

Rami Töllikkö

HÖYRYNKEHITTIMEN MODERNISOINTI

Opinnäytetyö
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma


Kesäkuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 4.6.2010
Tekijä(t) Rami Töllikkö	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Höyrykehittimen modernisointi		
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö on tehty ristiinalaiselle Steamrator Oy:lle. Steamrator Oy suunnittelee, valmistaa ja kokoaa höyry- ja lämmitysjärjestelmiä sekä betonivalumuotteja. Pääosa tuotteista on vakioituja, mutta osa tehdään tarvittaessa räätälöitynä asiakkaan toiveiden mukaan. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella paranneltu versio 3000 kW:n höyrykehittimestä.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin suunnittelemalla kustannustehokkaampia ratkaisuja käyttäen pohjana vanhaa höyrykehittintä ja sen piirustuksia. Tavoitteena oli rakenteen yksinkertaistaminen niin rungon kuin etuluukunkin osalta, jotta valmistuskustannuksia saataisiin pienennettyä. Lisäksi kehittimellä tuli olla tietyt ulkoiset mittasuhteet lähinnä leveyden suhteen. Toisena tärkeänä tavoitteena oli saada käytön aikana etuluukkuun syntyvä lämpö hyötykäyttöön polttimen imuilman esilämmityksessä, integroimalla luukkuun läpi kulkevat jäähdytysaukot.</p> <p>Opinnäytetyön toteutus vaati paljon suunnittelua, 3D-mallinnusta ja lujuuslaskelmien laskentaa. Olen käyttänyt apuna aiheeseen liittyvää tietoa netistä ja lujuuslaskennassa olen käyttänyt sekä kirjoista että standardeista löytyviä laskentakaavoja. Mallinnuksessa ja piirrustusten teossa käytin Vertex G4 -mallinnusohjelmaa.</p> <p>Tavoitteisiin päästiin melko hyvin. Rakennetta saatiin yksinkertaistettua huomattavasti etenkin rungon osalta ja halutut mittasuhteet saavutettiin. Etuluukun jäähdytysaukot suunniteltiin jo olemassa olevien ideoiden pohjalta, mutta niiden toimivuudesta saadaan tarkempaa tietoa vasta prototyypin valmistuksen ja testauksen jälkeen. Tämän opinnäytetyön suunnitelmat ja havainnot ovat pohjana jatkossa tapahtuvalle kehitystyölle.</p>		
Asiasanat (avainsanat) Lujuus, standardit, rakenne, runko, suunnittelu, höyry		
Sivumäärä 17 s. + liitt.26 s.	Kieli Suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010060411495
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Markku Kemppi	Opinnäytetyön toimeksiantaja Steamrator OY	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 4 June 2010
Author(s) Rami Töllikkö	Degree programme and option Machine and production technology	
Name of the bachelor's thesis Modernisation of a steam generator		
Abstract <p>The bachelor's thesis have been made to Steamrator Oy. Steamrator Oy designs, constructs and assembles steam and heating systems. Most of their products are complete packages but some are tailored according to customer needs. The purpose of this study is to develop an improved version of the 3000 kW steam generator.</p> <p>The work has been done by looking for cost efficient solutions based on the plans of the old steam generator. The objective was to simplify the structure in order to reduce construction costs of the machine. Another important objective was to use the heat from the front hatch in the preheating of the intake air for the burner by integrating cooling shafts in to the hatch.</p> <p>The making of this thesis required a lot of designing, 3D modelling and strength calculations. I have gathered information for this thesis from the internet and used equations from books and standards in the strength calculations. In the modelling I have used Vertex G4 modelling software.</p> <p>The objectives were met fairly well. Especially the structure of the frame was considerably simplified. The cooling shafts on the front hatch were designed based on already existing ideas but more accurate information on how the shafts work will be determined after the construction and testing of the steam generator. The designs and observations of this thesis will be the base for the future development</p>		
Subject headings, (keywords) Strength, standards, structure, body, planning, steam		
Pages 17+ 26	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010060411495
Remarks, notes on appendices		
Tutor Markku Kemppe	Bachelor's thesis assigned by Steamrator OY	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	2
2	YRITYSESITELY	3
2.1	Yrityksen historia	3
3	TIETOA HÖYRYKEHITTIMESTÄ.....	4
3.1	Käytettävät poltinmallit 3000 kW:n höyrykehittimelle.....	5
4	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	6
5	TOTEUTUS	7
5.1	Rungon suunnittelu.....	7
5.2	Etuluukun suunnittelu.....	11
5.3	Materiaalin valinta.....	13
6	LUJUUSLASKENNAN TARKASTELU	15
7	YHTEENVETO	17

LÄHTEET

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on 3000 kW:n höyrykehittimen modernisointi Steamrator Oy:lle. Steamrator Oy on ristiinassa sijaitseva höyry- ja lämpölaitoksia sekä betonivalumuotteja suunnitteleva ja valmistava yritys. Nykyisten höyrykehittimien rungot on suunniteltu n. 20 vuotta sitten, eikä suunnitelmia ole sen jälkeen suuremmin muutettu. Rungon valmistus on hidasta ja vaatii paljon hitsaus- ja kokoonpanotyötä. Siksi laitteen rakennetta ja ominaisuuksia halutaan parantaa, jotta sen hyötysuhde paranisi ja siitä tulisi kustannustehokkaampi valmistaa.

Rungot tehdään pääasiassa käsityönä ja niissä on useita ns. pienosia. Tavoitteena on höyrykehittimen rakenteen yksinkertaistaminen, jotta työvaiheiden ja osien määrää saataisiin pienennettyä. Lisäksi on tarkoitus tutkia voidaanko rungon valmistukseen käytettävä materiaali korvata halvemmalla materiaalilla, jotta valmistuskustannuksia saadaan pienennettyä.

Myös höyrykehittimen etuluukku on monimutkainen valmistaa ja lisäksi se kuumenee käytön aikana erittäin kuumaksi. Tavoitteena on yksinkertaistaa myös luukun rakennetta ja hyödyntää etuluukussa oleva lämpöenergia polttimen imuilman esilämmitykseen integroimalla jäähdytyskanavat luukkuun. Näin höyrykehittimen hyötysuhdetta saataisiin parannettua.

2 YRITYSESITTELY

Steamrator Oy on höyry- ja lämpölaitoksia sekä betonivalumuotteja suunnitteleva ja valmistava yritys. Yritykseen kuuluu oman huoltoyhtiön, ST-Huolto Oy:n, lisäksi tytäryhtiö Venäjällä, jolla on toimipisteet Pietarissa, Moskovassa, Kazanissa ja Novosibirskissa. OOO Steamrator vastaa Venäjän ja sen lähialueiden myynnistä, laite-toimituksien huolloista ja käyttöönotoista. [1]

Tärkeimmät vientikohteet ovat Venäjä, Baltian maat, Ruotsi, Norja ja Puola. Laitostoimituksia on tehty yli 3000 noin 30 eri maahan. Kotimaassa toimituksia on tehty esimerkiksi Orion-yhtymälle, Fazerille, Vaasan&Vaasalle, VTT:lle sekä Lindströmille. [1]

2.1 Yrityksen historia

Steamrator Oy aloitti toimintansa Ristiinassa vuonna 1982 kahden työntekijän metallialan konepajana. Toiminta oli pääasiallisesti tuotekehittelyä ja prototyyppien testausta. Varsinainen tuotanto aloitettiin 15 työntekijän voimin vuonna 1983, jolloin tuotantoon otettiin pöytämuottikalustot sekä höyrynkehittimet. Vuonna 1984 yritys muutti omiin tuotantotiloihin ja henkilökunta kasvoi 30:een. [1]

Markkinoiden ensimmäinen kannettava höyrynkehitin, Höyry-Toho, kehitettiin vuonna 1986 ja ensimmäinen energiakontti tuotettiin vuonna 1987. Vuonna 1989 teollisuushallia laajennettiin jälleen ja työntekijöiden määrä kasvoi 35 henkilöön. Vuonna 1990 suunniteltiin Steam-Elmo sähköhöyrykattila. Vuonna 1991 perustettiin tytäryhtiö ST-Huolto Oy after sales-palveluja varten. Vuotta myöhemmin käynnistettiin vienti Viroon. [1]

Venäjällä aktiivinen toiminta aloitettiin vuonna 1992. Myyntiä ja huoltoa varten perustettiin tytäryhtiö OOO Steamrator Pietariin vuonna 1993. Moskovan myyntitoimisto avattiin vuonna 2001 ja vuonna 2003 Venäjän toimintaa laajennettiin Kazaniin ja Novosibirskiin. Vuonna 2003 tuotekehityksen tuloksena syntyi Roadrunner, kaksipii-rijärjestelmällä toimiva kuumahiekoituskehitin, josta jatkokehiteltiin vuonna 2005 muun muassa öljyteollisuuden käyttöön soveltuva kuumavesikehitin. Tänä päivänä

Steam-Yhtiöiden palveluksessa työskentelee noin 50 oman alansa ammattilaista eri puolilla maailmaa. [1]

3 TIETOA HÖYRYKEHITTIMESTÄ

Höyry on nopea ja taloudellinen vaihtoehto korkeiden lämpötilojen ylläpitämiseen ja kehittämiseen. Höyrykehittämiä voidaan käyttää aina lämmöntuottamisesta sterilointiin ja niillä tuotettua höyryä voidaan käyttää monissa teollisuuden prosesseissa (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Esimerkkejä höyryn hyödyntämisestä eri toimialoilla. [1]

Toimiala	Avohöyrynkäyttö	Epäsuora höyrynkäyttö
Betonituotteiden valmistus	muottien lämmitys, kuumabetonin teko, kiviaineksen sulatus, betoniveden lämmitys	muottien lämmitys, betoniveden lämmitys, kiviaineksen lämmitys, lämmönvaihtimet
Sahat		puutavarakuivaamot
Rakennuspuusepän teollisuus		maalin kuivaus
Maidonjalostus	pesukeskus, hapatteen, valmistus, voikirnun pesu	hapatteen valmistus, voikirnun pesu pastörointi, kuivaus, kermatankit, keittokattilat
Kasvis- ja hedelmätuotteiden valmistus	pesu, kaltausaltaat, autoklaavi, sterilointi, keitto ja kypsennys	keittopadat autoklaavit
Vaatteiden ja tekstiilien valmistus	pesu, prässit, värjäyskoneet	mankelit, prosessivesien, lämmitys, kuivausraamit, prässit

Höyrykehitin on laite, jolla muutetaan vettä höyryksi kuumentamalla sitä ns. höyrykierukassa polttimen avulla. Polttimet ovat joko raskasöljy-, kevytöljy-, kaasu- tai yhdistelmäpolttimia. Lisäksi höyrykehittimeen voidaan asentaa savukanavan lähdön jatkeeksi niin sanottu ekonomaiseri (kuva 1), minkä avulla savukaasujen lämpö voidaan käyttää hyödyksi syöttöveden esämmityksessä.



KUVA 1. Ekonomaiseri kiinnitettynä höyrykehittimen savukanavan lähtöön.
[Oma kuva]

Steamrator-höyrykeskuksia valmistetaan kokoluokissa 300-5000 kW. Ne voidaan sijoittaa joko olemassa oleviin tiloihin tai rakentaa tehtaalla lämpöeristettyyn, teräsraakenteiseen konttiin valmiiksi kattilahuoneeksi. Keskus sisältää tarpeen mukaan joko höyrykehittimen tai höyrykattilan, tarvittavat putkistot, venttiilit, säiliöt, varolaitteiston, ohjauskeskuksen sekä muut tarvittavat varusteet. [1]

3.1 Käytettävät polttinmallit 3000 kW:n höyrykehittimelle

Käytettävät polttin mallit ovat kevytöljylle KP-150H ja KP-150M, kaasulle GP-140M, GP-150H ja GP-150M sekä yhdistelmäpolttimille GKP-150H ja GKP-150M (liite 7). H mallimerkinnän lopussa on merkki 2-teho säädölle, mikä tarkoittaa, että polttimet

toimivat automaattisesti 1- tai 2-teholla kuorman suuruudesta riippuen. M puolestaan on moduloiva säätö. Säättömoottori on kytketty akselin välityksellä öljymääränsäätöventtiiliin ja pistesäätölaitteeseen. Moduloiva poltin toimii koko tehoalueella kuormasta riippuen. [4]

Eri poltinmalleissa käytettävät polttoaineet ovat:

KP-malleissa:

-kevyt polttoöljy, viskositeetti 4-12 mm²/s, +20 C°

GP-malleissa:

- maakaasu, toisen kaasuryhmän alaryhmän

H- ja E-kaasut (*laiteluokat I_{2H} ja I_{2E}*)

GKP- ja GRP-yhdistelmäpolttimissa:

- polttoaineiden ominaisuudet kuten edellä,
maakaasu/kevyt polttoöljy,

- polttoaineiden ominaisuudet kuten edellä,
maakaasu/raskas polttoöljy. [4]

4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Ensimmäisessä suunnittelupalaverissa Steamrator Oy:n henkilökunnan kanssa, keskusteltiin höyrykehittimen suunnitteluun liittyvistä rajoitteista ja tavoitteista. Suurimmat rajoitukset kehittimen rungon suunnittelulle olivat sen ulkoiset mitat ja materiaalien riittävä lämmön kesto. Tärkeimmiksi tavoitteiksi höyrykehittimen rungon suunnittelussa nousivat leveyden pienentäminen, sopivan valmistusmateriaalin valinta ja rakenteen yksinkertaistaminen. Etuluukun suunnittelun tavoitteina ovat luukun ilmajäähdytys, jäähdytysilman käyttö polttimen sisäänottoilman esilämmityksessä ja rakenteen yksinkertaistaminen.

Höyrykehittimen ulkoisista mitoista tärkein on leveys. Leveyden tulee olla enintään 1500 mm, koska Venäjän turva normien mukaan käytävätilaa on jätävä vähintään 700 mm. Lämpöeristetyn kontin leveys on 2200 mm ja kehittimen nykyinen leveys on 1550 mm, joten kehittimen leveyttä on pienennettävä, jotta kuljetukseen ei tarvitse

ottaa isompaa konttia ja kustannuksissa säästetään. Pituus ja korkeus pyritään pitämään lähellä nykyisiä arvoja.

Käytettävien materiaalien lämmönkeston on oltava riittävä, Sillä lämpötila voi olla palotilan vaipan etuosassa jopa 500 C°. Vanhojen höyrykehittimien vaipassa on käytetty riittämättömän lämmönkeston omaavaa materiaalia (S235 JRG2) mikä on johtanut siihen, että ajan mittaan sen etuosa on hilseillyt puhki. Nykyisissä kehittimissä tämä ongelma on ratkaistu tekemällä vaippa kestävämmästä materiaalista (13CrMo44) ja lisäämällä ikään kuin varmuuden vuoksi etuosaan 500 mm leveä panta tulenkestävää terästä (THERMAX 1.4828). Tämä ratkaisu on monimutkainen valmistaa, joten sitä tulisi parantaa.

5 TOTEUTUS

Aloitin opinnäytetyön toteuttamisen tutkimalla nykyisen höyrykehittimen piirustuksia, jotka sain Steamrator Oy:n henkilökunnalta. Niistä saa hyvän kuvan siitä, mitä kaikkea parannettavaa kehittimen rakenteessa on. Aiheeseen liittyvää tietoa etsin kirjastosta ja netistä. Suunnittelussa tarvittaviin laskutoimituksiin etsin kaavoja lujuusopin kirjoista, tekniikan taulukkokirjoista, omista lujuusopin muistiinpanoista sekä SFS-EN 2622 ja prENV 1993-1-6 standardeista.

5.1 Rungon suunnittelu

Tutkittuani saamiani nykyisen höyrykehittimen piirustuksia huomasin että, sen runko-osuus koostuu varsinaisesta rungosta ja palotilan vaipasta, joiden väliin on laitettu eristevilla. Lisäksi palotilan vaipan sisällä sijaitsee höyrykierukka, mikä on valmistettu spiraalin muotoon taivutetuista höyryputkista (kuvat 2 ja 3).



KUVA 2. Hörykierukka palotilan vaipan sisällä. [Oma kuva]



KUVA 3. Hörykierukka sisältä. [Oma kuva]



KUVA 4. Valmis 3000 kW:n höyrykehitin ilman poltinta. [Oma kuva]

Varsinainen runko (kuva 4) on valmistettu kulmarauodoista ja se koostuu suorakaiteen muotoisesta kehikosta, mikä on tuettu sivuilta kulmarauodoista tehdyillä ristikolla ja alta sekä päältä vaakasuorilla kulmarauodoilla. Rungon aukkokohdat on päällystetty ruuviliitoksin kiinnitetyllä alumiini pellillä.

Sisällä oleva palotilan vaippa on tehty sylinterin muotoon mankeloidusta kuumalujasta teräslevystä (13CrMo44) ja sen takaosaan on hitsattu samaa materiaalia olevasta teräslevystä savukanavan lähtö, takalevy ja räjähdysluukku. Lisäksi vaipan sisällä on höyrykierukan kannattimet, mitkä on tehty (S235 JRG2) rakenneteräksestä (kuva 2).

Käsityönä tehtävä runko on erittäin työläs ja hidas valmistaa. Tähän saadaan ratkaisu jättämällä runkokehikko kokonaan pois. Palotilan vaipasta voidaan tehdä niin sanotusti itsekantava, eli tarpeeksi kestävä, jotta erillistä runkoa ei tarvita. Tämä saavutetaan tekemällä vaipasta riittävän paksu, jotta se kestää siihen kohdistuvat jännitykset lommahtamatta. Näin rungon valmistusaika ja työmäärä pienenevät huomattavasti

Koska rungon rakennetta ei ole muutettu 20 vuoteen, niin sen leveyden pienentämiseen löytyy ratkaisu käytettävien poltinten liekkien mittasuhteista. Aiemmin on käytetty raskasöljypolttimia, missä liekinpituus on n. 3000 mm ja halkaisija n. 800 mm.

Nykyisin käytetään kuitenkin pienempileikkisiä kevytöljy- ja kaasupolttimia. Kevytöljypolttimen liekinpituus on n. 2800 mm ja halkaisija n. 700 mm, kun taas kaasupolttimen liekinpituus on n. 2500 mm ja halkaisija n. 500 mm /2/. Tämän ansiosta höyrykierukan halkaisijaa voidaan pienentää tarvittava määrä, jotta koko rungon halkaisija saadaan alle 1500 mm.

Muuttamalla kierukan sisähalkaisijaksi 1000 mm saadaan rungon paksuus, eristeen paksuus ja päällyspellin paksuus mukaan luettuna kehittimen halkaisijaksi 1462 mm ilman, että polttimen liekin ja höyryputkien väli jäisi liian pieneksi ja aiheuttaisi putkien nokeutumista. Lyhemmän liekin ansiosta, kierukan halkaisijan pienentämisestä aiheutuva hyötysuhteen väheneminen voidaan korvata lisäämällä sen takaosaan tarvittava määrä höyryputkea.

Palotilan vaippaan hitsataan kiinni etu- ja takatukilevy, mitkä tukevat vaippaa lommahdukselta ja toimivat samalla rungon jalkoina sekä muiden rungon osien kiinnityskohtina. Nämä tuet valmistetaan 10 mm:n paksuisesta teräslevystä (S235 JRG2) laserleikkausta käyttäen. Leikkauksen yhteydessä levyyn saadaan helposti tehtyä myös nostokannakkeet, mitä voidaan käyttää koneen liikutteluun nostureilla. Lisäksi levyjen alaosa taivutetaan, jotta ne voivat toimia höyrykehittimen jalkoina.

Palotilan vaipan sisälle hitsataan savukaasujen ohjaus levyt samaan tapaan kuin nykyisessäkin, jotta savukaasut ohjautuvat höyrykierukan takaosassa siten, että ne lämmittävät kierukkaa tasaisesti. Lisäksi vaipan takapäähän hitsataan takalevy, mihin laserleikkauksen avulla saadaan tarvittavat kiinnityskohdat rungon muille osille, etu- ja takatukilevyjen tapaan.

Seuraava suunnittelu haaste on mahdollistaa höyrykehittimen nosto ja liikuttelu trukin avulla. Trukki nostokannakkeiden tulee olla riittävän kestävä, jotta ne eivät hajoa nostovaiheessa. Parhaaksi vaihtoehdoksi nostokannakkeiden osalta osoittautui rungon etutukilevyn ja palotilan takalevyn väliin, rungon päälle kiinnitettävät suorakaiteen muotoiset putkipalkit. Samalla palkit tukevat savukanavan lähtöä ja kiinnityslevyä, jonka avulla ekonomaiseri voidaan kiinnittää tukevasti runkoon.

Putkipalkeilla on suuri taivutusvastus ja ne ovat lisäksi kevyempiä muihin saman taivutusvastuksen omaaviin profiileihin verrattuna. Suorakaiteen muotoisessa putkipal-

kissa etuna on etenkin sen pystysuuntaisen taivutusvastuksen suuruus sivuttaissuuntaisen taivutusvastuksen ollessa pienempi, koska kyseisessä tarkoituksessa sivuttaissuunnassa ei taivutuksia juurikaan esiinny.

Rungon päälle sijoitettuna, putkipalkit mahdollistavat turvallisemman kuljetuksen kuin rungon alle sijoitettuna (liite 7). Esimerkiksi äkkijarrutus tilanteissa rungon alta nostetun kehittimen on mahdollista kaatua eteenpäin trukin haarukasta, kun taas päältä nostetussa kaatumismahdollisuus on huomattavasti pienempi. Lisäksi putkipalkit mahdollistavat vesisäiliön tai muiden tarvittavien varusteiden asentamisen koneen päälle palkkien varaan ilman erillisiä tukijalkoja.

Lisäksi isojen osien valmistuksessa jäävät niin sanotut hukkapalat voidaan käyttää hyödyksi höyrykehittimen pienempien osien valmistuksessa. Esimerkiksi ekonomaiserin kiinnityslevy, räjähdysluukun osia ja saranoinnin kannakkeet voidaan valmistaa etu- ja takatukilevyjen hukkapaloista.

5.2 Etuluukun suunnittelu

Nykyisen höyrykehittimen etuluukku (kuvat 4 ja 5) koostuu pääpiirteittäin neliönmallisesta etulevystä, minkä reunat on taivutettu muodostamaan kotelomaisen rakenteen. Kotelon sisällä on hitsattuja tukirakenteita ja eristeenä palosuojalevy. Kotelon päälle on hitsattu luukun keskilevy, minkä päälle on hitsattu tulenkestävästä teräksestä (THERMAX 1.4828) luukun sisempi osa. Keskilevyn ja tulenkestävänlevyn välissä on eristeenä vuorivillalevy.



KUVA 5. Etuluukku kiinnitettynä runkoon. [Oma kuva]

Etuluukun suunnittelussa päätettiin jatkaa rungossa käytettyä pyöreää muotoa. Pyöreän muodon ansiosta pystytään välttämään suuret lämpöjännitykset, joita esiintyy nykyisen höyrykehittimen etuluukun kulmissa (kuva 5). Tämän takia luukkuun ei tarvitse laittaa niin paljon tukirakenteita kuin nykyisessä luukussa ja rakenne yksinkertaistuu.

Tärkeimpänä etuluukun uutena ominaisuutena ovat siihen tulevat jäähdytys aukot, mitkä kulkevat pystysuunnassa luukun ulomman eristelevyn ja etupellin välissä (liite 7). Luukun alle sijoitetaan ohjauspelti, millä lämmin ilma ohjataan polttimen ilmanottoon. Näin etuluukun lämpö voidaan käyttää hyödyksi polttimen sisäänottoilman esilämmityksessä. Lisäksi etulevyyn hitsataan pystysuunnassa kulkevat jäähdytysrivit, mitkä tukevat levyä myös polttimen painosta johtuvaa vääntöä vastaan.

Nykyisen etuluukun sisempi osa on tehty tulenkestävästä teräs levyistä (THERMAX 1.4828), joka on hitsattu kiinni muuhun runkoon niin ikään tulenkestävää terästä olevilla lattarautoilla. Tätä rakennetta saadaan yksinkertaistettua valmistamalla koko sisäpuoli yhdestä osasta paine sorvaamalla (liite 7). Tällä valmistusmenetelmällä saa-

daan aikaan samasta materiaalista ympyrämäinen kuppi, jonka sisälle voidaan laittaa tarvittava eristys ilman erillisten kiinnityslattarautojen hitsaamista.

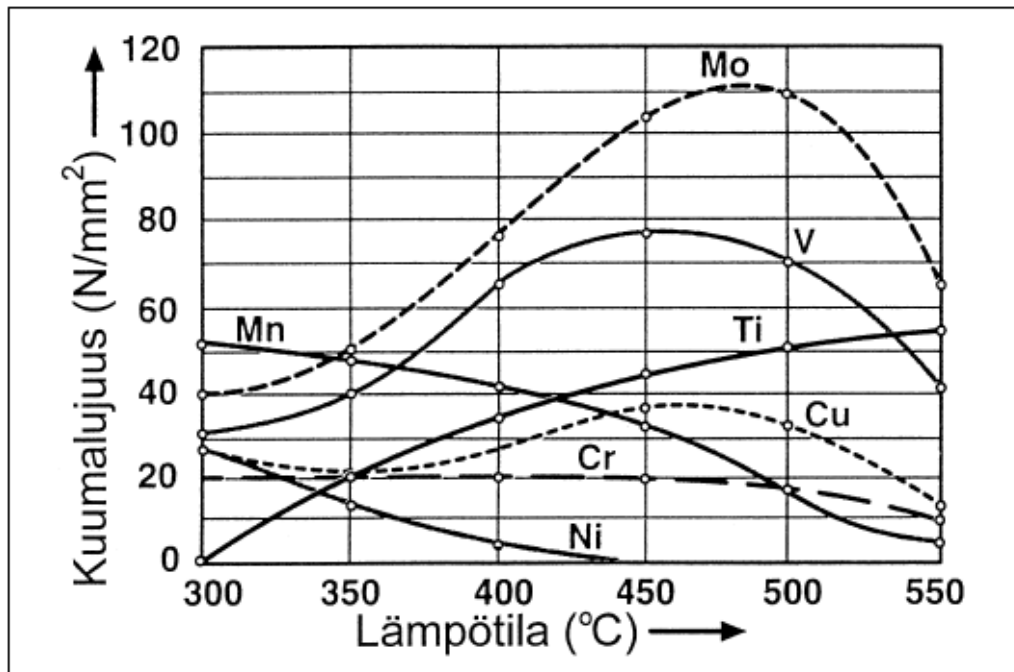
Painesorvaukseen on ensin valmistettava melko kallis erillinen työkalu, jonka hinta riippuu tehtävän osan koosta ja monimutkaisuudesta. Tässä tapauksessa osa on erittäin iso mutta melko yksinkertainen. Painesorvaamalla osien valmistus on nopeaa ja melko halpaa, eli pitemmällä aikavälillä se on edullisempi vaihtoehto nykyiseen verrattuna.

Etuluukun saranointi on nykyisessä höyrykehittimessä toteutettu kahdeksalla saranalla (kuva 5), mitkä koostuvat neljästä osasta. Molemmilla sivuilla olevat kolme saranaa mahdollistavat luukun avaamisen kumpaan suuntaan tahansa, kun taas ylhäällä ja alhaalla olevat saranat ovat ainoastaan luukun tiivistystä varten. Uuden luukun pyöreästä muodosta johtuen saranointia on muutettava.

Etuluukun etulevyyn tehdään valmistusvaiheessa tarvittavat ulokkeet, mihin saranointi kiinnitetään (liite 7). Sivusaranat voidaan valmistaa akselista (liite 7), mihin hitsataan kaksi kierretangon pätkää mahdollistamaan luukun tiivistys, kuten nykyisissäkin saranoissa. Akseli saadaan kiinni kannattimilla, mitkä hitsataan rungon etutukilevyyn.

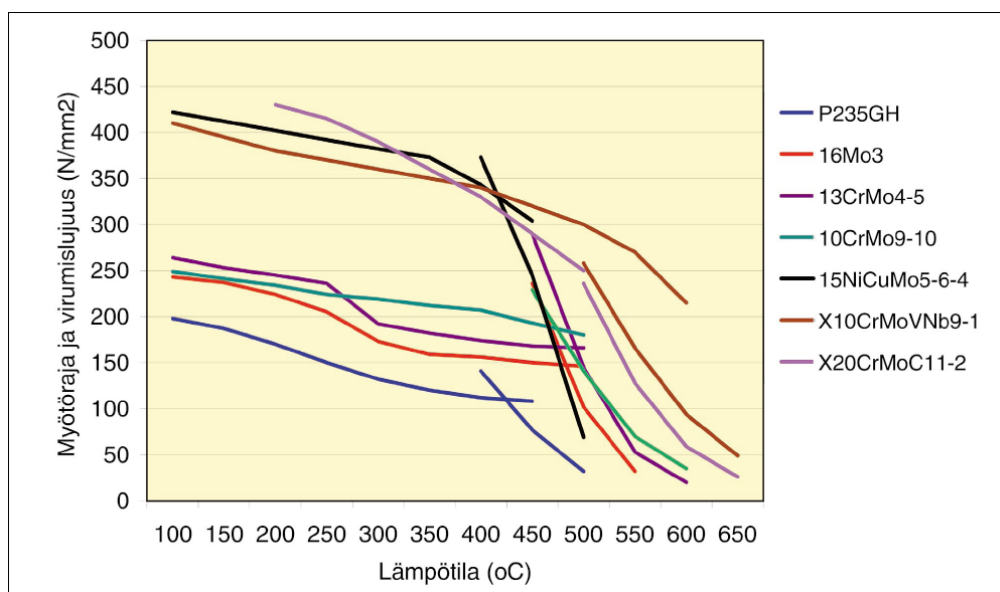
5.3 Materiaalin valinta

Kuumalujilla teräksillä on hyvät lujuusominaisuudet korkeissa käyttölämpötiloissa, teräslajista riippuen aina 650°C:seen saakka. Kuumalujilta teräksiltä vaaditaan hyviä kuumalujuusominaisuuksia virumis kestävyyttä ja hyvää kestävyyttä hapettuista vastaan. Kuumalujuutta lisää etenkin teräksen molybdeenipitoisuus (kuva 6) ja kromi puolestaan parantaa kestävyyttä hapettumista vastaan. [3]



KUVA 6. 0,5 %:n seosainelisäyksen vaikutus lujuuteen korkeissa lämpötiloissa.
[5]

13CrMo44 on niukkaseosteinen kuumaluja teräs, sen kuumankesto- ja korroosion kesto on parannettu lisäämällä siihen molybdeeniä ja kromia. Käyrästä (kuva 7) käy ilmi joidenkin kuumalujien terästen myötöraja ja virumislujuus suhteutettuna käyttölämpötilaan. 13CrMo44:n myötöraja sekä virumislujuus risteävät n.550°C:een kohdalla, jonka jälkeen virumismurtolujuus tulee määrääväksi. Tässä tapauksessa korkein käyttölämpötila on kuitenkin 500°C, joten laskennassa käytetään myötörajaa.



KUVA 7. Käyrät vasemmalla ovat kuumamyötörajoja ja jyrkästi laskevat käyrät oikealla 100.000 tunnin virumismurtolujuuksia. [5]

Valmistusmateriaalin valinnassa ei tehty suuria muutoksia nykyisestä. Palotilan vaippa ja samalla runkona toimivan sylinterin valmistusmateriaalina päätettiin käyttää samaa kuumalujaa terästä (13CrMo44) kuin ennenkin. Syinä tähän ovat kyseisen materiaalin riittävä korkeiden lämpötilojen kesto sekä virumislujuus. Lisäksi vaipan etureunassa olleesta tulenkestävästä teräs pannasta (THERMAX 1.4828) päätettiin luopua, koska kuumaluja teräs on siinä kohtaa täysin riittävä. Palotilan vaippaa (runko) ja etuluukun sisälevyä lukuun ottamatta kaikissa muissa osissa käytetään rakenneterästä (S235 JRG2), koska se on riittävän kestävä ja halpaa.

Jos rungon valmistukseen olisi valittu rakenneteräs (S235 JRG2) tai joku muu materiaali, joka ei kestä 500°C:een lämpöä hilseilemättä, niin höyrykierukan etuosaan olisi jouduttu lisäämään putkea rungon läpiviennin etupuolelle, estämään lämpösäteilyn pääsy suoraan rungon seinämään. Tämä olisi ollut vaikea ja monimutkainen ratkaisu toteuttaa eikä siihen haluttu ryhtyä.

6 LUJUUSLASKENNAN TARKASTELU

Ensimmäisenä tehtävänä suunnittelun aloittamisessa oli laskemalla saada selville runkoon syntyvien jännitysten suuruus. Nykyisen höyrykierukan painosta aiheutuvasta taivutus jännityksestä oli helppo aloittaa, koska sen paino ei tule paljoa muuttumaan uusissa suunnitelmissa (liite 1). Tämän jälkeen oli selvitettävä kierukan ympärille tulevan sylinterimäisen rungon omasta painosta aiheutuva taivutus jännitys. Molempien aiheuttamat jännitykset osoittautuivatkin melko pieneksi, eli runko on riittävän kestävä taivutuksen suhteen.

Seuraavaksi oli laskettava rungon kestävyys kannalta ehkä tärkein ominaisuus, joka on sen lommahduskestävyys. SFS-EN 1993-1-6 standardia apuna käyttäen saadaan selville tarvittavat kaavat sylinterimäisen rungon laskemiseen (liite 2).

Kehitintä nostettaessa sen tukilevyihin tehdyistä nostokannakkeista, syntyy runkoon puristusjännitys, joka voi myös aiheuttaa lommahduksen. Kehittimen kokonaispainoksi on laskuja varten arvioitu 5000kg ja nosto kulmaksi 45°, näillä arvoilla laskettuna SFS 2622 standardin kaavojen mukaan runko kestää siihen kohdistuvan puristusjännityksen hyvin (liite 3).

Kehittimen takaosaan kiinnitettävästä ekonomaiserista syntyy paikallinen jännityshuippu rungon seinämään. Ekonomaiserin painaa n. 300 kg, mutta niitä voidaan kiinnittää kaksi päällekkäin. Tästä syystä jännityshuipun laskennassa on käytetty massan arvona 600 kg:aa. Niin ikään SFS 2622 standardin kaavojen avulla laskettuna runko on riittävän kestävä (liite 3).

Trukkinostopalkkien laskussa on laskettu nostosta syntyvä jännitys, kun nosto tapahtuu palkkien keskeltä. Jännitys jää palkkien valmistusmateriaalin myötörajan alapuolelle, joten palkit kestävät noston. Todellisessa nosto tilanteessa trukilla nostettaessa jännitys kohdistuu kahteen kohtaan eikä palkin keskelle, kehittimen painokeskiöstä riippuen, jolloin palkkeihin syntyvät jännitykset ovat pienemmät (liite 4).

Saranoinnin laskuissa on ensin laskettu kierretankoihin kohdistuva taivutusjännitys, pysty- ja vaakasuorien voimien resultantin avulla. M39 on 35 mm. halkaisijaltaan ilman kierteitä oleva kierretanko ja se kestää syntyvät jännitykset. Seuraavaksi on laskettu sarana-akseliin syntyvä vääntö ja sen päihin kohdistuva leikkausvoima. Sarana-akseliksi on valittu 40 mm paksu akseli, jonka päät on koneistettu 20 mm paksuiksi. Lopuksi on laskettu leikkausvoima, joka syntyy etuluukun etulevyyn, saranoiden kiinnitys kohtiin. Kun kiinnitysreiät ovat 22 mm levyn reunasta, niin levy kestää siihen kohdistuvan leikkausvoiman. (liite 5).

7 YHTEENVETO

Tämän työn kolmena päätavoitteena oli rakenteen yksinkertaistaminen, rungon valmistusmateriaalin mahdollinen korvaaminen halvemmalla materiaalilla ja etuluukun lämmön hyödyntäminen polttimen imuilman esilämmityksessä.

Rakenteen yksinkertaistamisessa oli tärkeää oppia löytämään kohdat, joita voidaan parantaa erilaisilla ratkaisuilla ja sitten valita niistä mahdollisimman yksinkertainan vaihtoehto. Työvaiheiden ja valmistuskustannuksien pienentämiseksi oli mietittävä, minkä osien valmistukseen voitaisiin käyttää samaa materiaalia ja suurempien osien hukkapaloja. Tämä vaihe sisälsi paljon lujuuslaskuja, suunnittelua ja osien mallintamista.

Rungon valmistusmateriaalin valinnassa oli otettava selvää materiaaleista, jotka kestäisivät tarpeeksi hyvin korkeita lämpötiloja. Lopputuloksena päätettiin kuitenkin käyttää samaa materiaalia, koska halvemman materiaalin käyttö olisi vaatinut liian monimutkaisia muutoksia höyrykierukan etuosaan.

Etuluukun lämmön hyödyntämisen toteuttamiseksi oli valmiiksi olemassa ideoita, joiden pohjalta jäähdytysaukot on suunniteltu. Suunnitelmissa oli otettava huomioon polttimen sisäänottoaukon suuruus, ettei jäähdytysaukoista aiheudu kuristusta.

Jatkossa Seamraror Oy:llä on tarkoitus valmistaa prototyyppi tässä opinnäytetyössä tehtyjen suunnitelmien pohjalta. Tarkemmat tiedot suunnitelmien hyvistä ja huonoista puolista sekä parannuksista saadaan, kun prototyyppi on valmis testaukseen. Testauksen tuloksia käytetään jatkokehityksessä, jotta lopputuotteesta saadaan taloudellinen ja toimiva ratkaisu.

8 LÄHTEET

1. Steamrator Oy. www-kotisivut. <http://www.steamrator.fi/index.htm>. Luettu 10.1.2010.
2. Kari Puro, Sales Manager. Oilon Oy. 20.1.2010.
3. Kunnossapitokoulu. 10/1998. Kuumalujat teräkset ja niiden hitsaus. Kunnossapitolehden erikoisliite nro 49. www-dokumentti. http://www.promaint.net/alltypes.asp?menu_id=110/kuumalujat. Luettu 5.3.2010.
4. Oilon Oy:n esite. Öljy-, kaasu- ja yhdistelmäpolttimet. www-dokumentti. http://www.lohjanpoltin.fi/File/3130-280_FI.pdf. Luettu 18.4.2010.
5. Juha Lukkari. 4/2004. Hitsaustekniikka. http://www.shy-hitsaus.net/HT_4_2004_kuumalujat.pdf. Luettu 20.4.2010.

LIITE 1

- (1) Runkoon höyrykierukan painosta aiheutuva taivutus jännitys.
- (2) Rungon omasta painosta aiheutuva taivutusjännitys.

LIITE 2

- (1) Aksiaalisesti puristetun sylinterikuoren lommahdus SFS-EN 1993-1-6 standardin mukaan.

LIITE 3

- (1) Nostettaessa runkoon syntyvät jännitykset SFS 2622 standardin mukaan.
- (2) Ekonomaisesta aiheutuva paikallinen jännityshuippu SFS 2622 standardin mukaan.

LIITE 4

- (1) Trukkinostopalkkeihin syntyvät jännitykset molempien palkkien keskeltä nostettaessa.

LIITE 5

- (1) Saranoinnin mitoitus luukun ollessa auki.

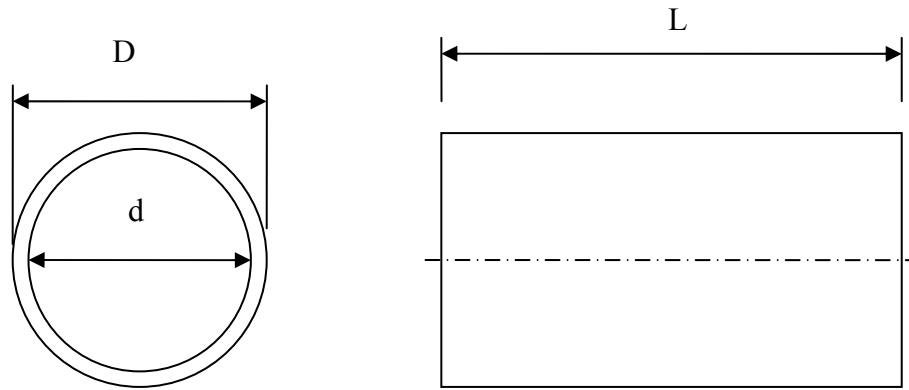
LIITE 6

- (1) 3000 kW:n höyrykehittimessä käytettävien poltinten tekniset tiedot.

LIITE 7

- (1) Runko steam 3000, piirustus nro. 00001
- (2) Runko steam 3000, piirustus nro. 00002
- (3) Etuluukku steam 3000, piirustus nro. 00003
- (4) Etuluukku steam 3000, piirustus nro. 00004
- (5) Etuluukku steam 3000, Saranat, piirustus nro. 00005

1. Runkoon höyrykierukan painosta aiheutuva taivutus jännitys



Höyrykierukan massa $m = 1873\text{kg}$

$g = 9,81\text{m/s}^2$

Rungon pituus $L = 3200\text{mm}$

$v_q = 1,35$

Rungon ulkohalkaisia $D = 1242\text{mm}$

Rungon sisähalkaisia $d = 1230\text{mm}$

$F =$ Höyrykierukan massasta
aiheutuva voima

$q =$ Tasainen kuormitus

$q_s =$

$M_t =$ Taivutusmomentti

$W_z =$ Rungon taivutusvastus

$\sigma_t =$ Taivutusjännitys

$$F = m \cdot g$$

$$F = 1873\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 18374,13\text{N} \approx 18,4\text{kN}$$

$$q = \frac{F}{l}$$

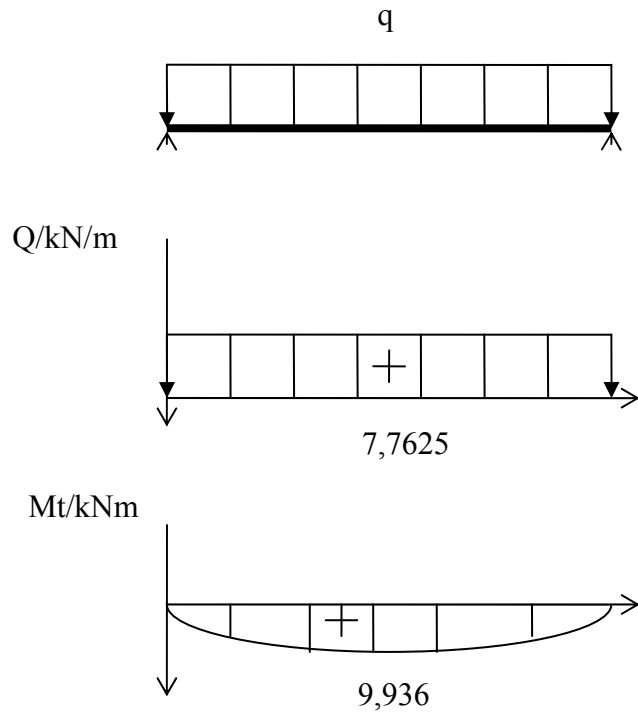
$$q = \frac{18,4\text{kN}}{3,2\text{m}} = 5,75\text{kN/m}$$

$$q_s = v_q \cdot q$$

$$q_s = 1,35 \cdot 5,75\text{kN/m} = 7,7625\text{kN/m}$$

$$M_t = \frac{q_s \cdot l^2}{8}$$

$$M_t = \frac{7,7625\text{kN/m} \cdot (3,2\text{m})^2}{8} = 9,936\text{kNm}$$



$$W_z = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

$$W_z = \frac{\pi \cdot (1242\text{mm}^4 - 1230\text{mm}^4)}{32 \cdot 1242\text{mm}} = 7164488,37\text{mm}^3$$

$$\sigma_t = \frac{M_t}{W_z}$$

$$\sigma_t = \frac{9,936 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{7164488,37\text{mm}^3} = 1,3868 \text{ N/mm}^2 \approx 1,39 \text{ N/mm}^2$$

2. Rungon omasta painosta aiheutuva taivutusjännitys

Materiaalin tiheys $\rho = 7900 \text{ kg/m}^3$

Ulkohalkaisian säde $r = 621 \text{ mm}$

Seinämän paksuus $t = 6 \text{ mm}$

$V = \text{Tilavuus}$

$m = \text{Rungon massa}$

$M_o = \text{Taivutusmomentti}$

$\sigma = \text{Taivutusjännitys}$

$$V = 2\pi \cdot r \cdot L \cdot t$$

$$V = 2\pi \cdot 0,621\text{m} \cdot 3,2\text{m} \cdot 0,006\text{m} = 0,0749\text{m}^3$$

$$m = \rho \cdot V$$

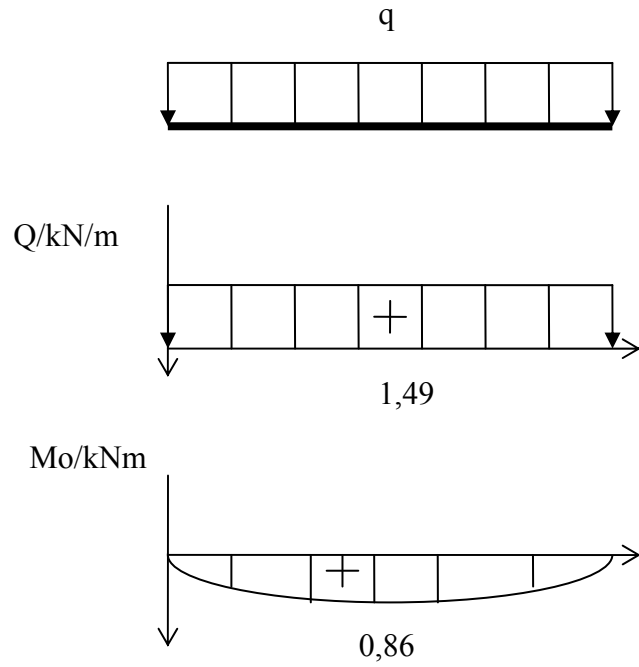
$$m = 7900 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0749\text{m}^3 = 591,83\text{kg}$$

$$q = \frac{g \cdot m}{\pi \cdot D}$$

$$q = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 591,83\text{kg}}{\pi \cdot 1,242\text{m}} = 1487,98 \text{ N/m} \approx 1,49 \text{ kN/m}$$

$$M_o = \frac{3 \cdot q \cdot r^2}{2}$$

$$M_o = \frac{3 \cdot 1,49 \text{ kN/m} \cdot (0,621 \text{ m})^2}{2} = 0,86 \text{ kNm}$$



$$\sigma = \frac{M_o}{W_z}$$

$$\sigma = \frac{0,86 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{7164488,37 \text{ mm}^3} = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

1. Aksiaalisesti puristetun sylinterikuoren lommahdus
SFS-EN 1993-1-6 standardin mukaan

$$\eta = 3$$

$$r_k = 618\text{mm}$$

$$E = 200\text{GPa}$$

$$Q = 25$$

$$\beta = 0,6$$

$$f_{yk} = 164\text{MPa}, \text{ kun } \theta = 500$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,2$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

$$\sigma_{x,RCr} = \text{Ideaalinen kriittinen}$$

lommahdusjännitys

$$\chi = \text{Lommahduksen}$$

vähennyskerroin

$$\omega = \frac{\sqrt{r \cdot t}}{l}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{618\text{mm} \cdot 6\text{mm}}}{3200\text{mm}} = 0,019$$

Pitkille sylintereille $\frac{1}{\omega} > 0,5 \cdot \frac{r}{t}$

$$\frac{1}{\omega} = \frac{1}{0,019} = 52,6$$

$$0,5 \cdot \frac{618\text{mm}}{6\text{mm}} = 51,5$$

Kerroin C_x saadaan kaavasta: $C_x = 1 - \frac{1}{\eta} \left[\frac{0,4}{\omega} \cdot \frac{t}{r_k} - 0,2 \right] \geq 0,6$

$$C_x = 1 - \frac{1}{3} \left[\frac{0,4}{0,019} \cdot \frac{6\text{mm}}{618\text{mm}} - 0,2 \right] = 0,998 \geq 0,6$$

$$\sigma_{x,Rcr} = 0,605 \cdot E \cdot C_x \cdot \frac{t}{r_k}$$

$$\sigma_{x,Rcr} = 0,605 \cdot 200 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,998 \cdot \frac{6\text{mm}}{618\text{mm}} = 1172,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\omega_k = \frac{1}{Q} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}} \cdot t$$

$$\Delta\omega_k = \frac{1}{25} \cdot \sqrt{\frac{618\text{mm}}{6\text{mm}}} \cdot 6\text{mm} = 2,44$$

$$\alpha = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot \left(\frac{\Delta\omega_k}{t}\right)^{1,44}}$$

$$\alpha = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot \left(\frac{2,44}{6\text{mm}}\right)^{1,44}} = 0,41$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \beta}}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{0,41}{1 - 0,6}} = 1,009$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{x,Rcr}}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{164 \text{ N/mm}^2}{1172,4 \text{ N/mm}^2}} = 0,374$$

$$\chi = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda} \cdot \bar{\lambda}_o}{\bar{\lambda}_p \cdot \bar{\lambda}_o} \right)^\eta$$

$$\chi = 1 - 0,6 \left(\frac{0,374 \cdot 0,2}{1,009 \cdot 0,2} \right)^1 = 0,777$$

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{\chi \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{0,777 \cdot 164 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 115,9 \text{ N/mm}^2 \approx 116 \text{ N/mm}^2$$

1. Nostettaessa runkoon syntyvät jännitykset SFS 2622 standardin mukaan

Höyrykehittimen massa $m = 5000\text{kg}$
 Materiaalin myötöraja $Re_l = 300\text{MPa}$
 Varmuuskerroin $n = 1,5$
 Paine $p = 0$

$A =$ Rungon poikkileikkauksen
 pinta-ala

$I =$ Rungon neliömomentti

$\sigma_{zA} =$ Jännitys pisteessä A

$\sigma_{zB} =$ Jännitys pisteessä B

$\sigma_{zC} =$ Jännitys pisteessä C

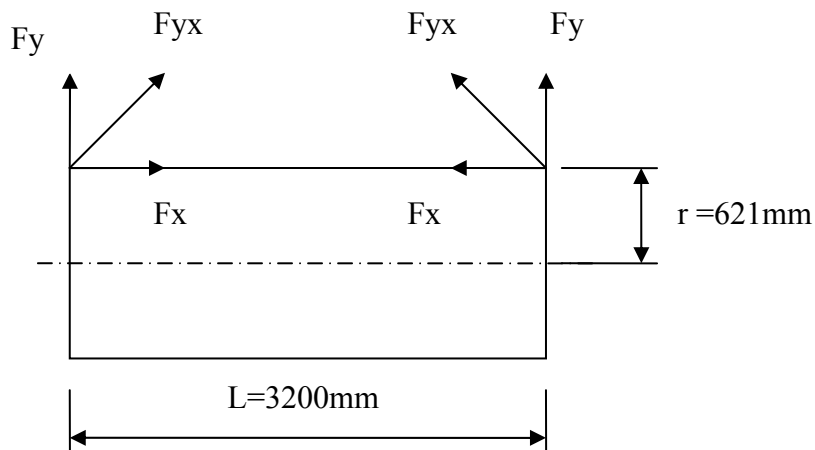
$\sigma_{zD} =$ Jännitys pisteessä D

$$A = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot ((1242\text{mm})^2 - (1230\text{mm})^2)}{4} = 23294\text{mm}^2$$

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$$

$$I = \frac{\pi \cdot ((1242\text{mm})^4 - (1230\text{mm})^4)}{64} = 4449 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

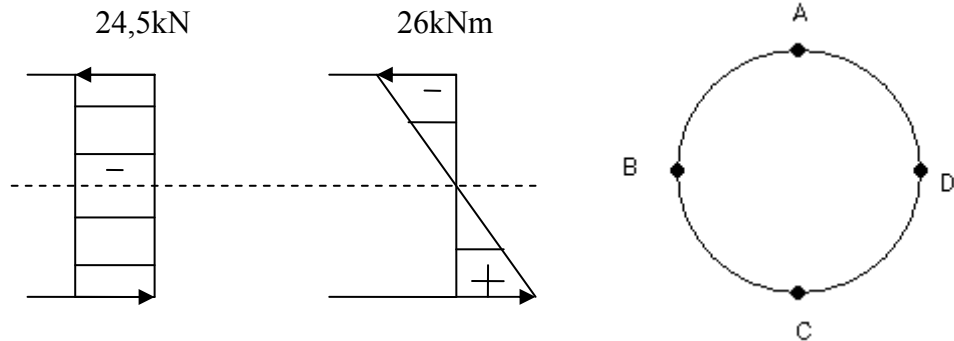


$$F_y = \frac{m \cdot g}{2}$$

$$F_y = \frac{5000\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2}{2} = 24525\text{N}$$

$\Rightarrow F_x = 24525N$, kun F_{yx} on 45° :een kulmassa.

$$M = F_x \cdot r + M_t + M_o \quad M = 24,5kN \cdot 621mm + 9,936kNm + 0,86kNm \approx 26kNm$$



$$\sigma_{zA} = \frac{F}{A} - \frac{M \cdot r}{I}$$

$$\sigma_{zA} = \frac{-24,5 \cdot 10^3 N}{23298mm^2} - \frac{26 \cdot 10^6 Nmm \cdot 621mm}{4449 \cdot 10^6 mm^4} = -4,68N / mm^2$$

$$\sigma_{zC} = \frac{F}{A} + \frac{M \cdot r}{I}$$

$$\sigma_{zC} = \frac{-24,5 \cdot 10^3 N}{23298mm^2} + \frac{26 \cdot 10^6 Nmm \cdot 621mm}{4449 \cdot 10^6 mm^4} = 2,58N / mm^2$$

$$\sigma_{zB} = \sigma_{zD} = \frac{-24,5 \cdot 10^3 N}{23298mm^2} = -1,05N / mm^2$$

Pääjännitysten laskenta

$$\sigma_1 = 0,5 \cdot \left(\sigma_{zA} + \sqrt{\sigma_{zA}^2} \right)$$

$$\sigma_1 = 0,5 \cdot \left(-4,68N / mm^2 + \sqrt{(-4,68N / mm^2)^2} \right) = 0N / mm^2$$

$$\sigma_1 = 0,5 \cdot \left(\sigma_{zA} - \sqrt{\sigma_{zA}^2} \right)$$

$$\sigma_2 = 0,5 \cdot \left(-4,68N/mm^2 - \sqrt{(-4,68N/mm^2)^2} \right) = -4,68N/mm^2$$

$$\sigma_3 = -p/2 \qquad \sigma_3 = 0N/mm^2$$

Vertailujännityksen laskenta

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_1 - \sigma_2| \Rightarrow |0 - (-4,68)| = 4,68N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_1 - \sigma_3| \Rightarrow |0 - 0| = 0N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_2 - \sigma_3| \Rightarrow |-4,68 - 0| = -4,68N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = 4,68N/mm^2$$

Mitoitusvaatimus

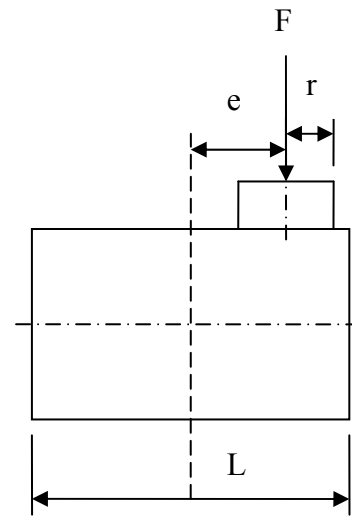
$$\sigma_{sall} = \frac{Rel}{n}$$

$$\sigma_{sall} = \frac{300N/mm^2}{1,5} = 200N/mm^2$$

$$\sigma_{vert} \leq \sigma_{sall}$$

$$4,68N/mm^2 \leq 200N/mm^2$$

**2. Ekonomaisesta aiheutuva paikallinen jännityshuippu
SFS 2622 standardin mukaan**



$$r = 203\text{mm}$$

$$L = 735\text{mm}$$

$$e = 164,5\text{mm}$$

Kakden ekonomaiserin massa $m = 600\text{kg}$

Kuormitusalue on ympyrän muotoinen, joten $a = b = 0,85 \cdot r$

$$a = b = 0,85 \cdot 203\text{mm} = 172,55\text{mm} \quad \frac{a}{b} = 1$$

$$L_e = L - \frac{4 \cdot e^2}{L} \quad L_e = 735\text{mm} - \frac{4 \cdot (164,5\text{mm})^2}{735\text{mm}} = 587,7\text{mm}$$

$$\frac{2b}{L_e} = \frac{2 \cdot 172,55\text{mm}}{587,7\text{mm}} = 0,587$$

$$128 \cdot \frac{d_s}{s} \cdot \left(\frac{b}{d_s} \right)^2 \quad 128 \cdot \frac{1230\text{mm}}{6\text{mm}} \cdot \left(\frac{172,55\text{mm}}{1230\text{mm}} \right)^2 = 516$$

$$F = 600\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 5886\text{N} \approx 6\text{kN}$$

$$\frac{M'_\varphi}{F} \approx 0,009 \Rightarrow M'_\varphi = 6 \cdot 10^3 \text{N} \cdot 0,009 = 54$$

$$\frac{M'_z}{F} \approx 0,003 \Rightarrow M'_z = 6 \cdot 10^3 N \cdot 0,003 = 18$$

$$\frac{N'_\varphi}{F} \approx -0,03 \Rightarrow N'_\varphi = 6 \cdot 10^3 N \cdot -0,03 = -180$$

$$\frac{N'_z}{F} \approx -0,058 \Rightarrow N'_z = 6 \cdot 10^3 N \cdot -0,058 = -348$$

Jännityskomponentit φ ja z akselien suunnassa

$$\sigma_{Mz} = \sigma_{M2} = \frac{N'_z}{s} \pm \frac{6 \cdot M'_z}{s^2} \Rightarrow \frac{-348}{6mm} - \frac{6 \cdot 18}{(6mm)^2} = -61N/mm^2$$

$$\sigma_{M\varphi} = \sigma_{M1} = \frac{N'_\varphi}{s} \pm \frac{6 \cdot M'_\varphi}{s^2} \Rightarrow \frac{-180}{6mm} - \frac{6 \cdot 54}{(6mm)^2} = -39N/mm^2$$

Vertailujännityksen laskenta

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_{M1}| \Rightarrow |-39| = 39N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_{M2}| \Rightarrow |-61| = 61N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = |\sigma_{M1} - \sigma_{M2}| \Rightarrow |-39 - (-61)| = 22N/mm^2$$

$$\sigma_{Mvert} = 61N/mm^2$$

Mitoitusvaatimus

$$\sigma_{Mvert} \leq \sigma_{sall} \qquad 61N/mm^2 \leq 200N/mm^2$$

1. Trukki nostopalkkeihin syntyvät jännitykset molempien palkkien keskeltä nostettaessa

$W_z = 85.29 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$, kun palkki on kooltaan 140x80x6

$L = 3200\text{mm}$

$F = \text{yhteen palkkiin kohdistuva voima}$

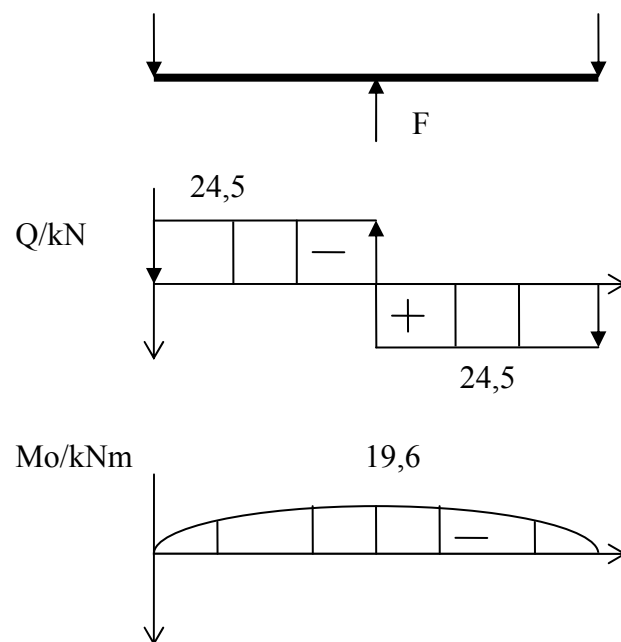
$Rel = 235\text{N} / \text{mm}^2$

$$F = \frac{m \cdot g}{2}$$

$$F = \frac{5000\text{kg} \cdot 9,81\text{m} / \text{s}^2}{2} = 24525\text{N}$$

$$M_t = \frac{F \cdot L}{4}$$

$$M_t = \frac{24,5\text{kN} \cdot 3,2\text{m}}{4} = 19,6\text{kNm}$$



$$\sigma = \frac{M_t}{W_z}$$

$$\sigma = \frac{19,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{85.29 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 229.8\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\sigma \leq Rel$$

$$229.8\text{N} / \text{mm}^2 \leq 235\text{N} / \text{mm}^2$$

1. Saranoinnin mitoitus luukun ollessa auki

Etuluukun ja polttimen yhteis massa $m = 400\text{kg}$

Etäisyys luukun keskeltä saranan keskelle $e = 678\text{mm}$

Kierretan koiden välinen etäisyys $h = 600\text{mm}$

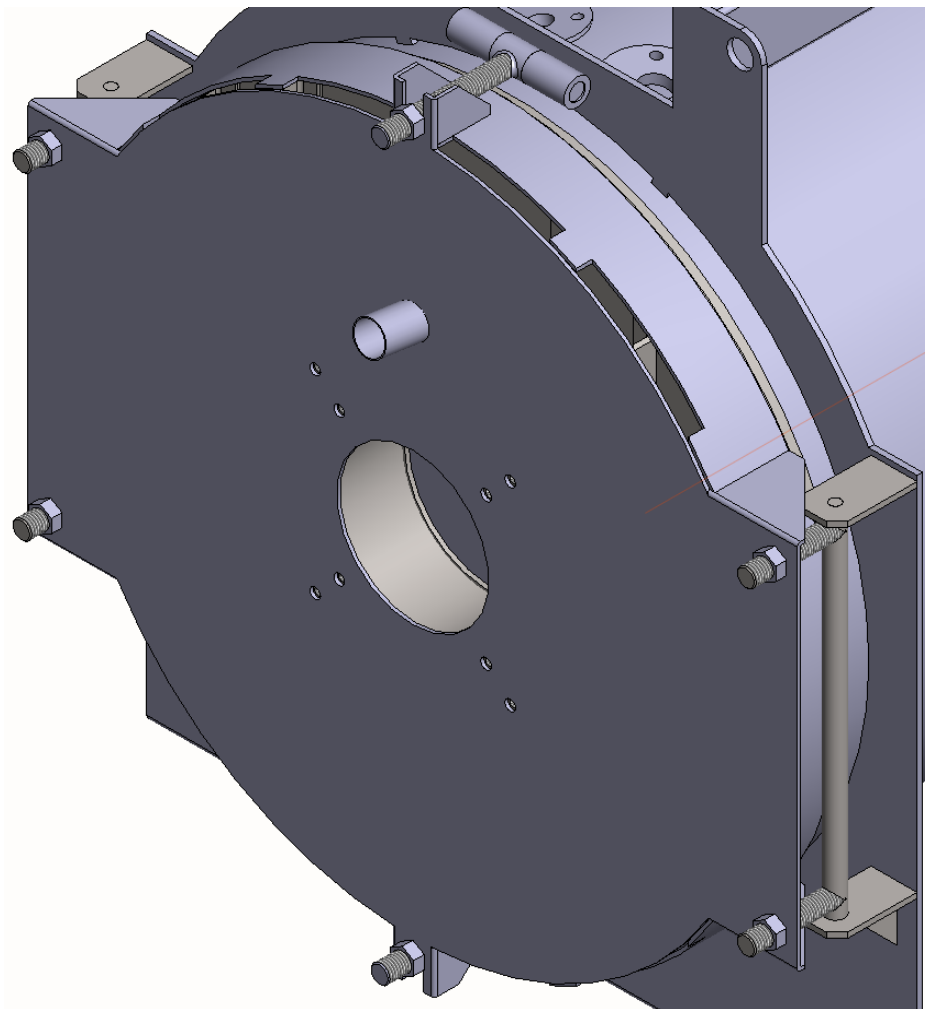
Etupellin etäisyys akselin keskeltä $L = 120\text{mm}$

Materiaalin myötöraja $Re_l = 235\text{N/mm}^2$

Varmuus ker roin $n = 1,5$

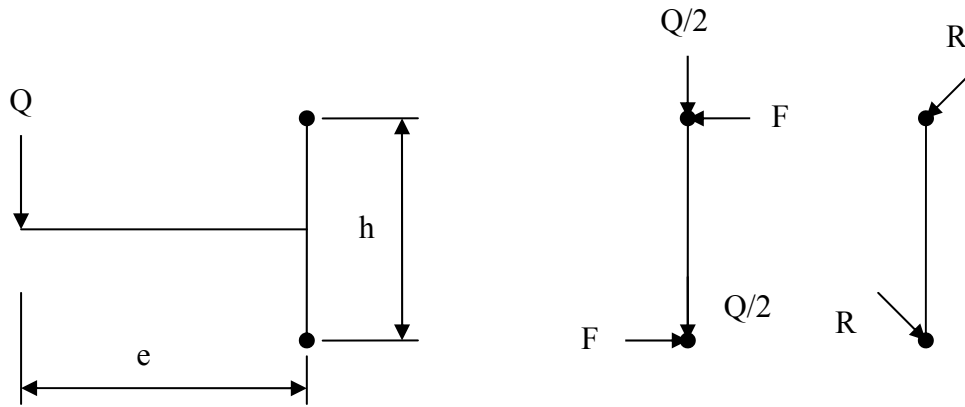
Sarana akselin halkaisia $d = 40\text{mm}$

$W_z = 4,209 \cdot 10^3$ Kun kierretan gon $d = 35\text{mm}$



$$Q = m \cdot g$$

$$Q = 400\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 3934\text{N}$$



$$F = \frac{Q \cdot e}{h}$$

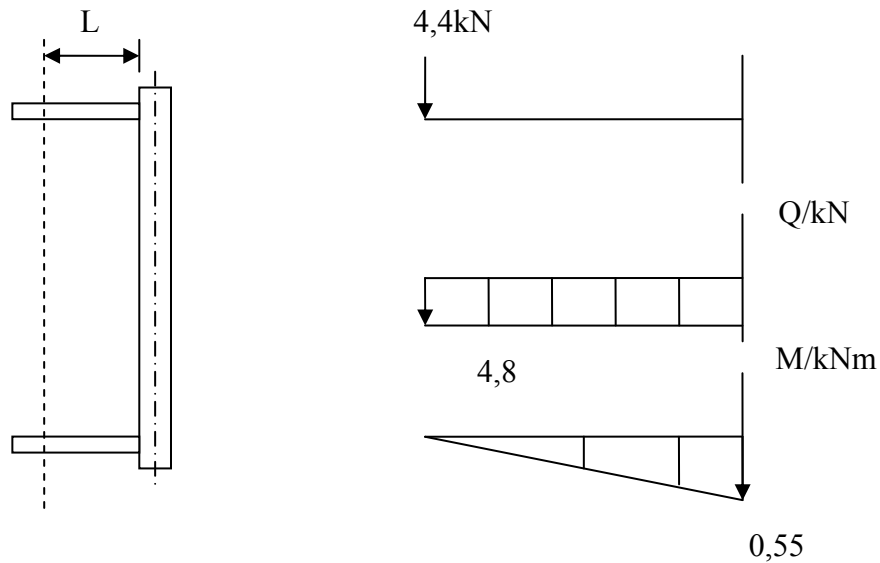
$$F = \frac{3,9kN \cdot 0,678m}{0,6m} = 4,4kN$$

$$R = \sqrt{F^2 + \left(\frac{Q}{2}\right)^2}$$

$$R = \sqrt{(4,24kN)^2 + \left(\frac{3,9kN}{2}\right)^2} = 4,8kN$$

$$M = R \cdot L$$

$$M = 4,8kN \cdot 0,115m = 0,55kNm$$



$$\sigma = \frac{M}{W_z}$$

$$\sigma = \frac{0,55 \cdot 10^6 Nmm}{4,209 \cdot 10^3 mm^3} = 130,7 N / mm^2$$

$$\sigma_{sall} = \frac{Rel}{n}$$

$$\sigma_{sall} = \frac{235 N / mm^2}{1,5} = 156,6 N / mm^2$$

$$\sigma \leq \sigma_{sall}$$

$$130,7N/mm^2 \leq 156,6N/mm^2$$

Akselin vääntö

$$I_p = \text{Akselin neliömomentti}$$

$$W_v = \text{Akselin vääntövastus}$$

$$\tau_{Max} = \text{Vääntöjännitys}$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot 40mm^4 = 251327,4mm^4$$

$$W_v = \frac{I_p}{r}$$

$$W_v = \frac{251327,4mm^4}{20mm} = 12566,4mm^3$$

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_v}$$

$$\tau_{max} = \frac{0,55 \cdot 10^6 Nmm}{12566,4mm^3} = 43,8N/mm^2$$

$$\tau_{sall} = 0,6 \cdot Rel$$

$$\tau_{sall} = 0,6 \cdot 235N/mm^2 = 141N/mm^2$$

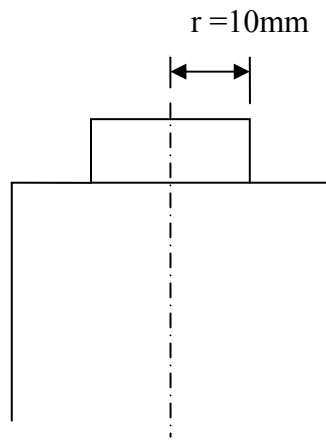
$$\tau_{max} \leq \tau_{sall}$$

$$43,8N/mm^2 \leq 141N/mm^2$$

Akselin päiden leikkaus

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{4,4 \cdot 10^3 N}{\pi \cdot (10mm)^2} = 14N/mm^2$$



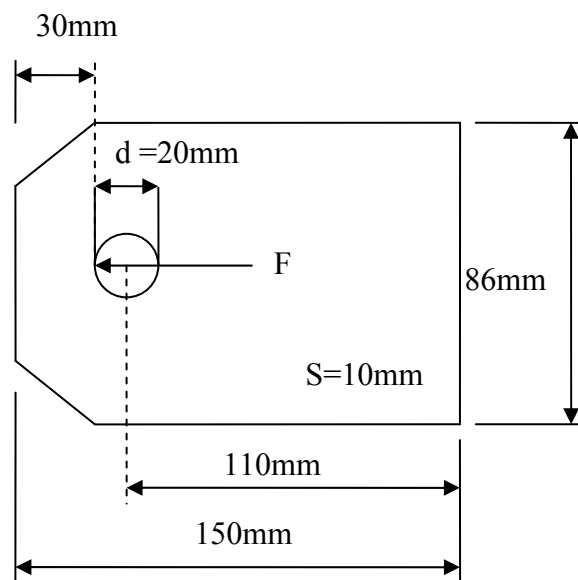
$$\tau \leq \tau_{sall}$$

$$14\text{N/mm}^2 \leq 141\text{N/mm}^2$$

Tukilevyjen leikkaus

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

$$\tau = \frac{4,4 \cdot 10^3 \text{ N}}{2 \cdot 30\text{mm} \cdot 10\text{mm}} = 7,3\text{N/mm}^2$$



$$\tau \leq \tau_{sall}$$

$$7,3\text{N/mm}^2 \leq 141\text{N/mm}^2$$

Ylemmän tukilevyn taivutus z-suunnassa

$$F = 4,4kN$$

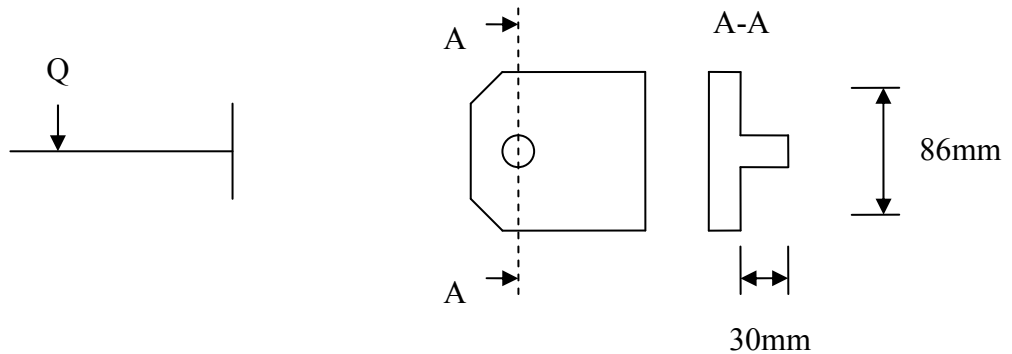
$$M = 4,4kN \cdot 0,3m = 1,32kNm$$

$$W_y = \frac{h \cdot b^2}{6} \qquad W_y = \frac{10mm \cdot (86mm)^2}{6} = 12326,67mm^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W_z} \qquad \sigma = \frac{1,32 \cdot 10^6 Nmm}{12326,67mm^3} = 107N/mm^2$$

$$\sigma \leq \sigma_{sall} \qquad 107N/mm^2 \leq 156,6N/mm^2$$

Alemman tukilevyn taivutus y-suunnassa

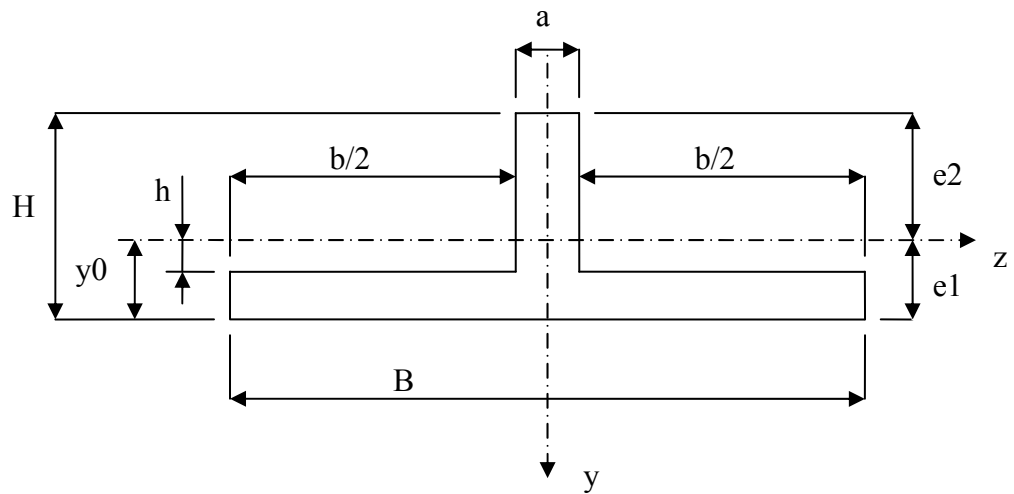


$$Q = 3,9kN$$

$$M = 3,9kN \cdot 0,110m = 0,429kNm$$

$$y_0 = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2}$$

$$y_0 = \frac{30mm \cdot 10mm \cdot 25mm + 86mm \cdot 10mm \cdot 5mm}{30mm \cdot 10mm + 86mm \cdot 10mm} = 10,17mm$$



$$I_z = \frac{1}{3} \cdot (B \cdot e_1^3 - b \cdot h^3 + a \cdot e_2^3)$$

$$I_z = \frac{1}{3} \cdot (86\text{mm} \cdot (10,17\text{mm})^3 - 76\text{mm} \cdot (0,17\text{mm})^3 + 10\text{mm} \cdot (29,83\text{mm})^3) = 118632,2\text{mm}^4$$

$$W_z = \frac{I_z}{e_1}$$

$$W_z = \frac{118632,2\text{mm}^4}{10,17\text{mm}} = 11662,1\text{mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W_z}$$

$$\sigma = \frac{0,429 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{11662,1\text{mm}^3} = 36,79 \text{ N/mm}^2$$

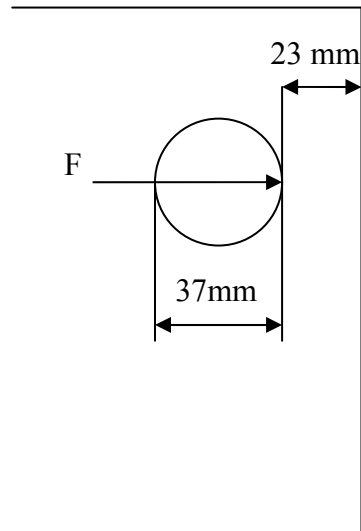
$$\sigma \leq \sigma_{sall}$$

$$36,79 \text{ N/mm}^2 \leq 156,6 \text{ N/mm}^2$$

Luukun etulevyn leikkaus saranoinnin kiinnityskohdissa

$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

$$\tau = \frac{4,4 \cdot 10^3 N}{2 \cdot 22 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}} = 16,67 N / \text{mm}^2$$



$$\tau \leq \tau_{sall}$$

$$16,67 N / \text{mm}^2 \leq 141 N / \text{mm}^2$$

1. 3000 kW:n höyrykehittimessä käytettävien poltinten tekniset tiedot

POLTIN	KP-130 M	KP-140 H	KP-140 T	KP-140 M	KP-150 H	KP-150 T	KP-150 M
Teho kg/h kW	32 -126 390 - 1500	47 - 200 550 - 2350	47 - 200 550 - 2350	47 - 200 550 - 2350	85 - 210 1000 - 2490	56 - 240 660 - 2850	56 - 240 660 - 2850
Polttimen moottori 3~ 400 V 50 Hz							
Teho kW	3,0	4,0	4,0	4,0	5,5	5,5	5,5
Virta A	6,2	8,7	8,7	8,7	11,1	11,1	11,1
Kierrosluku r/min	2880	2900	2900	2900	2910	2910	2910
Ohjelmarele	LAL1.25	LAL1.25	LAL1.25	LAL1.25	LAL1.25	LAL1.25	LAL1.25
Öljyletkun liitännäisyhde							
- imu	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "
- paluu	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "
Öljypumppu	TA2	J7	J7	TA2	TA2	TA2	TA2
Paino kg	114	107	107	118	113	113	128

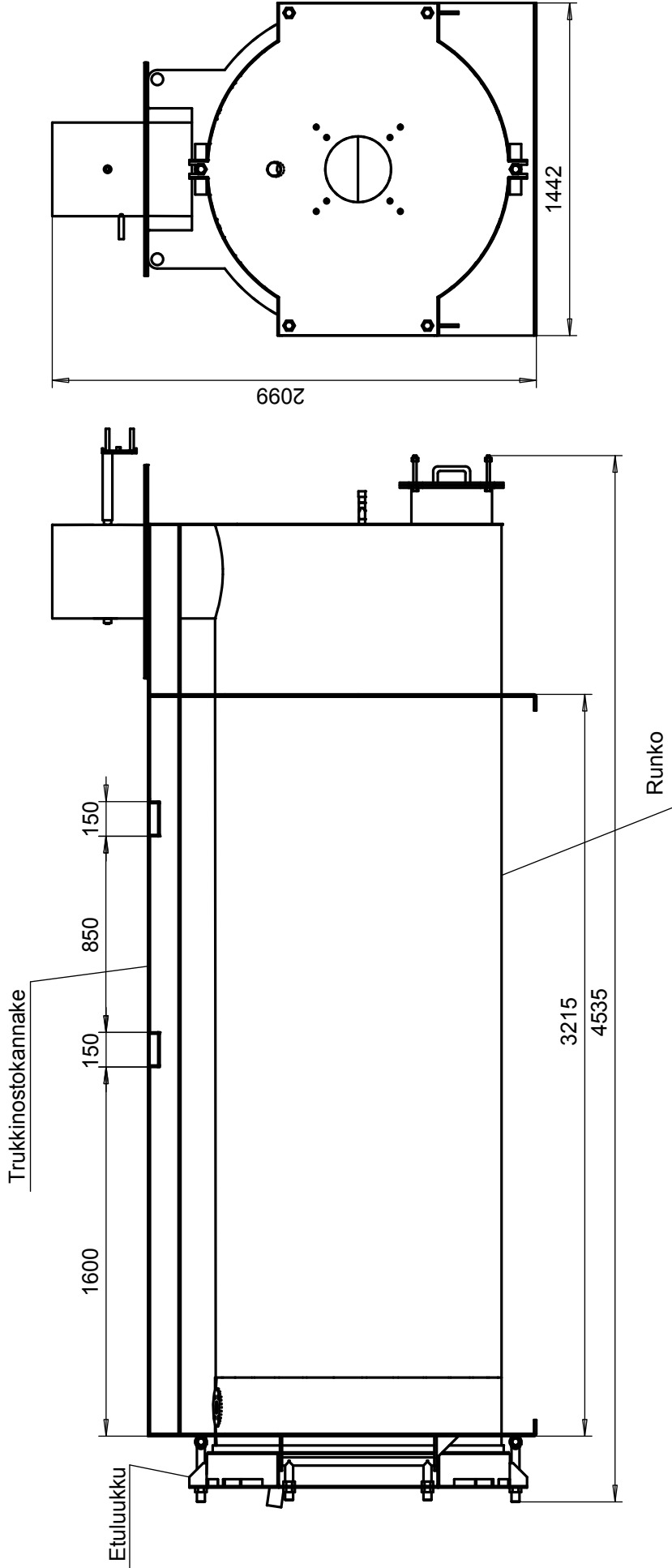
Kevytöljypoltinten tekniset tiedot

POLTIN	GP-130 T	GP-130 M	GP-140 H	GP-140 T	GP-140 M	GP-150 H	GP-150 T	GP-150 M
Teho kW	390 - 1500	390 - 1500	410 - 2350	410 - 2350	410 - 2350	950 - 2700	450 - 2700	450 - 2700
Polttimen moottori 3~ 400 V 50 Hz								
Teho kW	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,5	5,5	5,5
Virta A	6,2	6,2	8,7	8,7	8,7	11,1	11,1	11,1
Kierrosluku r/min	2880	2880	2900	2900	2900	2910	2910	2910
Ohjelmarele	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322
Paino kg	115	115	110	121	121	125	130	130

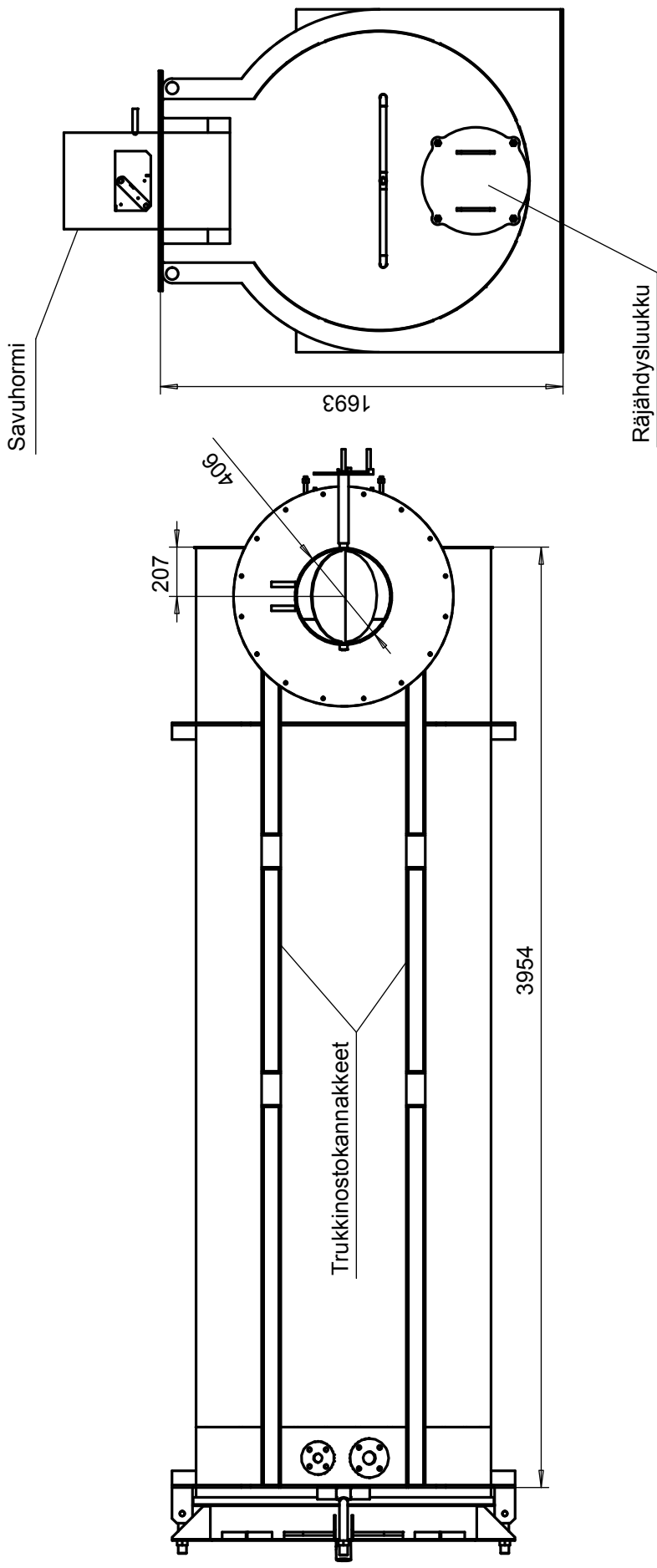
Kaasupoltinten tekniset tiedot

POLTIN	GKP-130 H	GKP-130 M	GKP-140 H	GKP-140 T	GKP-140 M	GKP-150 H	GKP-150 T	GKP-150 M
Teho öljy kg/h öljy kW kaasu kW	32 -126 390 - 1500 390 - 1500	32 - 126 390 - 1500 390 - 1500	47 - 200 550 - 2350 550 - 2350	47 - 200 550 - 2350 550 - 2350	47 - 200 550 - 2350 410 - 2350	85 - 210 1000 - 2490 1000 - 2490	56 - 227 660 - 2700 660 - 2700	56 - 227 660 - 2700 450 - 2700
Puhallinmoottori 3~ 400 V 50 Hz								
Teho kW	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,5	5,5	5,5
Virta A	6,2	6,2	8,7	8,7	8,7	11,1	11,1	11,1
Kierrosluku r/min	2880	2880	2900	2900	2900	2910	2910	2910
Ohjelmarele	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322	LFL1.322
Öljyletkun liitännäisyhde								
- imu	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "
- paluu	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "	R ^{1/2} "
Öljypumppu - Moottori 3~ 400 V 50 Hz	J7	TA2	J7	J7	TA2	TA2	TA2	TA2
Teho kW	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Virta A	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Kierrosluku r/min	2870	2870	2870	2870	2870	2870	2870	2870
Paino kg	121	144	129	151	162	147	153	164

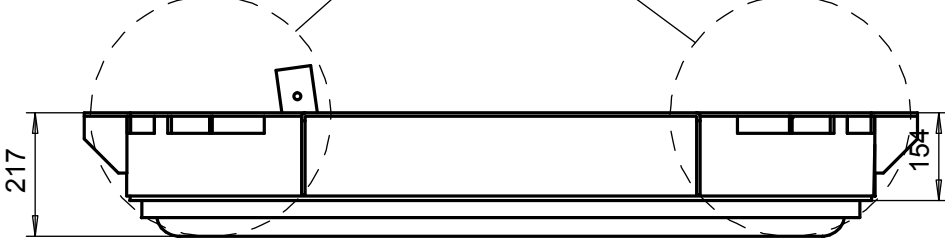
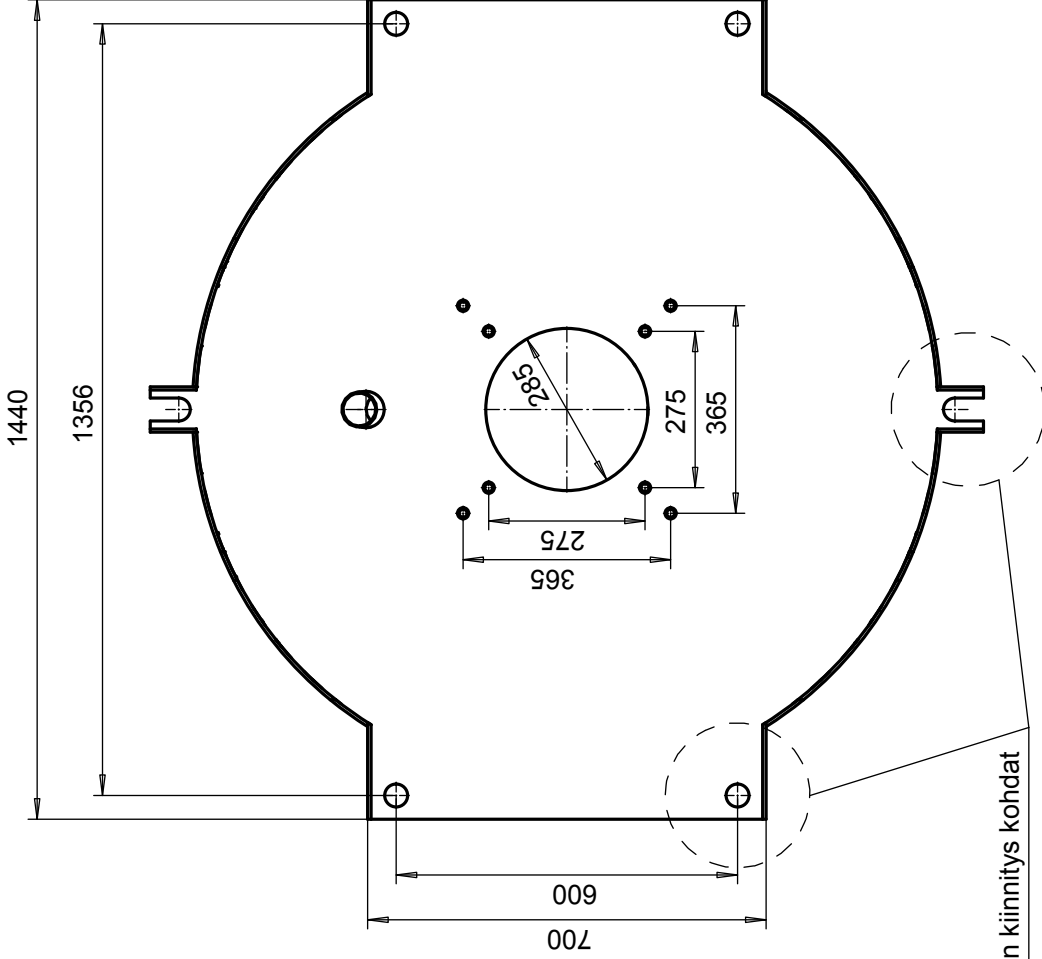
Yhdistelmäpoltinten tekniset tiedot



Valmistaja /Product Runko Steam 3000	Mittakaava/Scale 1:20	Veritaa/Compare Korvaa/Replaces Paino/Weight #massa# Kg	Project/Projekti RT	Pituus numero/Drawing number 00001
STEAMRATOR OY 52300 RISTINA FINLAND				
MUUTOS Muutos/Change	Pvm./date	Hyv./Contr.		



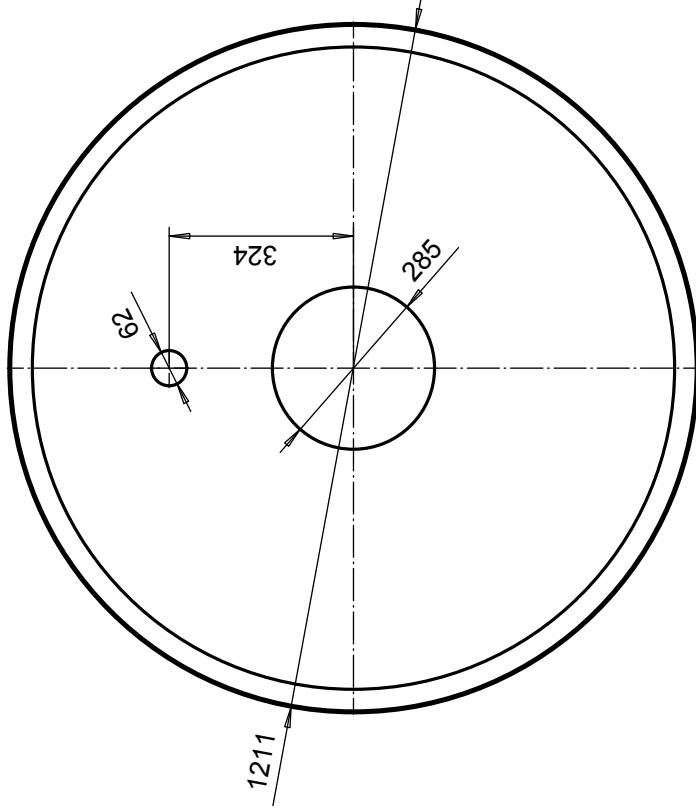
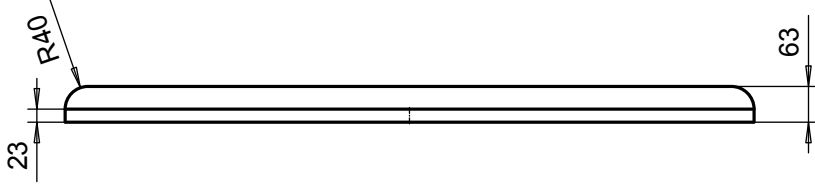
MUUTOS Muutos/Change	Pvm./date	Hyv./Contr.	STEAMRATOR OY 52300 RISTINA FINLAND		Osat. no/Part. no
	Runko Steam 3000		Summ./Design. Piirt./Drawn Hyv./Contr.	RT	2010-24-05
Valmistaja/Product Runko Steam 3000		Mittakaava/Scale 1:20	Veritas/Compare Korvaa/Replaces Paino/Weight #massa#	Project/Projekti Piirustus numero/Drawing number 00002	RT



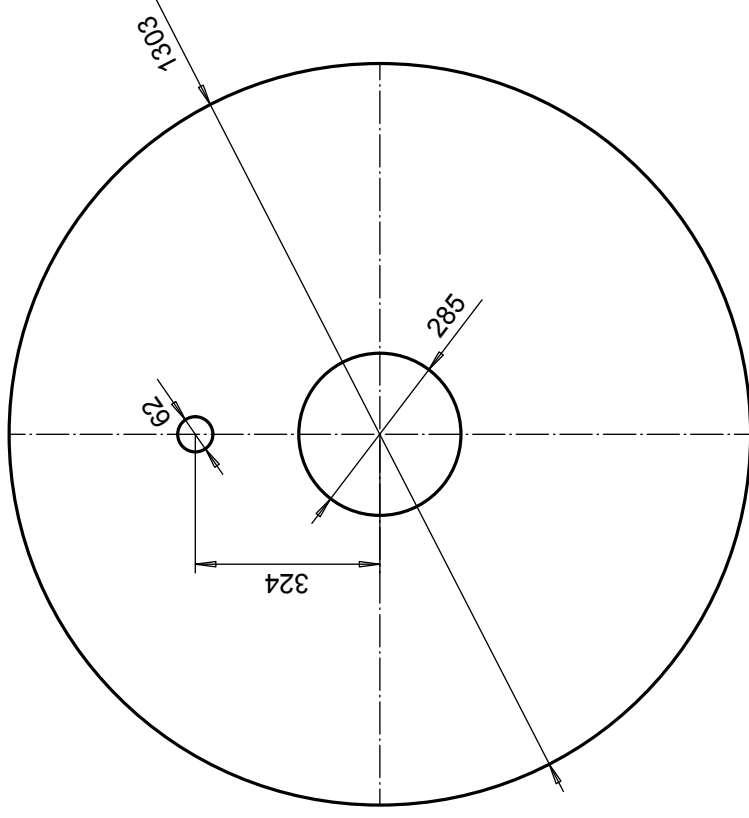
Saranoinnin kiinnitys kohdat

Jäähdytysaukot luukun läpi

Muutos	Muutos/Change	Pvm./date	Hyv./Contr.	STEAMRATOR OY 52300 RISTINA FINLAND		Valmistaja /Product Etuluukku Steam 3000		Mittakaava/Scale	1:10		Veritaik/Compare
						Suunn./Design Piirt./Drawn Hyv./Contr.	Piirustus numero/Drawing number 00003	Paino/Weight #massa# Kg	Project/Projekti 2010-24-05 RT		



Painesorvattu osa



Suora osa

MUUTOS

Muutos/Change

Pvm./date

Hyv./Contr.

Väinöläinen /Product

Etuluuku Steam 3000

Veritaik./Compare

Korvaa/Replaces

Paino/Weight

#massa#

Kg

Project/Projekti

Piirustus numero/Drawing number

00004

Mittakaava/Scale

1:10

2010-24-05

RT

Suunn./Design.

Piirt./Drawn

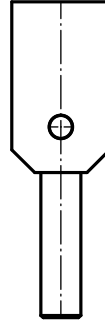
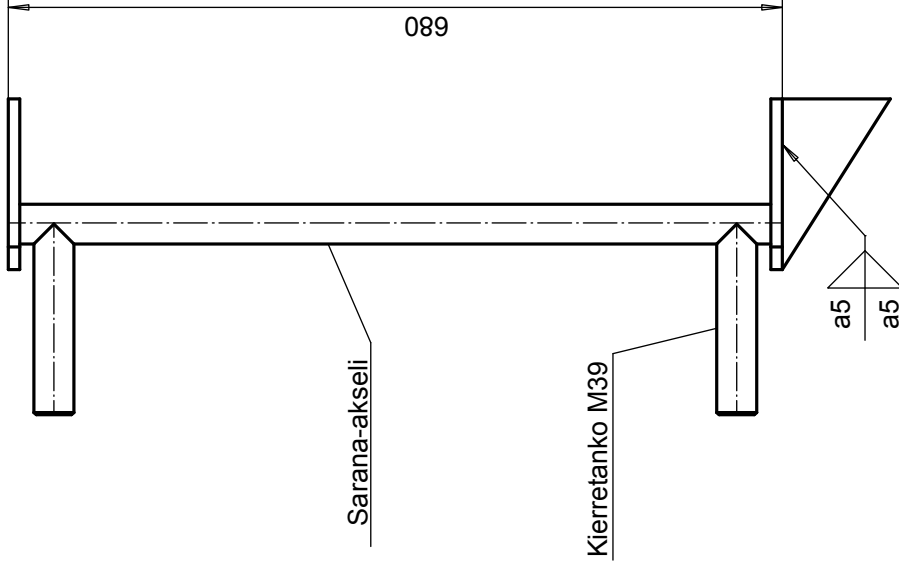
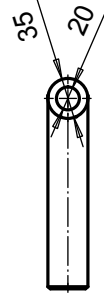
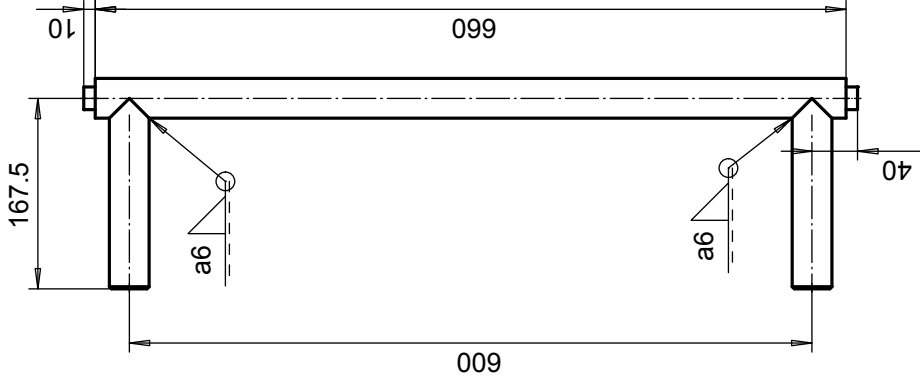
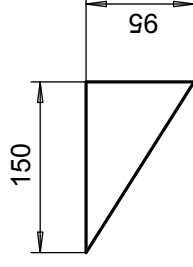
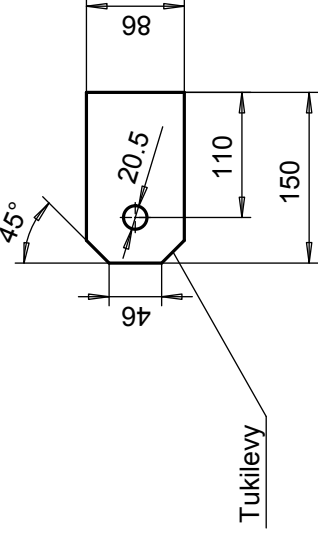
Hyv./Contr.

Osa/n./Part./no

STEAMRATOR OY

52300 RISTINA

FINLAND



MUUTOS	Muutos/Change	Pvm./date	Hyv./Contr.	STEAMRATOR OY 52300 RISTINA FINLAND		Valmistaja/Product Etuluukku Steam 3000, saranat		Mittakaava/Scale	1:5	Verifikaatio/Compare	
						Suunn./Design Piirtäjä/Drawn Hyväksyjä/Contr. Osat no./Part/ no	Suunn./Design Piirtäjä/Drawn Hyväksyjä/Contr. Osat no./Part/ no	Kuvaa/Replaces Paino/Weight #massa# kg	RT	Projekt/Projekti Piirustus numero/Drawing number 00005	