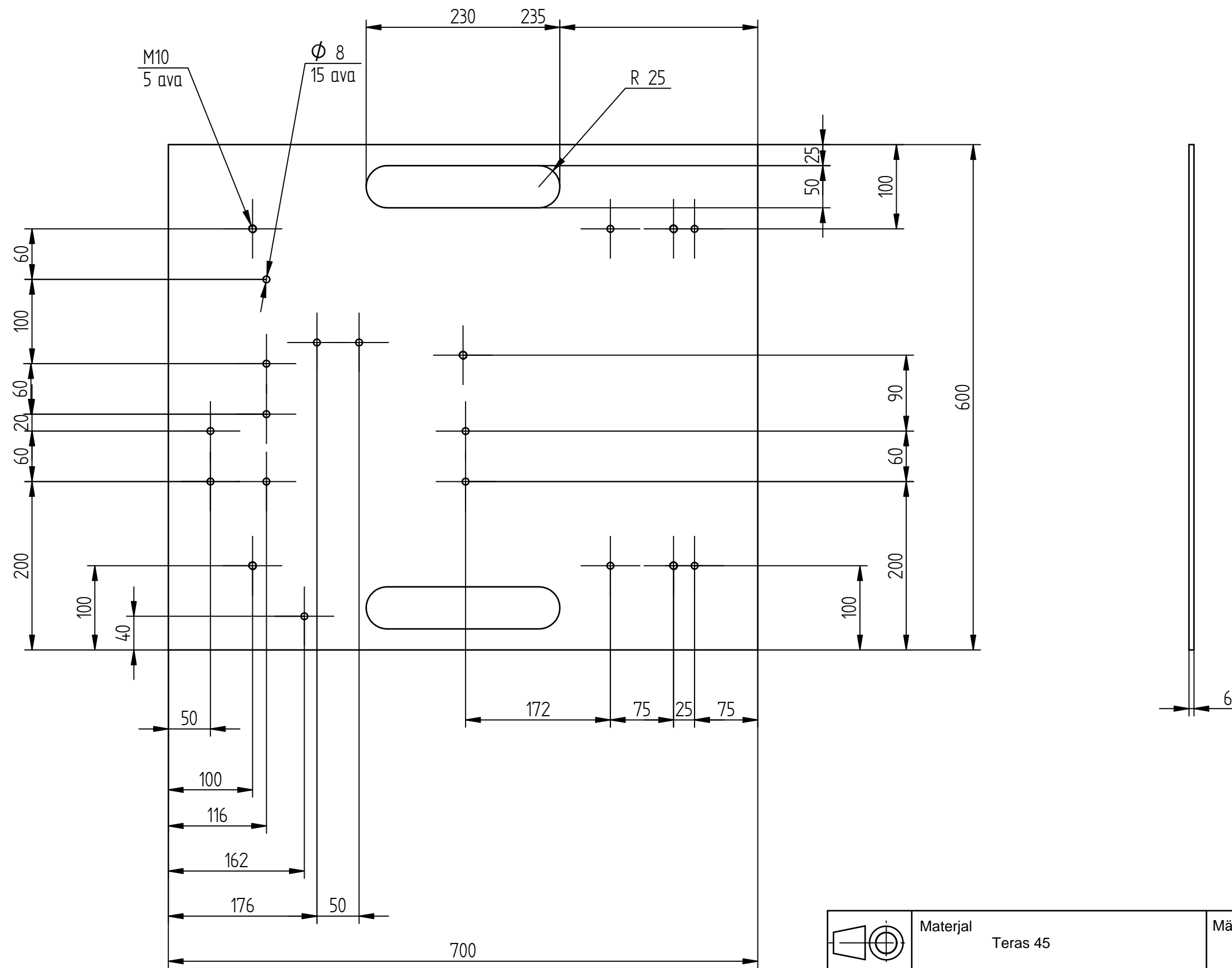
LISA B. Katsestendi tehnilised joonised



| Number | Nimetus | Materjal | Kogus |
|--------|------------------|----------|-------|
| 1 | Hüdraulikapump | | 1 |
| 2 | Üleminek | | 2 |
| 3 | Jõuõlg | Teras 45 | 1 |
| 4 | Plaat | Teras 45 | 2 |
| 5 | Tagumine sein | Teras 45 | 1 |
| 6 | Võll | Teras 45 | 1 |
| 7 | Ühendusmuhv | | 1 |
| 8 | Võll | Teras 45 | 1 |
| 9 | Tahik | | 1 |
| 10 | Laager 6004-2Z | | 2 |
| 11 | Lukustusrõngas | | 1 |
| 12 | Lukustusrõngas | | 3 |
| 13 | Seib M8 | | 23 |
| 14 | Mutter M8 | | 13 |
| 15 | Poltt M8 x 30 | | 8 |
| 16 | Poltt M8 x 35 | | 8 |
| 17 | Laagripukk | Teras 45 | 1 |
| 18 | Laagripukk | Teras 45 | 1 |
| 19 | Alusraam | Teras 45 | 1 |
| 20 | Poltt M8 x 25 | | 14 |
| 21 | Leevendi | | 5 |
| 22 | Raam | Teras 45 | 1 |
| 23 | Õlijahuti | | 1 |
| 24 | Poltt M10 x 35 | | 8 |
| 25 | Seib M10 | | 11 |
| 26 | Mutter M10 | | 8 |
| 27 | Õlimahuti | | 1 |
| 28 | Kork | | 1 |
| 29 | Kuulliigend | | 2 |
| 30 | Koormusandur | | 1 |
| 31 | Kronstein | Teras 45 | 1 |
| 32 | Prismaliist | | 1 |
| 33 | Tugi | Teras 45 | 1 |
| 34 | Laagripukk | Teras 45 | 1 |
| 35 | Distsants raud | Teras 45 | 1 |
| 36 | Juhtplaat | | 1 |
| 37 | Laager 6005 - 2Z | | 1 |
| 38 | Poltt M10 x 45 | | 3 |
| 39 | Liitmik 1/2" | | 4 |

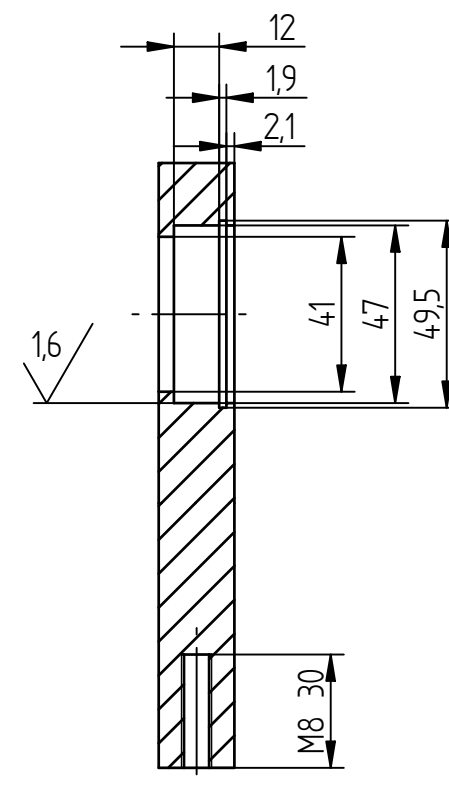
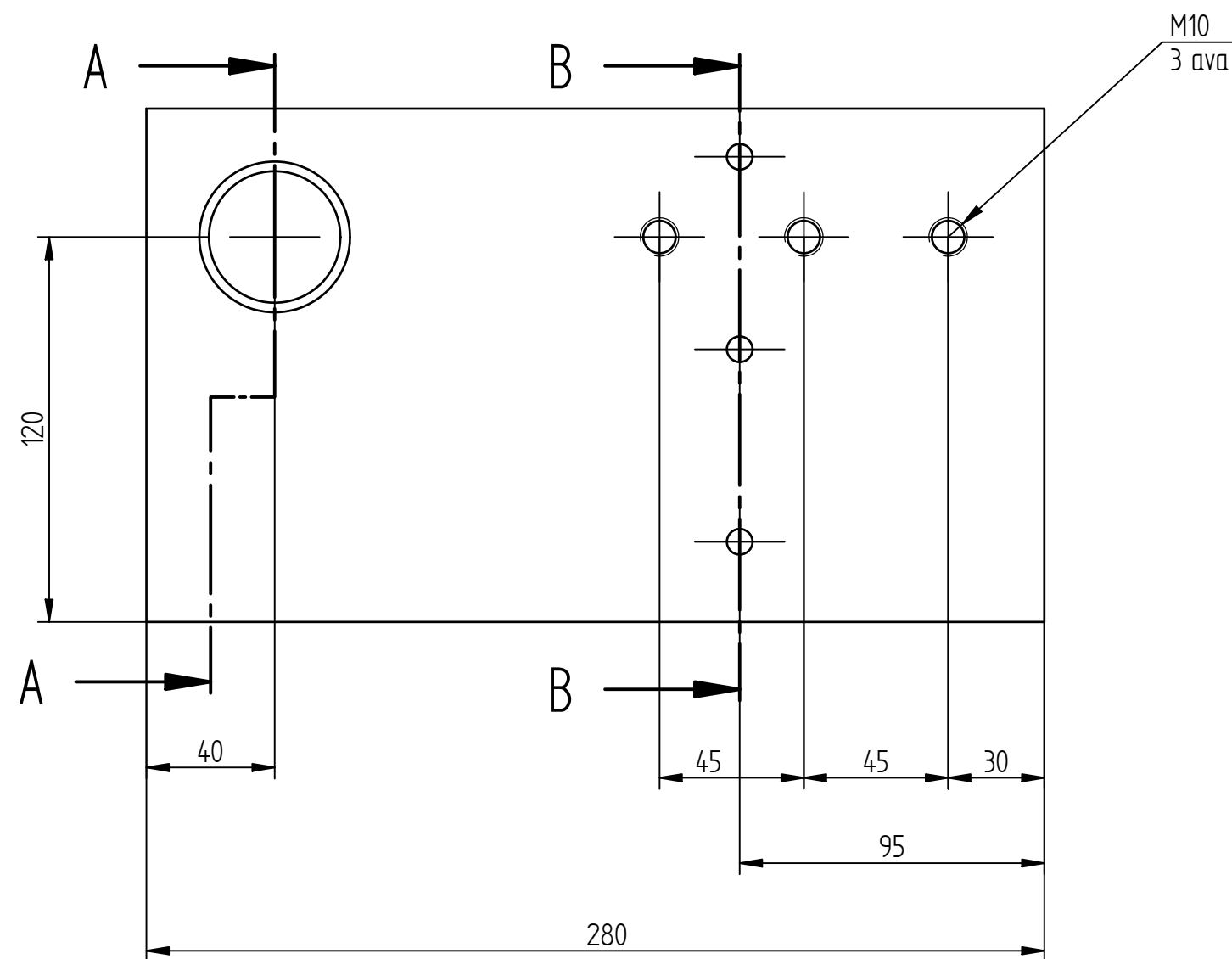
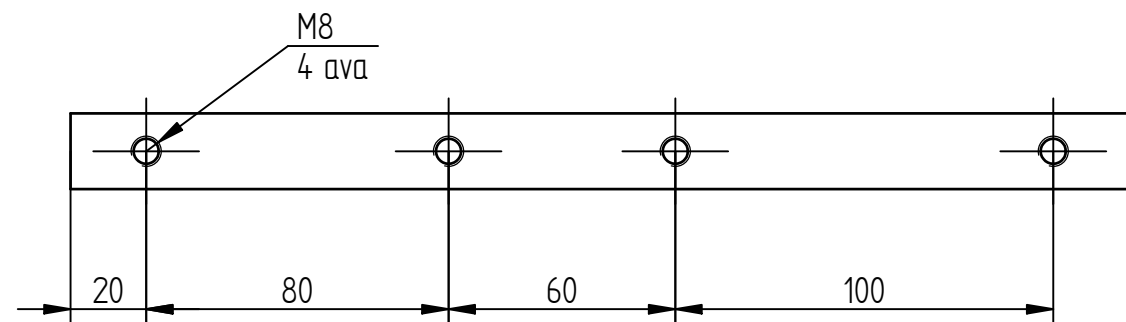
| | Materjal | Märkimata piirhälbed | Mass | Mööd 1:5 |
|-------------|----------------|----------------------------------------------------------|------|-------------|
| Teostas | Hando Leichter | Katsestand Leht 1 Tähis TA 13/080413 A 01 00 K | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMU TE - TA | | | | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

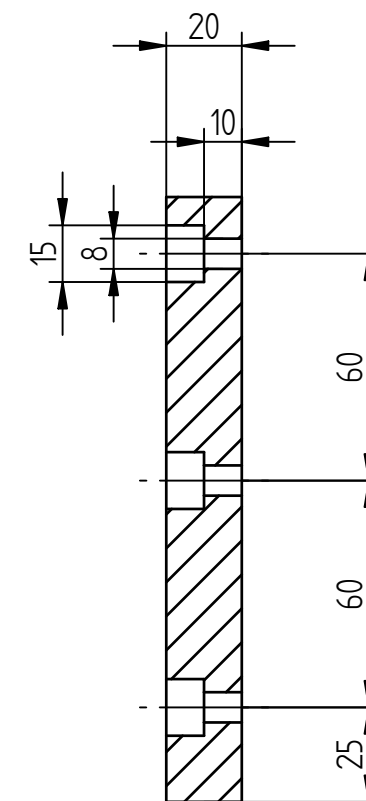


| | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 5:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Alusraam | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 01 D | |

10 üleni
v.a. kui ei ole märgitud teisiti



SECTION A-A

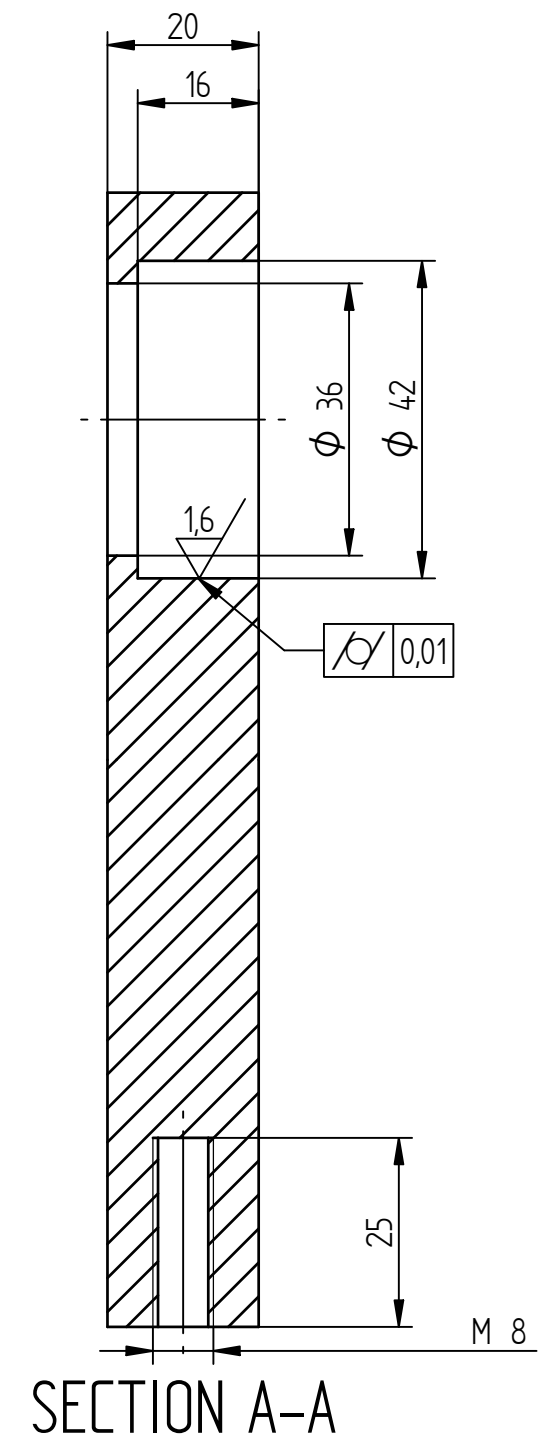
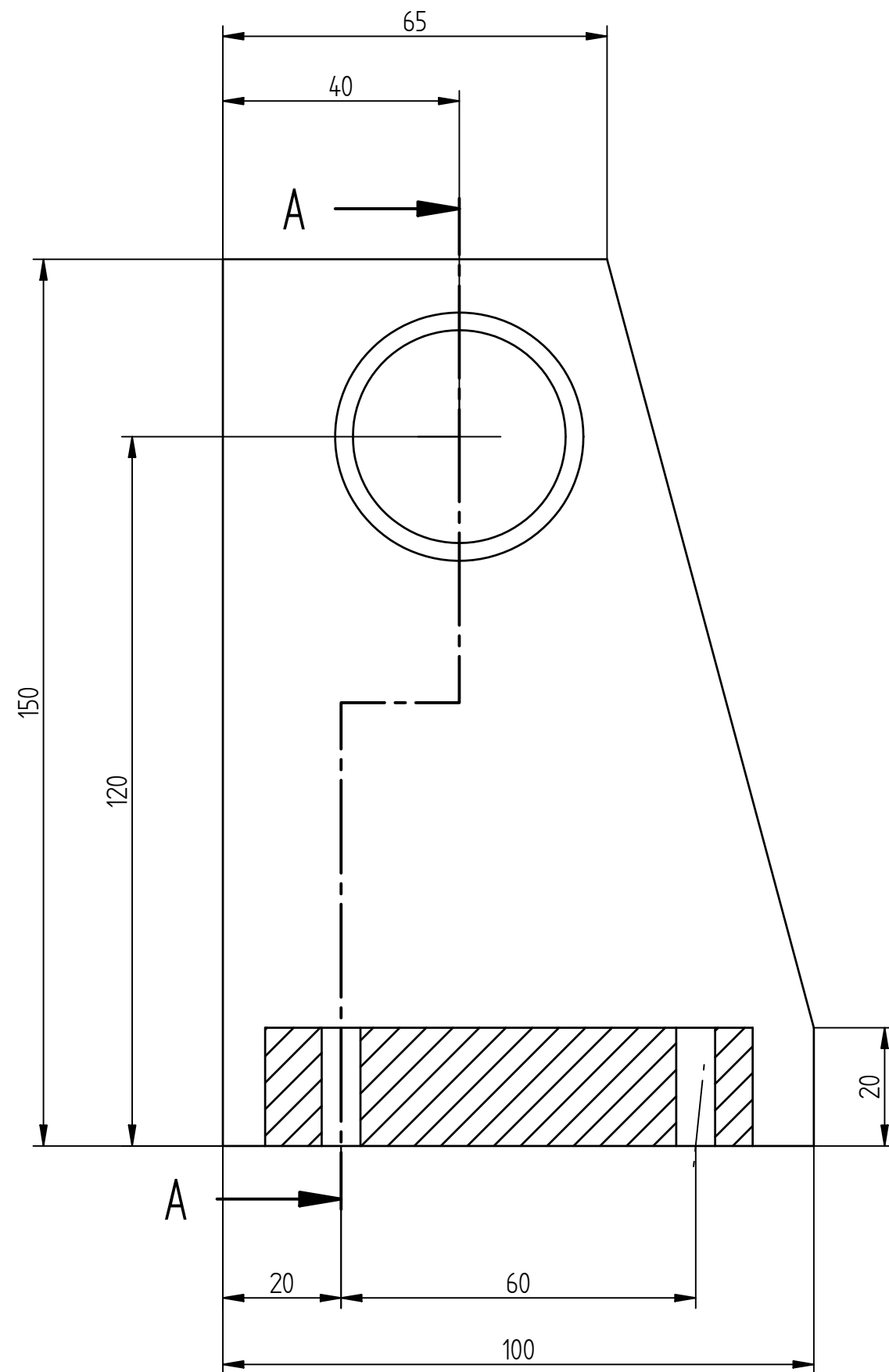


SECTION B-B

| | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:2 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Laagripukk | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 02 D | |

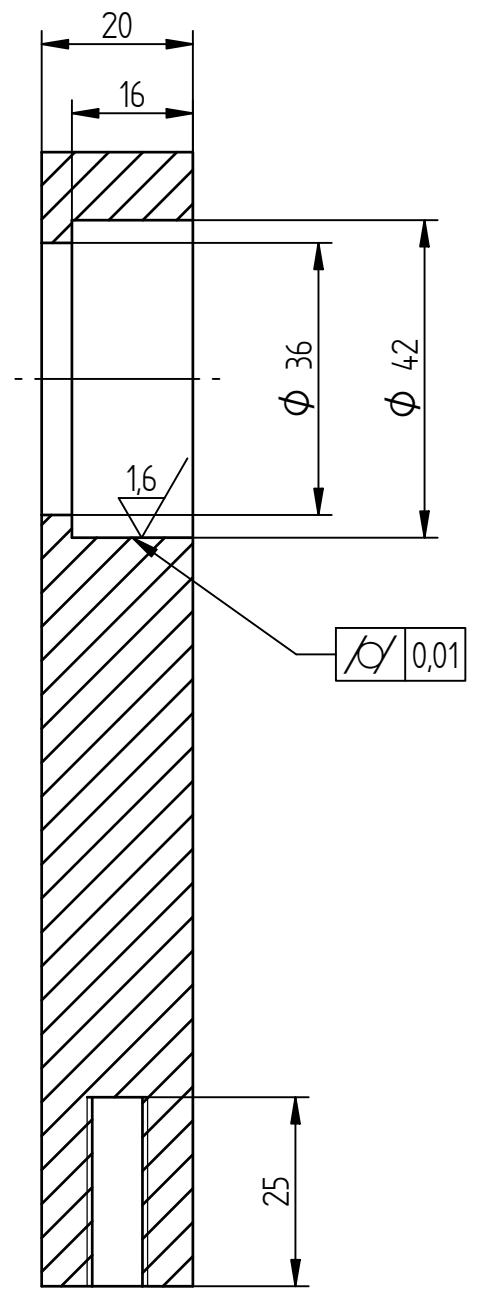
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

10 üleni
v.a. kus on määratud teisiti

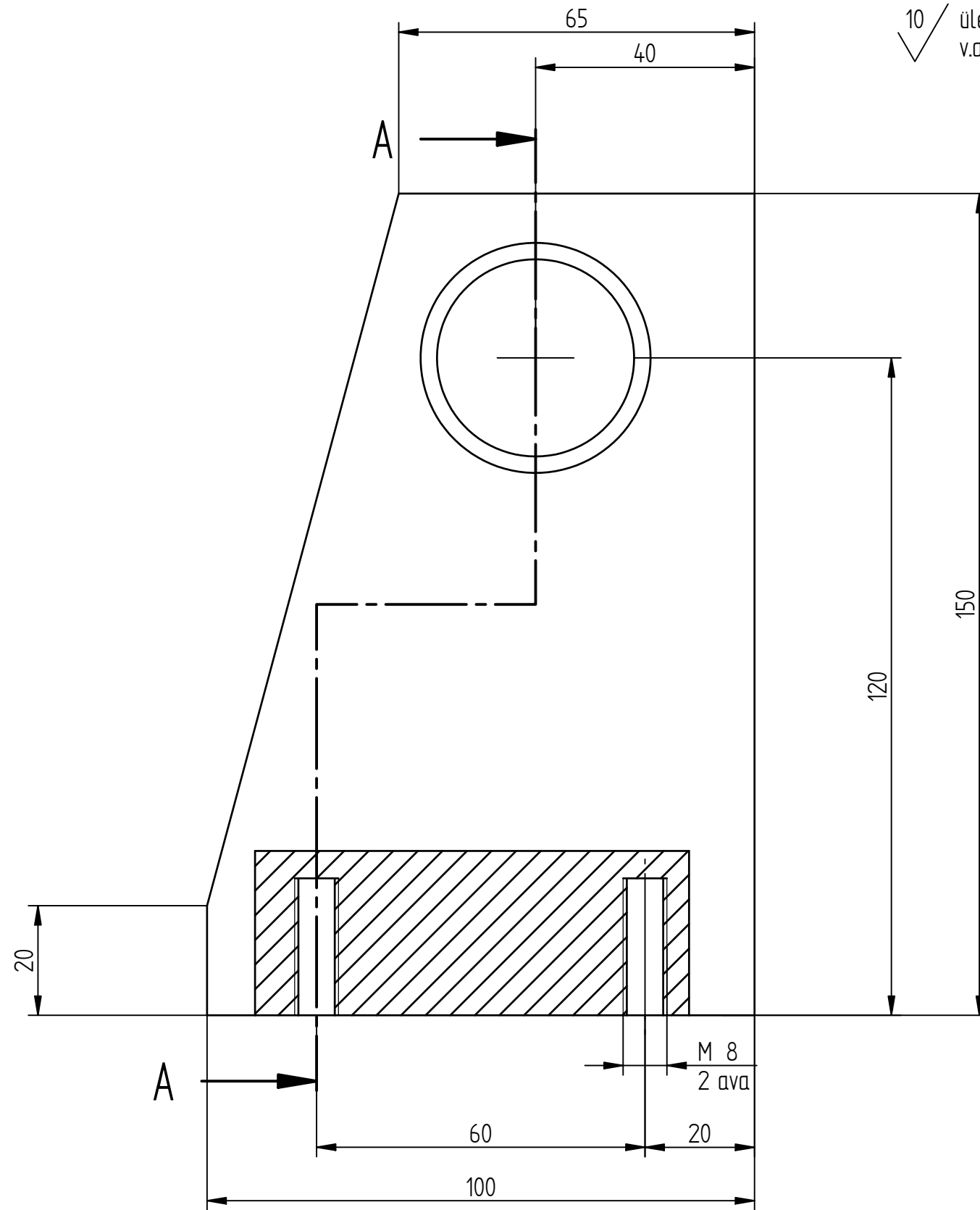


| | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Laagripukk | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 03 D | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

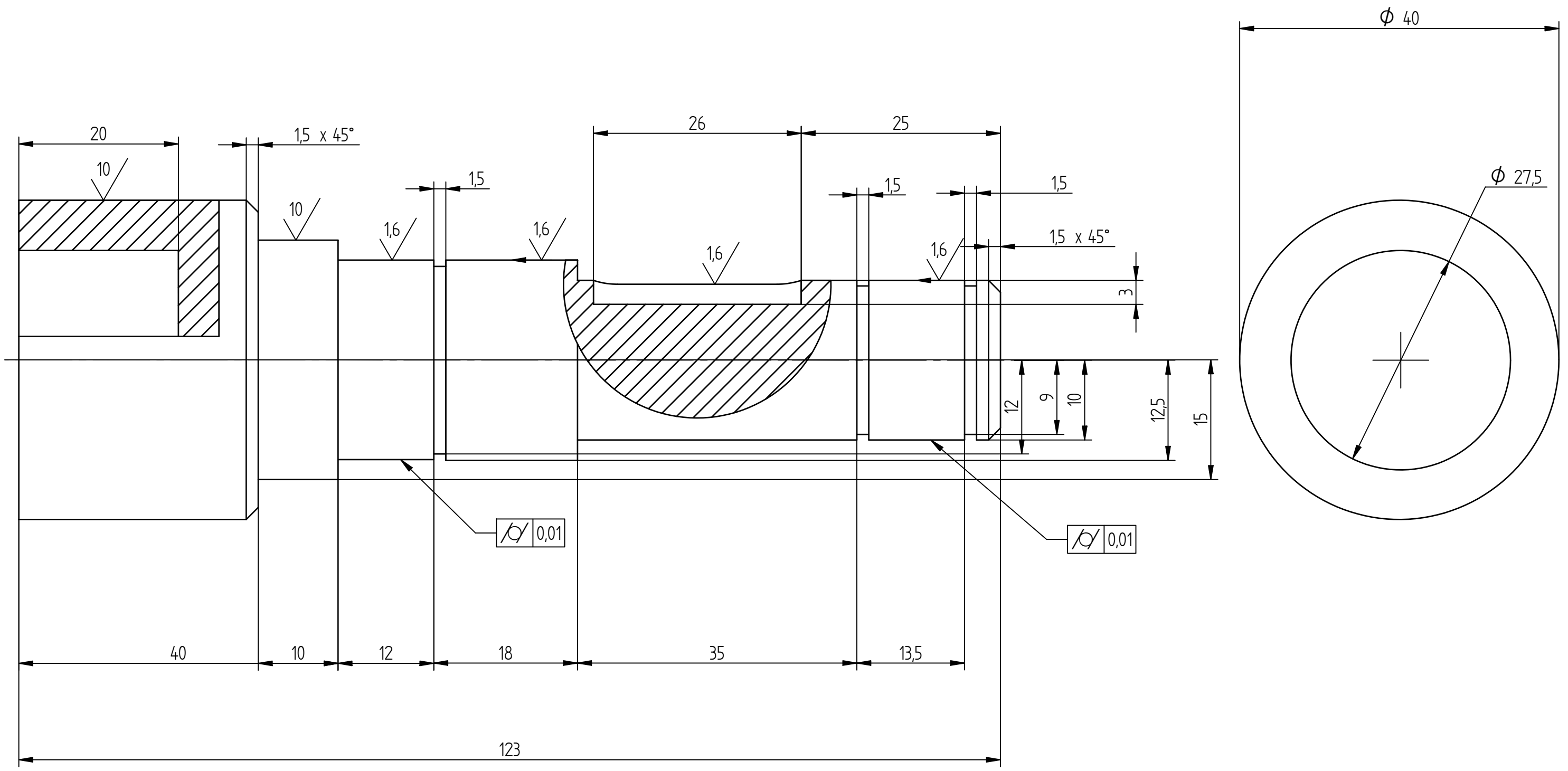


SECTION A-A



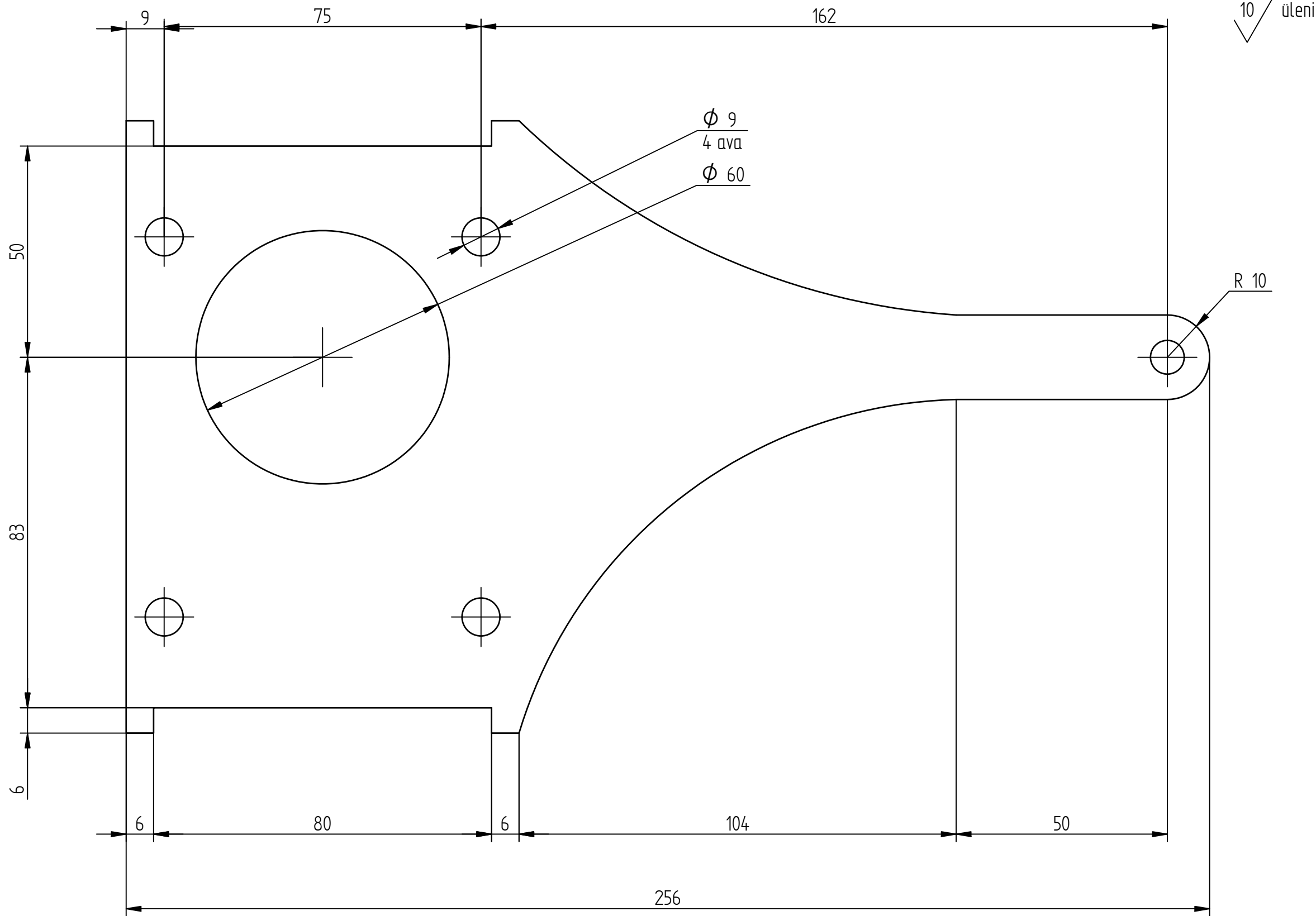
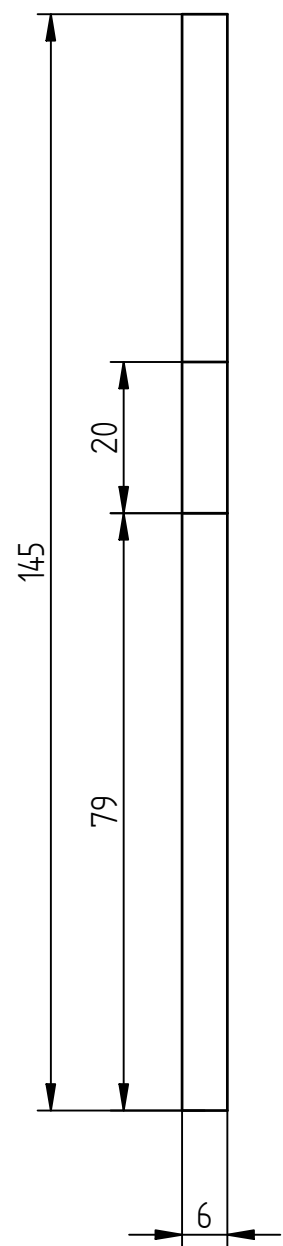
10/ üleni
v.a. kus on määratud teisiti

| | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Laagripukk | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 04 D | |



| | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 2:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Võll | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 05 D | |

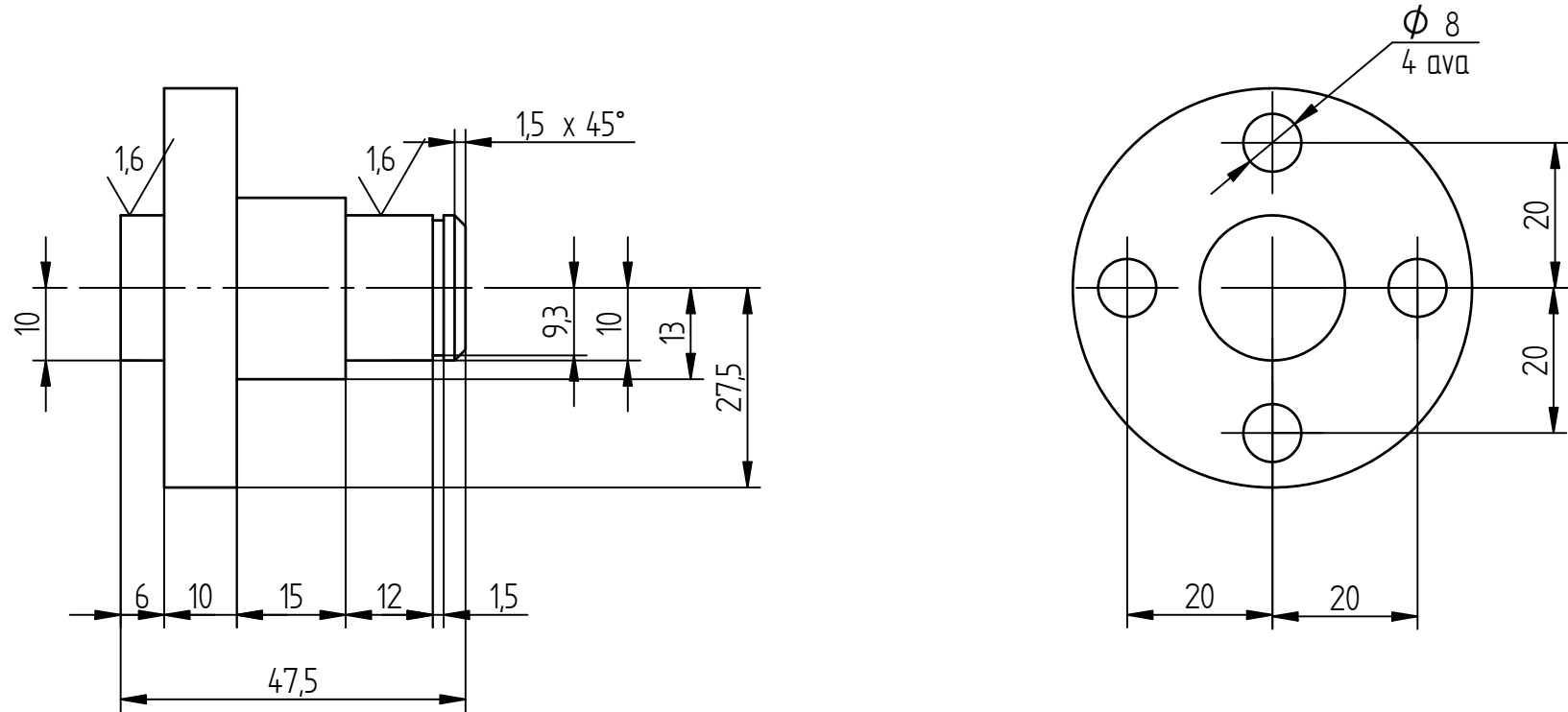
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| | | | | |
|------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:2 |
| Teostas | Hando Leichter | Jõuõlg | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 06 D | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

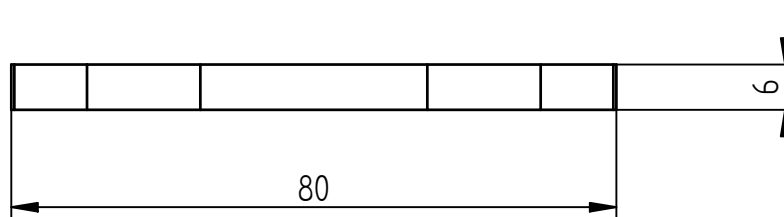
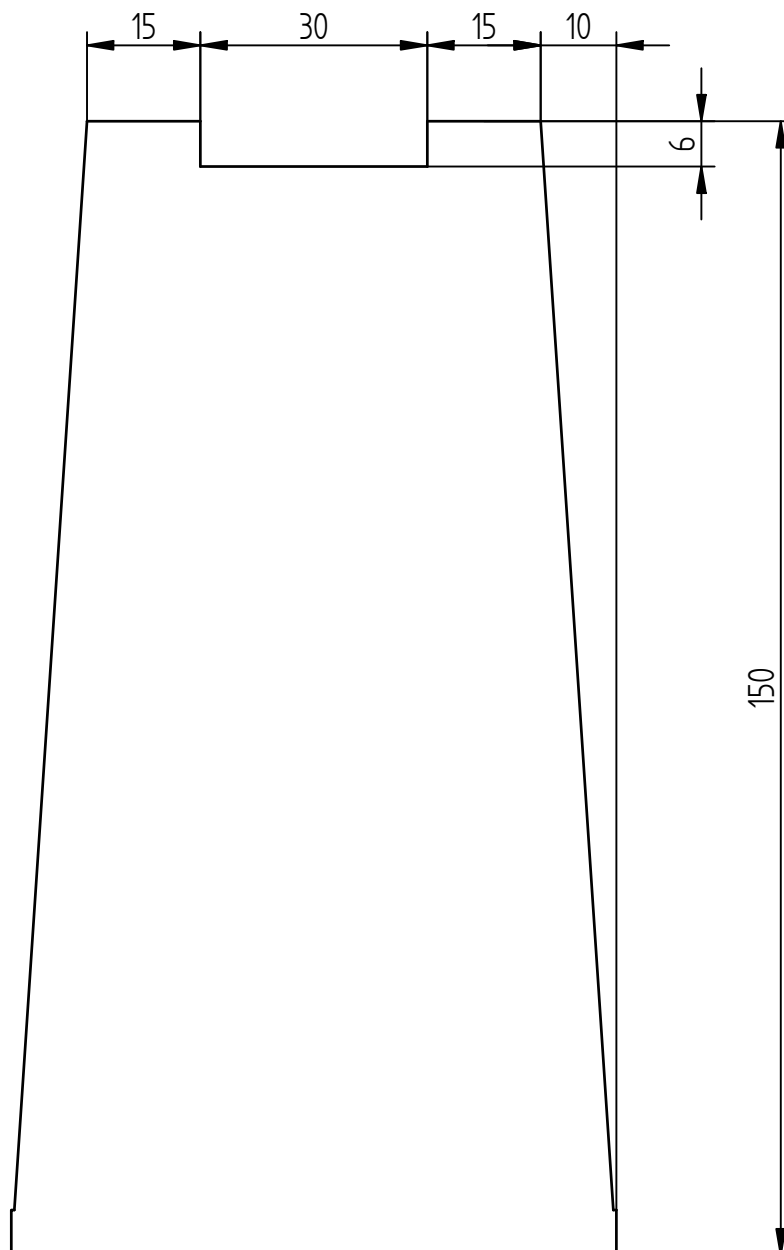
10/ üleni
v.a. kus on määratud teisiti



| | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mööd 1:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Võll | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 07 D | |

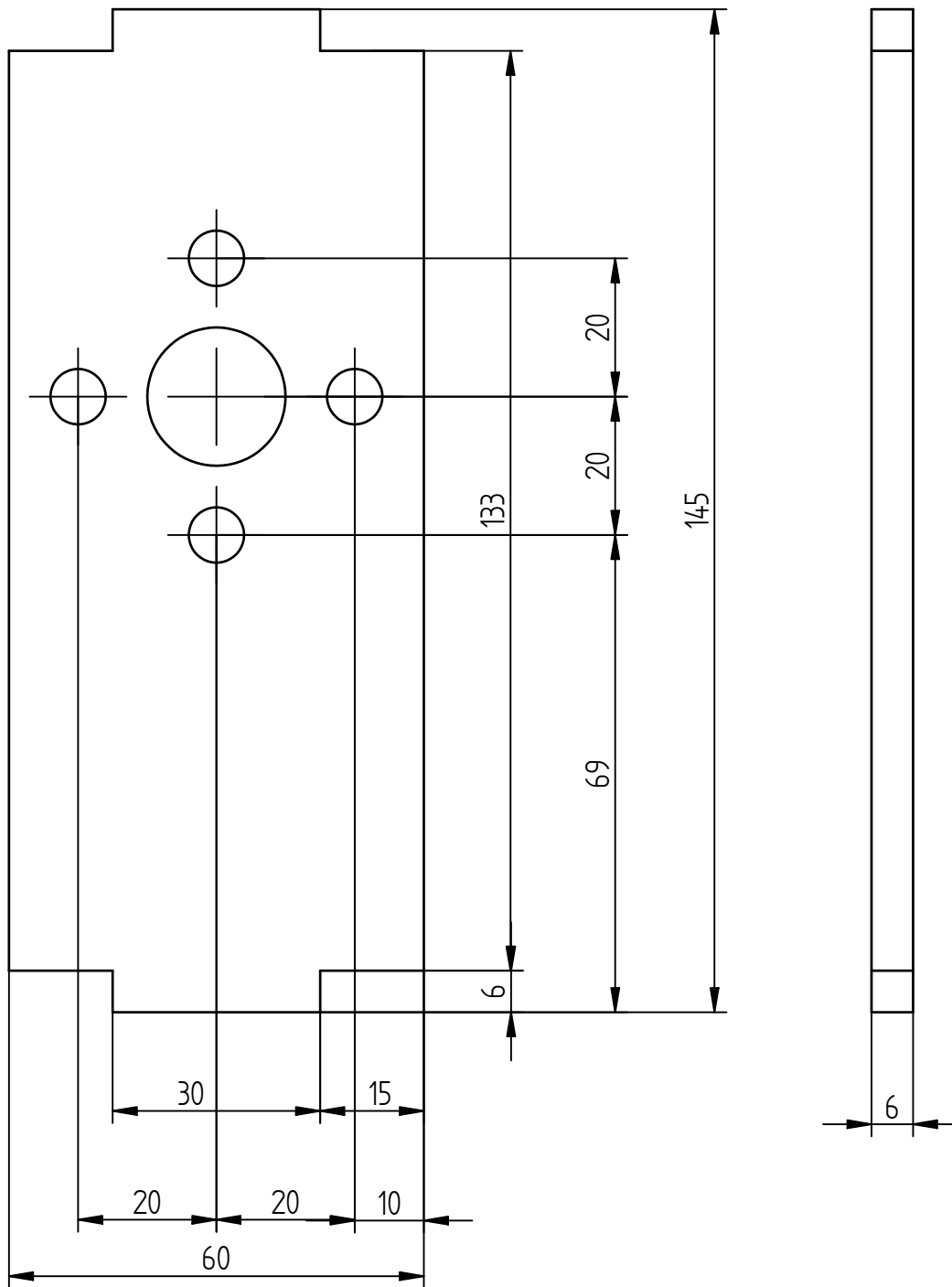
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

10 / üleni

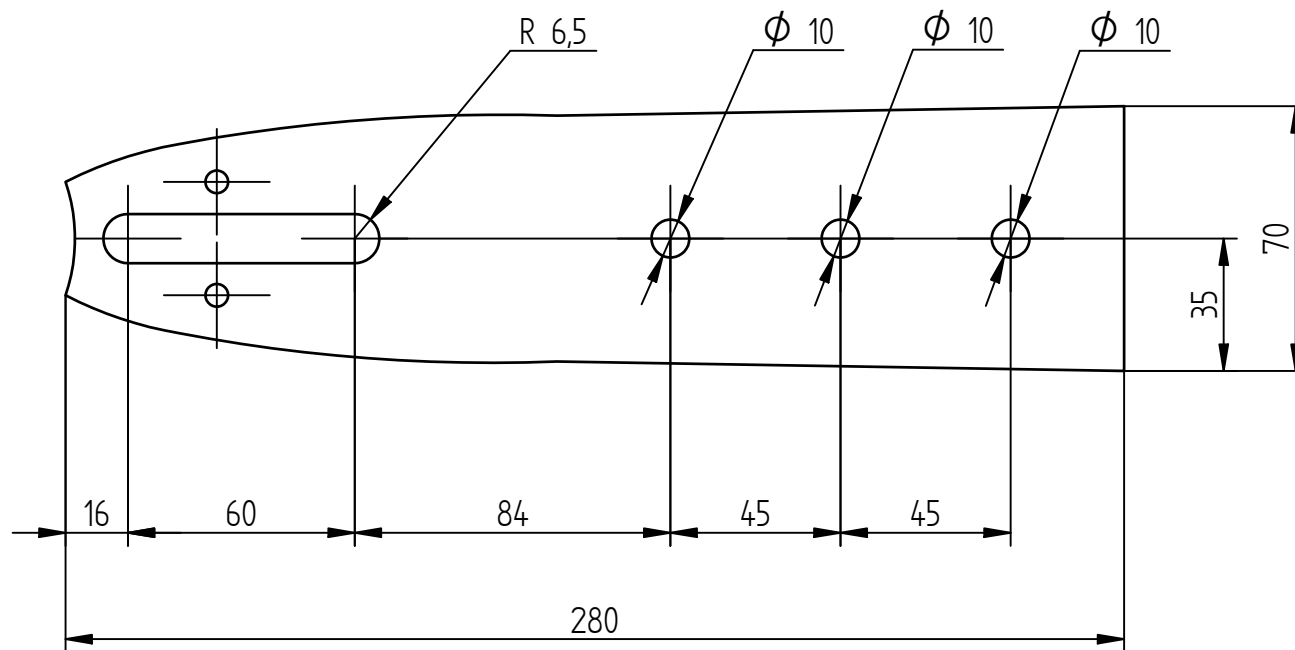


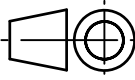
| | | | | | |
|------------------|-----------|----------------|---------------------------------|------|-------------|
| | Materjal | Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mööd 1:1 |
| | Teostas | Hando Leichter | Nimetus Tugiplaat | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 08 D | | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

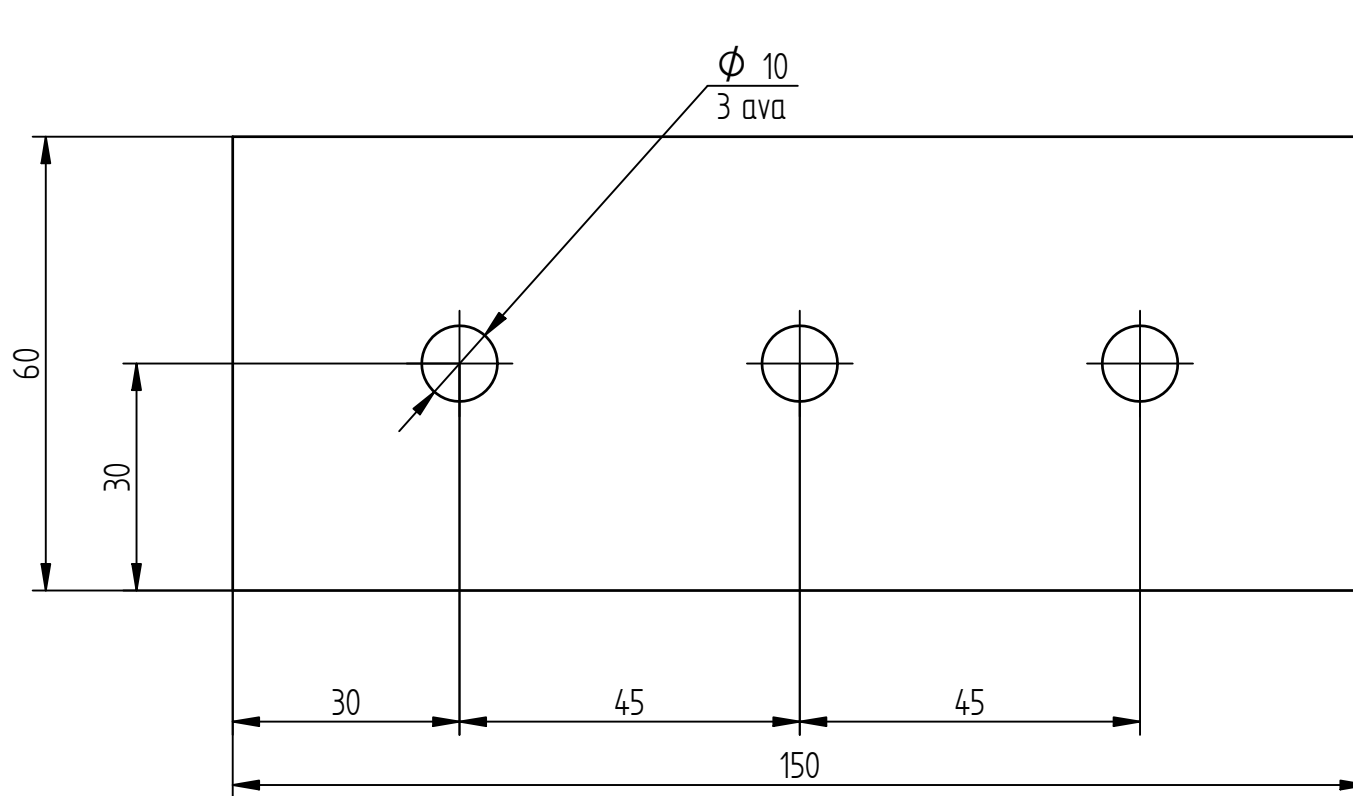


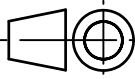
| | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:1 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Tagumine tugisein | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 09 D | |



| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------|
|  | Materjal | Märkimata piirhälbed | Mass | Mööd 1:2 |
| Teostas | Hando Leichter | Nimetus Juhtplaat | | |
| Kontrollis | Arne Küüt | | | |
| Kinnitas | Arne Küüt | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 10 D | |

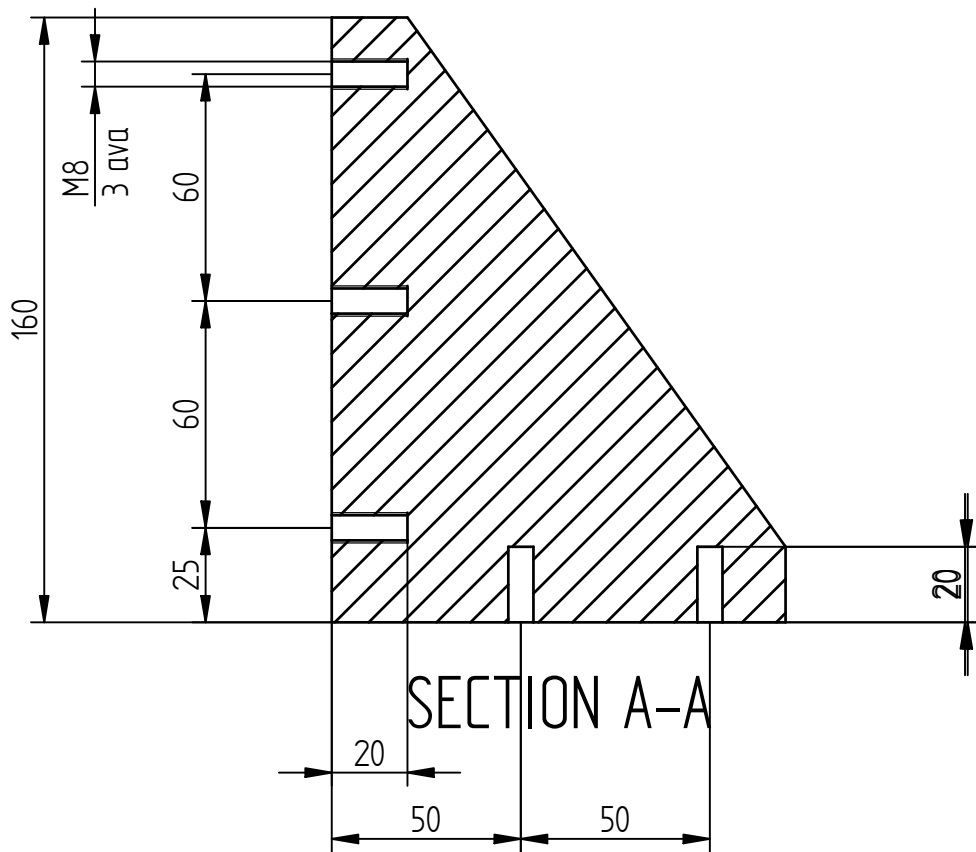
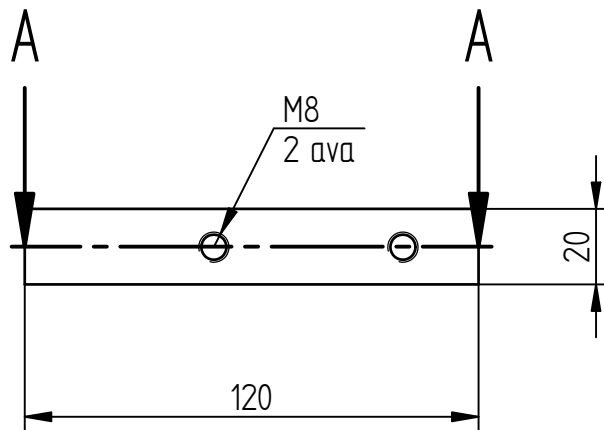
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------|
|  | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mööd 1:1 |
| | Teostas Hando Leichter | Nimetus Distsants plaat | | |
| Kontrollis Arne Küüt | | | | |
| Kinnitas Arne Küüt | | | | |
| EMÜ TE-TA | | Leht 1 | Tähis TA 13/080413 A 01 11 D | |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

10 üleni



| | | | | |
|-------------------------|---------------------------------|------------------------|------|-------------|
| | Materjal Teras 45 | Märkimata piirhälbed | Mass | Mõõt 1:2 |
| | Teostas Hando Leichter | Nimetus Tugi | | |
| Kontrollis Arne Küüt | | | | |
| Kinnitas Arne Küüt | Tähis TA 13/080413 A 01 12 D | | | |
| EMÜ TE-TA | | | | |

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja/või üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Hando Leichter

(isikukood)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Väikese töömahuga sisepõlemismootori katsestend,

mille juhendaja on Arne Küüt,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

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

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

alkiri

Tartus, 24.05.2014