

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutusohjelma

2021

Wille Vene

# MATERIAALINTESTAUSLAITTEEN KUNTOKARTOITUS

-Korjaus- ja kehityssuunnitelman laatiminen

Wille Vene

# MATERIAALINTESTAUSLAITTEEN KUNTOKARTOITUS

- Korjaus- ja kehityssuunnitelman laatiminen

Opinnäytetyö suoritettiin Turun ammattikorkeakoululle. Työn tavoitteena oli koostaa kuntokartoitus ammattikorkeakoulun materiaalintestauslaitteesta, ja luoda korjaus- ja kehityssuunnitelma käytön jatkamiseksi. Työssä pohdittiin erilaisia ratkaisuja koneessa oleviin ongelma-kohtiin, jotta laitteen käyttöikä pystytään jatkamaan nykyiseen työkuormaan suhteutettuna riittävästi, ja mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Työssä selvitettiin, mitä erilaisia korjaus- ja kehitysvaihtoehtoja laitteeseen voidaan soveltaa, kuinka paljon eri vaihtoehdot maksavat, ja millaisia hyötyjä niillä saavutetaan. Työn loppuosa toimii huoltoraporttina, jossa käsitellään suoritettuja korjaustoimenpiteitä, sekä laitteen tila ennen toimenpiteitä, ja niiden jälkeen. Huoltoraporttiin sisältyy työn aikana tarvittavat suunnitelmat varaosien hankinnasta, laaditut valmistuskuvat koneistettavista osista, työohje laitteen purkamisesta ja kokoonpanosta, sekä laitteen huolto- ja käyttöohje ongelmien välttämiseksi tulevaisuudessa.

Lopputuloksena laite saatettiin käyttökuntoon. Jos ongelmat uusiutuvat, ne on ratkaistavissa olemassa olevaa materiaalia hyödyntäen. Materiaalista on myös apua, mikäli korjaustoimenpiteet suorittaa tulevaisuudessa joku laitteen toimintaan perehtymätön henkilö.

## ASIASANAT:

metalliteollisuus, materiaalintestaus, metallurgia, kunnostus, koneenosat

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2021 | 29 pages

Wille Vene

# CONDITION REVIEW OF A MATERIAL TESTING MACHINE

-Drafting a repair- and development plan

This thesis was commissioned by Turku University of Applied Sciences. The objective was to write a condition evaluation of a material testing machine, and to create a renovation and development plan to ensure the continuation of utilization. A variety of different solutions to known issues were considered so the service life of the machine could be extended sufficiently, but cost-effectively.

The study involved a clearance of possible methods and an evaluation of the costs and benefits regarding the renovation and development objects applicable for the machinery. The end part of this study works as a service report, containing the results and comparison to the initial state. The report also includes plans for procurement of necessary spare parts, production drawings of the machined parts, working instructions for disassembling and reassembling of the machine, and service and operating instructions to avoid the issues in the future.

As a result, the machine was brought back into service, and if the issues return, they are easy to solve by using the existing material. The material will also help if the future repair measures are performed by someone not familiar with the machine.

KEYWORDS:

metal industry, materials testing, metallurgy, reconditioning, machine parts

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Opinnäytetyön tavoite	6
1.2 Turun ammattikorkeakoulu	10
<b>2 MATERIAALINTESTAUS</b>	<b>11</b>
2.1 Vetokoe	12
2.2 Vetokoneen toiminta ja siltä vaadittavat ominaisuudet	14
<b>3 KONEENOSAN VALMISTUS JA KORJAUS</b>	<b>17</b>
3.1 Materiaalin valintaperusteet	17
3.2 Työkaluteräksset ja lämpökäsittely	18
3.3 Hydrauliikan komponentit	19
<b>4 TYÖN TOTEUTUS</b>	<b>21</b>
4.1 Kuntokartoituksen laadinta	21
4.2 Koneen purku ja johtopäätökset	22
4.3 Uusien osien suunnittelu ja valmistus	25
<b>5 KOKOAVAA TARKASTELUA</b>	<b>29</b>
5.1 Yhteenveto ja johtopäätökset	29
5.2 Jatkoimenpiteet	29
<b>LÄHTEET</b>	<b>30</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Leukapalan piirustus
- Liite 2. Kiinnityspalan piirustus
- Liite 3. Kiskopalan piirustus
- Liite 4. Purkuraportti

## KUVAT

Kuva 1. Vetokoneen kiinnittimet.

6

Kuva 2. Leukapala ja kiinnityspala.	7
Kuva 3. Kiinnittimen osien vaurioita.	8
Kuva 4. Vauriot leukapalan pinnassa.	9
Kuva 5. Kiristysrenkaat.	22
Kuva 6. Tiivisteet.	24
Kuva 7. Kulumisurat.	25
Kuva 8. Leukapalan 3D-malli.	26
Kuva 9. Uudet osat asennettuna.	28

## **KUVIOT**

Kuvio 1. Yksiosainen myötöraja.	13
Kuvio 2. Kaksiosainen myötöraja.	14

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Toolox 44 ominaisuudet (Ssab 2020).	19
---	----

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tavoite

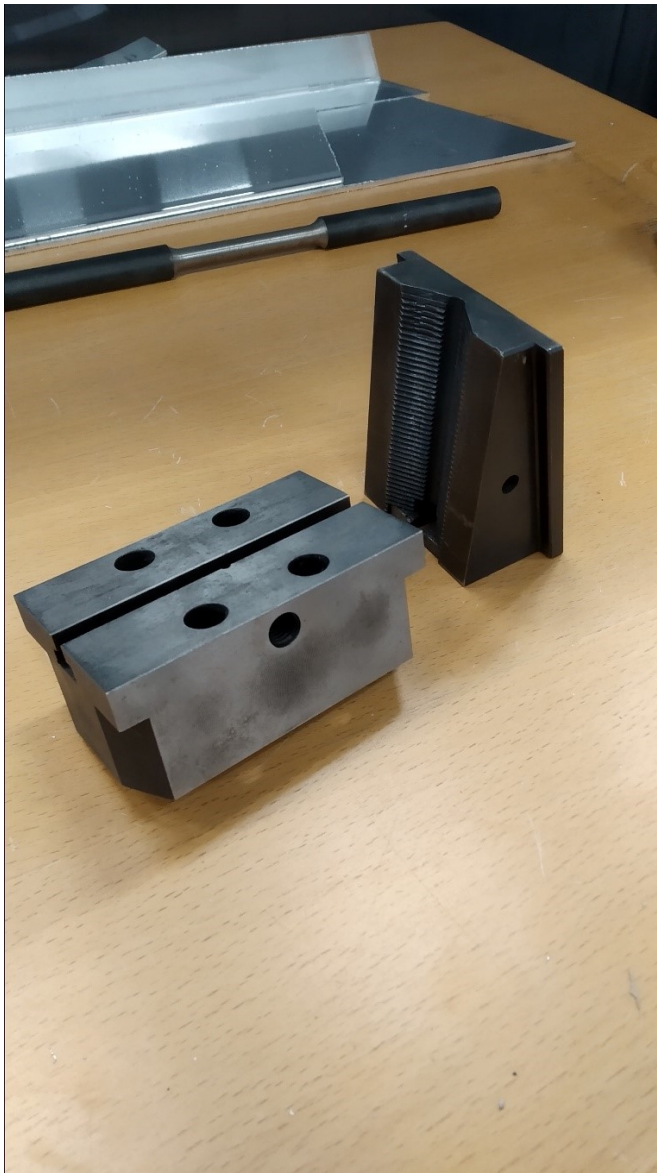
Työn tavoitteena on laatia kuntokartoitus ja huoltoraportti Turun ammattikorkeakoulun vetokoneesta. Vetokonetta on käytetty niin koulun kuin yritystenkin tarpeisiin materiaalintestauksessa vuodesta 1994 suhteellisen vähäisin ongelmin. Koneessa on kuitenkin tyyppivika, mistä syystä kiinnitin, jolla testattava koekappale kiinnitetään laitteeseen, vuotaa hydraulikkaöljyä. Koneen kiinnittimet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Vetokoneen kiinnittimet.

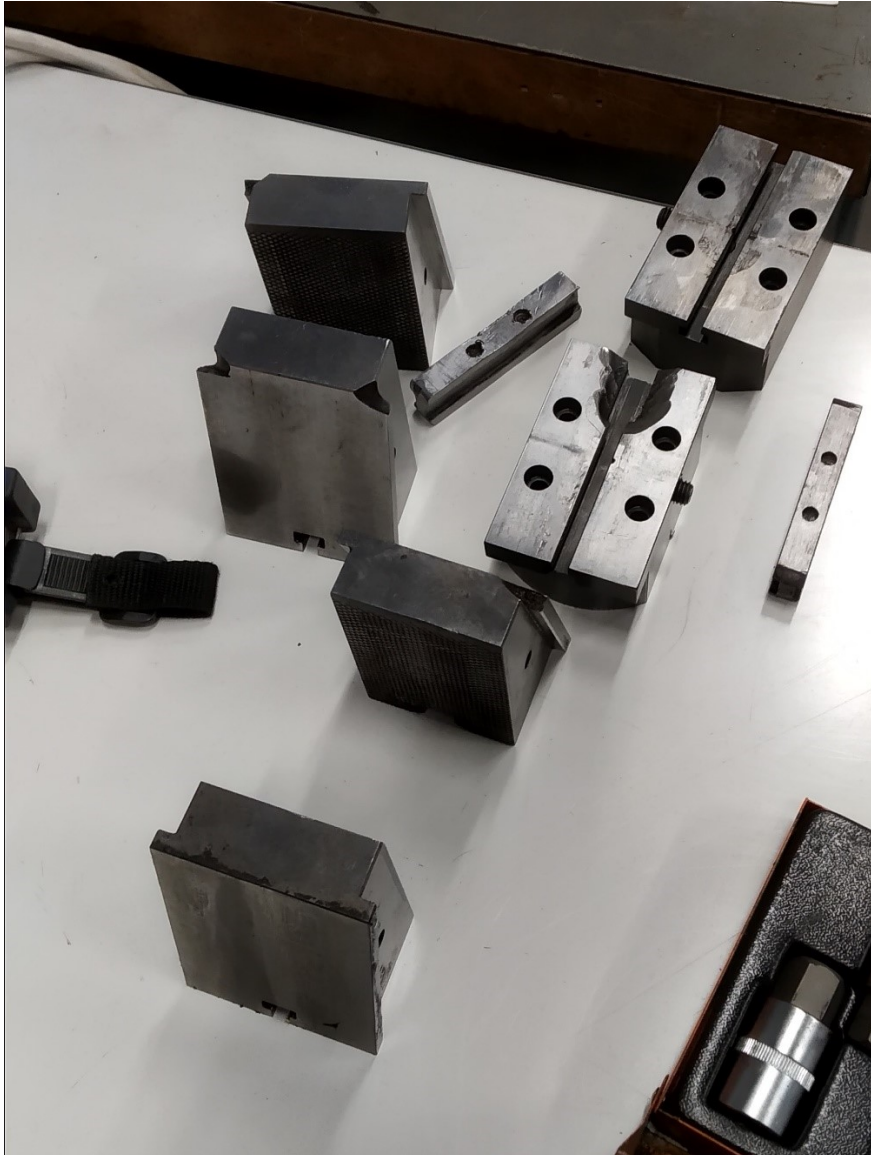
Kyseinen vuoto on korjattu koneesta jo ainakin kerran, mutta korjausta ei ole dokumentoitu millään tavalla. Siitä syystä tarvittavista varaosista tai työn suorituksesta ei kenelläkään ole kokemusta.

Öljyvuodon lisäksi koneessa on lisäksi käytöstä aiheutuneita kulumia. Selkein ja toimintaan eniten vaikuttava kuluneisuustekijä on kiinnittimen leukojen tartuntapinnoissa. Toistuvat puristus- ja vetovoimat ovat aiheuttaneet painaumia ja hioutumia leukapalojen pinnoissa, joten leukapaloilla ei saa tukevaa otetta koekappaleesta.



Kuva 2. Leukapala ja kiinnityspala.

Tartuntapintojen vaurioiden lisäksi useissa leukapaloissa on näkyvissä selviä murtumia tai lohkeamakohtia. Leukoja pitää paikallaan kiinnityspalassa I-palkin muotoinen kiskopala, joka on myöskin taipunut ajan saatossa siten, ettei se liiku urassaan enää vaaditulla tavalla. Leukapala pyöreille koekappaleille sekä kiinnityspala on esitetty kuvassa 2, ja leukojen sekä kiinnityspalojen vaurioita on nähtävillä kuvissa 3 ja 4.



Kuva 3. Kiinnittimen osien vaurioita.



Kuva 4. Vauriot leukapalan pinnassa.

Korjaamista ja varaosien hankintaa vaikeuttaa myös se, ettei koneen valmistanut yritys ole enää toiminnassa. Koneita tarvitaan myös jatkuvasti, joten korjauksesta aiheutuvan seisakin pituus tulee minimoida.

Opinnäytetyössä etsitään erilaisia ratkaisuja koneen ongelmiin ja pohditaan, mikä koneen kunnostuksessa on taloudellisesti kannattavinta. Jotta korjaustoimenpiteet

voidaan hoitaa lyhyessä ajassa, työssä selvitetään keskeiset osien toimintaan, korjaukseen ja valmistukseen liittyvät asiat jo ennen koneen purkamista. Näin aikaa pystytään säästämään mikäli koneen purkamisvaiheessa ilmenee jokin merkittävä lisäongelma.

Opinnäytetyön jäsentely noudattelee koneen purkamisjärjestystä. Ensin käsitellään koneen perustiedot ja asiat jotka voidaan todentaa konetta purkamatta. Tämän jälkeen syvennyttään osien ominaisuuksiin siinä järjestyksessä, jossa osat ovat koneesta irrotettavissa.

## 1.2 Turun ammattikorkeakoulu

Työ suoritettiin Turun ammattikorkeakoululle, ja työn aiheena oleva kone sijaitsee koulun käytännön oppimisympäristössä Koneteknologiakeskus Turku Oy:n tiloissa. Koneteknologiakeskus toimii oppimis- ja harjoitteluympäristönä alueen korkeakouluille ja oppilaitoksille, ja se tarjoaa oppimisympäristön joka pyrkii refleктоimaan yrityselämän tarpeita. Yrityksille tarjotaan myös erilaisia palveluita liittyen tuotannon kehittämiseen, prototyyppien valmistamiseen sekä mittaukseen ja kalibrointiin. Erilaisten projektien ja hankkeiden avulla Koneteknologiakeskus pyrkii tukemaan ja edistämään teollisuuden kehittymistä. Turun ammattikorkeakoulu on Koneteknologiakeskuksen pääomistaja. (Koneteknologiakeskus Turku Oy 2021.)

## 2 MATERIAALINTESTAUS

Materiaalintestauksessa pyritään kokeellisesti tutkimaan materiaalin ominaisuuksia ja käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa. Tietoja materiaalin muodonmuutoksista voidaan hyödyntää arvioidessa ulkoisten tekijöiden vaikutusta. Kokeellisesti saadulla datalla on myös mahdollista todentaa matemaattinen malli, jota voidaan käyttää apuna määrittelyssä odotettuun rasitukseen soveltuvaa materiaalia. Sopivan materiaalin valinta ja laadunvalvonta mahdollistavat vähäiset muodonmuutokset käyttökohteessa, ja siitä syystä takaavat turvallisen materiaalin käytön. (Hofer 2000.)

Testaustoimenpiteet voidaan jakaa erilaisiin kategorioihin, kuten

- mekaanisten ominaisuuksien testaukseen
- lämpöominaisuuksien testaukseen
- sähköisten ominaisuuksien testaukseen
- korroosion- ja säteilynkeston sekä biologisen hajoamisen testaukseen.

Työssä keskitytään vain aineen mekaanisten ominaisuuksien testaamiseen, koska muita edellä mainittuja ominaisuuksia ei voida vetokoneella todentaa eivätkä ne ole oleellisia ominaisuuksia vetokoneen osalle.

Mekaanisten ominaisuuksien testaus voidaan edelleen jakaa rikkovaan- ja rikkomattomaan aineenkoetukseen. Rikkovassa aineenkoetuksessa koekappaletta kuormitetaan siten, että se rikkoontuu tai sen ominaisuuksiin tulee muita pysyviä muutoksia. Käytettyä koemateriaalia ei voida enää testauksen jälkeen käyttää. Rikkomattomassa aineenkoetuksessa kappaleen ominaisuudet pyritään selvittämään ilman, että siihen muodostuu pysyviä muodonmuutoksia. (ZwickRoell 2021.)

Testeissä erityyppisillä kuormituksilla saadaan selville aineesta erilaisia ominaisuuksia. Kuormitukset voivat olla staattisia, dynaamisia tai väsyttäviä.

Staattisissa kokeissa koekappaleen muodonmuutuskäyttäytymistä tutkitaan kohdistamalla kappaleeseen hitaita, tasaisesti vaikuttavia voimia. Rasituksen hitaalla kasvattamisella voidaan välttää mittausvirheitä. Staattisessa kokeessa kappaletta voidaan vetää, puristaa, vääntää, taivuttaa tai leikata, ja kokeen avulla kappaleen muodonmuutoksista voidaan selvittää materiaalin kyky vastustaa edellä mainittuja voimia. Kokeen tuloksena

saadaan materiaalin myötö- ja murtolujuus, sekä venymät eri kuormituksilla. (ZwickRoell 2021.)

Dynaamisissa kokeissa koekappaleeseen kohdistetaan staattista kuormitusta lyhyempi, iskumainen tai jaksottainen kuormitus. Kappaletta voidaan staattisten kaltaisten asetelmien lisäksi muun muassa lävistää, iskeä tai pudottaa, ja kokeella voidaan selvittää materiaalin lävistyksenkestävyys, iskusitkeys tai -lujuus. (ZwickRoell 2021.)

Väsyttävissä kokeissa koekappaleeseen kohdistetaan toistuva, syklinen kuorma, joka voi vaihdella esimerkiksi vedon ja puristuksen välillä. Kokeen avulla voidaan selvittää materiaaliin ajan myötä syntyvät vauriot, ja näiden avulla laskea kappaleen väsymisikä. (ZwickRoell 2021.)

## 2.1 Vetokoe

Vetokoe on yksi tärkeimpiä ja yleisimpiä mekaanisia materiaalintestausmenetelmiä. Vetokokeessa koekappaletta vedetään, kunnes kappale on kokonaan katkennut. Kappaleeseen vaikuttavaa voimaa sekä sen muodonmuutoksia mitataan kokeen ajan, ja näiden avulla pystytään määrittelemään, kuinka luja kappale on ja kuinka paljon se venyy ennen hajoamistaan. (TWI Ltd 2021.)

Vertailukelpoisia lukuarvoja materiaalien ominaisuuksista saadaan rutiininomaisilla testeillä, jonka yksi suoritustapa on standardin SFS-3173 mukaisesti. Standardi määrittää muun muassa koeasetelman lähtöarvot, kappaleen kuormituksen sekä koekappaleen mitat. Vastaava kansainvälinen standardi on DIN EN ISO 6892. Standardin mukaisen koeasetelman noudattaminen takaa luotettavat ja helposti toistettavat tulokset. (Ihalainen ym. 2009, 38.)

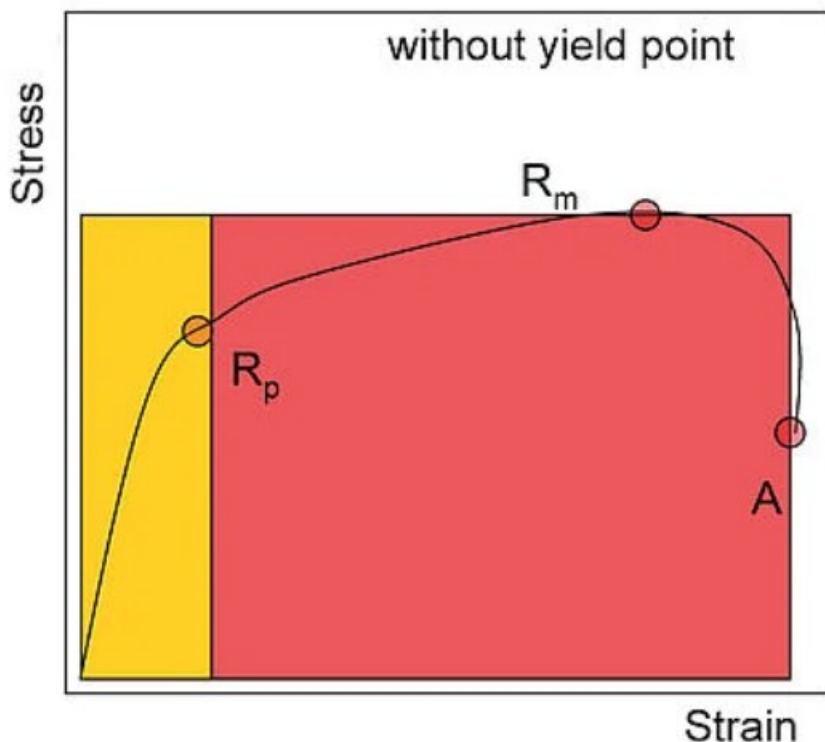
Tärkeimmät kokeella selvitettävät materiaalin ominaisuudet ovat myötö- ja murtolujuus, sitkeys ja venymä. Kokeella on myös mahdollista selvittää aiheutunut venytyksestä aiheutunut muokkauslujittuminen, kimmomoduuli, sekä poissonin suhde. (TWI Ltd 2021.)

Vetomyötö ja -murtolujuus ilmaisevat kappaleen kykyä vastustaa siihen vaikuttavaa voimaa. Lujuus määritellään selvittämällä materiaalin ominaisrajat erilaisille muodonmuutoksille. Myötöraja  $R_p$  ilmaisee sitä pistettä, minkä jälkeen kappaleeseen syntyy venyttäessä plastisia, eli pysyviä muodonmuutoksia. Kuvio 1. kuvastaa rasituksen ja kappaleen

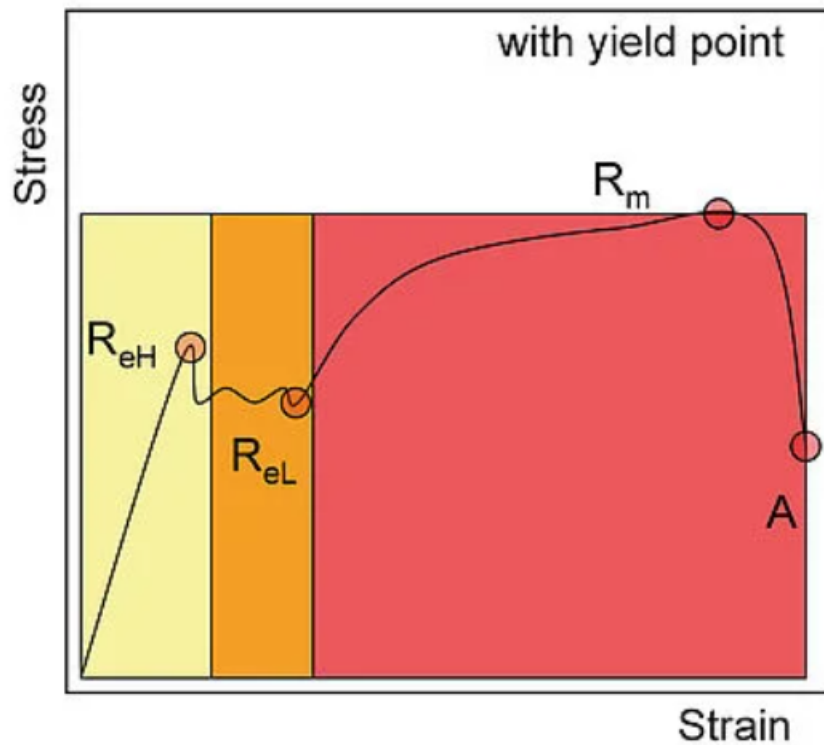
venymän suhdetta, jota tarkastellessa myötöraja voidaan määrittää pisteeseen, jossa kuvaaja alkaa kaartumaan jyrkemmin oikealle. (Ihalainen ym. 2009, 38.)

Osalle materiaaleista voidaan määrittellä kaksi myötörajaa, ylempi  $R_{eH}$  ja alempi  $R_{eL}$ , kuten kuviossa 2. Tällaiset materiaalit venyvät ylempään myötörajan ylittyttyä ylempää myötörajaa pienemmällä voimalla, kunnes venymä kasvaa materiaalille ominaiseen pisteeseen ja venytykseen tarvittavaa voimaa täytyy jälleen kasvattaa. Ainoastaan teräksille voidaan määrittellä selkeä myötöraja tai rajat, joten muille materiaaleille on määritetty keinotekoinen raja siihen jännitykseen, kun pysyvän venymän suuruus ylittää 0,2 %. (ZwickRoell 2021; Ihalainen ym. 2009, 38.)

Materiaalin murtoraja  $R_m$  määritellään sinä pisteessä, jossa jännityksen arvo on kokeen aikana suurin. Murtoraja saavutetaan kun vetokoetta jatketaan myötörajan ylittämisen jälkeen aiheuttaen plastisia muutoksia, kunnes kappale murtuu. Ennen murtumistaan koekappale kuroutuu heikoimmasta kohdastaan, jolloin sen poikkipinta-ala kapenee. Edellä mainittujen rajojen ja lujuuksien yksiköiksi on määritetty joko MPa tai N/mm<sup>2</sup>. (Ihalainen ym. 2009, 38.)



Kuvio 1. Yksiosainen myötöraja.



Kuvio 2. Kaksiosainen myötöraja.

Myötörajaa käytetään lujuusominaisuuksiin perustuvassa teräksen merkintätavassa. Muita merkintätapja ovat kemialliseen koostumukseen-, numerotunnukseen-, sekä käytötarkoitukseen perustuvat merkintätavat. (Ihalainen ym. 2009, 31.)

## 2.2 Vetokoneen toiminta ja siltä vaadittavat ominaisuudet

Tyypillisesti vetokone koostuu kuormitusyksiköstä, kappaleen kiinnittävästä sekä ohjauksista osista, kuormituksen- ja pituudenmittalaitteista, ohjausjärjestelmästä sekä testiohjelmistosta. Kuormitusyksikön toimintaperiaate ja kapasiteetti riippuvat vaadittavasta kuormituksesta ja testin tyypistä, mutta useissa markkinoilla olevissa malleissa on samankaltainen konfiguraatio, jossa koekappaletta kuormitetaan pystysuunnassa kappaleen yläosaan kiinnitetyn kiinnittimen liikkeen avulla. Suurimpien koneenvalmistajien massatuotantomallit ovat maksimivetokyvyltään 0,02 N – 2500 kN, joista pienimmät, alle

5 kN kapasiteettiin kykenevät laitteet on tarkoitettu lähinnä laboratoriokäyttöön esimerkiksi muovien ja tekstiilien testaamiseen. (ZwickRoell2021; Instron 2021.)

Vetokoneiden kuormitusyksiköt ovat tyypillisesti sähköisiä, hydraulisia tai sähköhydraulisia. Esimerkiksi tunnetun materiaalintestauslaitteiden valmistajan Instronin mallisto on jaettu kuormitusyksikön toiminnan ja kapasiteetin perusteella kahteen pääosaan: staattisiin ja dynaamisiin testausjärjestelmiin. Staattiset järjestelmät on jaettu edelleen alle 50 kN ja yli 100 kN kapasiteettiin kykeneviin laitteisiin. Näistä pienemmät ovat kuularuuvikäyttöisiä sähkömekaanisia, kuin myös suuremman kapasiteetin ryhmään kuuluvat järjestelmät aina 600 kN asti. Tätä tehokkaammat laitteet ovat kaikki hydraulisia. Dynaamisten laitteiden kategoriassa laitteet on jaoteltu lineaarimoottorilla toimiviin alle 10 kN kapasiteettiin kykeneviin laitteisiin, ja hydraulisiin laitteisiin 5000 kN kapasiteettiin asti. Mekaanisten kuularuuvilaitteitten, sekä lineaarimoottorikäyttöisten laitteitten etuna hydraulisiin verrattuna mainostetaan muun muassa öljyttömyyttä ja hiljaisuutta, kun puolestaan hydraulisten järjestelmien suurimpia etuja on laaja kapasiteetti ja suuri työalue. (Instron 2021.)

#### Matertest FMT-ST/D

Työssä käytetty vetokone on valmistettu vuonna 1994. Koneen alaosassa on runko, johon on kiinnitetty voima-anturi ja alapuolinen kiinnitin. Koneen yläosassa on korkeussäädettävä kuormituskehä, vetosylinteri, yläpuolinen kiinnitin sekä siirtymäanturi. Lisäksi koneessa on hydraulinen yläpalkin siirtojärjestelmä sekä tiedonkeruukortti ja siihen liitetty tietokonejärjestelmä. Hydraulikoneikko on erillään koneesta. Koneen suurin staattinen kuormitus on 250 kN ja suurin dynaaminen kuormitus on 220 kN. Koneella on mahdollista tehdä veto-, puristus, sekä taivutuskokeita. (Koneen huolto-ohjekirja 1994.)

Koneessa on kaksi samanlaista kappaleen kiinnitintä, jotka koostuvat kolmesta pääkomponentista: runko-osasta, männästä sekä leukapalasta ja niiden kiinnityspalasta. Puristusvoima saadaan aikaiseksi avaamalla magneettiventtiili, jolloin hydrauliiikan paine kasvaa, ja pakottaa kiinnittimen runko-osan liukumaan koneen runkoon kiinnitettyyn männään nähden. Liukuessaan kiilamainen runko-osa pyrkii supistamaan siihen t-uralla kiinnitetyt leukapalat yhteen.

Leukapalojen tartuntapintoihin on koneistettu karhennukset suuremman kitkan saavuttamiseksi, mutta palojen pinnankarheus muilta osin on suhteellisen pieni, jotta palat

pääsevät puristettaessa liukuman runko-osaan nähden helposti. Leukapaloista on hie-  
man toisistaan eroavat mallit pyöreille- ja tasomaisille kappaleille. Leukapalat kiinnite-  
tään kiinnityspalaan I-palkin muotoisella kiskopalalla.

## 3 KONEENOSAN VALMISTUS JA KORJAUS

Jotta koneenosa toimii käyttökohteessaan toivotulla tavalla yhdessä muiden osien kanssa, sen ominaisuudet tulee määritellä ja dokumentoida. Osaa määritellessä suunnittelija käyttää tieteellisiä perusteita, teknisiä tietoja sekä mielikuvitustaan luodakseen perusteet osalle, joka suorittaa siltä vaaditut toiminnot mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti. (Bhandari 2010, 1.)

Osan suunnittelu aloitetaan selvittämällä osalta vaaditut perusominaisuudet, kuten ulkomitat, massa, hinta ja vaadittu luotettavuus. Tämän jälkeen pyritään selvittämään mahdollisimman tarkasti osaan vaikuttavat voimat, rajaamaan toiminnallisten vaatimusten perusteella osalle soveltuva materiaali, sekä määrittelemään todennäköisin ongelma-kohta eli arvioimaan millä ominaisuudella on suurin vaikutus kappaleen vikaantumiseen. Suunnittelun aikana suunnittelijan tulee ottaa huomioon osan vahvuus, tukevuus, kulumisenkestävyys, valmistettavuus, standardienmukaisuus, luotettavuus, ylläpidettävyys sekä elinkaarikustannukset. (Bhandari 2010, 3–4.)

Koneenosat voidaan jaotella monikäyttöisiin yleisosiin sekä erityistä tarkoitusta varten kehitettyihin osiin. Yleisosa ovat esimerkiksi erilaiset akselit, kytkimet, laakerit, hammaspyörät ja jouset. Erityisosa voi olla esimerkiksi männät, venttiilit tai karat. Täsmällisten erityisosien valmistaminen on mahdollista kattavien valmistuskuvien avulla, jotka sisältävät tiedot osan materiaalista, mitoista, toleransseista ja pinnanlaadusta. (Bhandari 2010, 3-4.)

### 3.1 Materiaalin valintaperusteet

Materiaalinvalinta on yksi tärkeimmistä koneen osan suunnittelussa huomioitavista vaiheista. Valinta on usein kuitenkin haastava, jolloin materiaaleja joudutaan kohteesta riippuen kokeilemaan myös käytännön testeillä ennen lopullista päätöstä. Materiaalin kestävyys ja hinnan lisäksi lisäksi valintaa rajaavat materiaalin saatavuus ja valmistustekniset ominaisuudet, kuten hitsattavuus, joten valmistustekniikan valinta tulee päättää samanaikaisesti materiaalin kanssa. Joissain tapauksissa kallis materiaali on halpaa vastinetta helpommin työstettävissä, jonka myötä osan kokonaishinta on pienempi. (Bhandari 2010, 51.)

Jotta osan kestävyys pystytään suhteuttamaan siltä vaadittuun käyttöikään, huomioidaan suunnittelussa seuraavat materiaalin mekaaniset ominaisuudet:

- Lujuus
- Kimmoisuus
- Plastisuus
- Jäykkyys
- Voiman absorbointikyky
- Sitkeys
- Muovautuvuus
- Venymäkyky
- Hauraus
- Kovuus

Kun materiaalilta vaadittavat ominaisuudet on selvitetty, kerätään lista potentiaalisista materiaaliveitohdoista, ja päätetään käytettävä materiaali. Päätöksenteossa voidaan käyttää apuna esimerkiksi erilaisia painotustaulukoita, joilla materiaalin vaatimukset ja ominaisuudet pisteytetään sen mukaan, kuinka tärkeitä ne ovat käyttökohteessa. (Bhandari 2010, 23, 50.)

### 3.2 Työkaluteräksiset ja lämpökäsittely

Erilaisissa voimaa välittävissä koneenosissa, kuten hammaspyörissä ja akseleissa, lujuus, sitkeys ja lämpökäsittelykyky ovat tärkeässä asemassa. Tällaisille osille tyypilliset kuormitukset vaikuttavat eri tavalla osan pintaan ja sen ytimeen, jonka myötä paras mahdollinen kestävyys saavutetaan, mikäli osan pinnasta voidaan lämpökäsittelyn avulla tehdä kova, ja ydinosasta sitkeä. (Bhandari 2010, 31.)

Korkea hiilipitoisuus edesauttaa teräksen lämpökäsittelyä. Runsashiiliset teräksiset reagoivat lämpöön helposti, ja materiaaliin saadaan halutut ominaisuudet helpommin kuin vastaavaan, niukempihiiliseen teräkseen. Tällaisia teräksiä, joiden hiilipitoisuus on enemmän kuin 0,5 %, kutsutaan työkaluteräksiksi. Työkaluteräs määritellään erikoisvaatimuksiin kehitettynä karkenevana teräksenä, jota voidaan käyttää materiaalina erilaisissa mekaanisissa kiinnityksissä tai työkaluissa leikkaamiseen tai muovaamiseen. Sitä voidaan käyttää myös muissa sovelluksissa, missä vaaditaan suurta kulumisenkestävyyttä, lujuutta sekä sitkeyttä. (Bhandari 2010, 30, 36; Roberts ym. 2000, 1.)

Käytetään esimerkkinä tyypillisestä työkaluteräksestä SSAB:n tuotemerkkiä Toolox 44. Kyseinen teräs sisältää hiiltä 0,32 %, piitä 0,9 % ja mangaania 0,8 %. Lisäksi teräs sisältää maksimissaan 1,7 % kromia, 1,4 % molybdeenia ja nikkeliä, sekä alle prosentin fosforia, rikkiä ja vanadiumia. Tarkan koostumuksen lisäksi laadun varmistamiseksi teräksen kovuus ja iskutkeys mitataan EN ISO 6506-1 ja EN 10 025 -standardien mukaisesti sekä teräkselle tehdään ultraäänitutkimus. (Ssab 2020.)

Teräksen mekaaniset ominaisuudet on nähtävillä alla taulukossa 1.

Taulukko 1. Toolox 44 ominaisuudet (Ssab 2020).

<b>Toolox® 44 - Mechanical Properties</b>	<b>-20°C</b>	<b>+20°C</b>	<b>+200°C</b>	<b>+300°C</b>	<b>+400°C</b>	<b>+500°C</b>
Hardness (HBW)		450	440	415	380	345
Hardness (HRC)		-45	-44	-42	-38	-35
Yield strength $R_{p0.2}$ (MPa)		1300	1150	1040	980	825
Tensile strength $R_m$ (MPa)		1450	1340	1270	1190	1010
Elongation, A5, (%)		13	10	12	14	19
Reduction of Area Z (%)		35				
Impact toughness, Charpy-V (J)	13	30	60	80	80	

### 3.3 Hydrauliiikan komponentit

Hydraulisen järjestelmän komponentteina toimivien koneenosien tavoitteena on minimoida vuodot, jotka alentaisivat järjestelmän sisäistä painetta ja heikentäisivät hyötysuhdetta. Komponenttien, joiden on tarkoitus pidättää paine-eroa, tulee kestää paineen aiheuttamat voimat muuttumattomina, mutta liikkuvien osien tulee olla mahdollisimman kevyitä. Nämä tekijät huomioon ottaen, rajaava materiaalin ominaisuus hydrauliiikan komponenteissa on usein lujuus ja tähän vaikuttava korroosionkestävyys. Lisäksi järjestelmästä riippuen rajaavia ominaisuuksia saattavat olla lämpötilojen kesto, materiaalin muokkauslujittuminen sekä hitsattavuus. (Mogbeyi 2015.)

Yleisin pienissä hydrauliiikan komponenteissa käytetty materiaali on pinnoitettu hiiliteräs, joka tarjoaa hyvän lujuuden ja lämmönkestävyyden hintaansa verrattuna. Korroosionkestävyyden parantamiseksi hiiliteräs tyypillisesti sinkitään tai seostetaan muiden metallien kanssa. Syövyttävissä sovelluksissa, joissa vaaditaan hyvää korroosionkestävyyttä, voidaan hiiliteräksen sijaan käyttää alumiinia, messinkiä tai ruostumatonta terästä, joilla

jokaisella on ominaiset hyötynsä: alumiini on kevyttä, messinki sitkeää ja helposti koneistettavaa, ja ruostumaton teräs lujaa ja kestävä. Materiaalien lujuuseron näkee selvästi vertailemalla samanlaisten hydrauliliittimien maksimipaineen kestoja. Missä messinkinen liitin soveltuu noin 200 barin paineelle, soveltuu vastaava alumiininen 270 barille ja ruostumaton vastaava jopa lähes 700 barin sovellukselle. (Sharf 2018.)

Huolimatta siitä, että hydraulijärjestelmän osat olisivat kuormituksen nähden mitoitettu riittäviksi, ulkoisille tekijöille alttiit osat, kuten männänvarret, saattavat vaurioitua iskumaisista, pienelle alalle kohdistuvista voimista tai toistuvasta kulutuksesta, mikäli liukupinnat eivät ole riittävän kovia. Liukupinnan kuluessa siihen koneistettu hiontakuvio mataloituu, jolloin pinnan ja tiivisteiden väliin jäävä öljykalvo ohenee ja kuluminen kiihtyy edelleen. Pintojen kestävyttä pyritään parantamaan usein erilaisilla kovapinnoitusmenetelmillä, kuten kovakromauksella tai termisellä ruiskutuksella, joilla pystytään vaikuttamaan myös pintojen korroosioon. (Yang 2011, 1–9.)

Vaikka esimerkiksi kovakromauksen ja tavallisen kiiltokromauksen tuotantoprosessit ovat samankaltaiset, teollisuuteen tarkoitetut kovapinnoitusmenetelmät voidaan erottaa tavallisesta korroosiota estävästä pinnoituksesta pinnan paksuuden perusteella. Tyypillinen kovakromauksella saavutettava pinnan paksuus on 10–500 µm, kun puolestaan kiiltokromauksessa pinnan paksuus on pääsääntöisesti vain 0,05–0,5 µm. Kummallakin prosessilla on mahdollista saavuttaa yhtäläinen 68–72 HRC pinnankovuus, mutta ohuella pinnoituksella pinnoitettava päämateriaali vaikuttaa enemmän toiminnalliseen kovuuteen. (Hard Chrome Specialists 2021; Peterson Enterprises 2014.)

## 4 TYÖN TOTEUTUS

### 4.1 Kuntokartoituksen laadinta

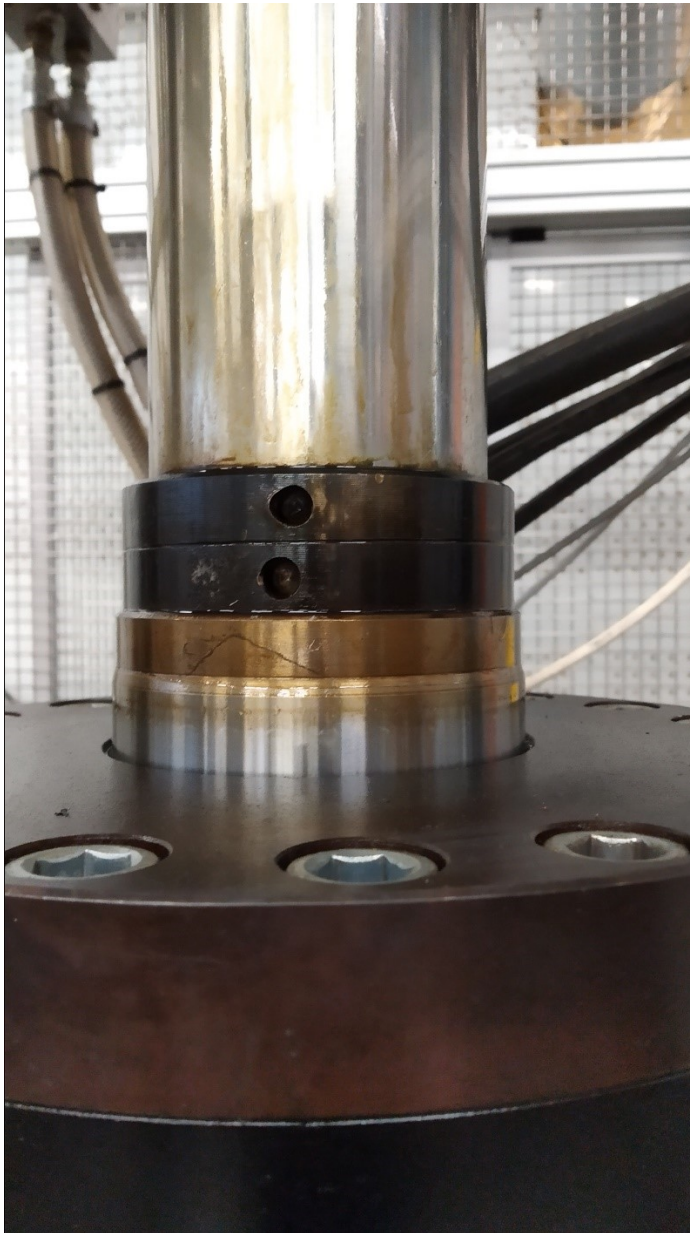
Työ aloitettiin selvittämällä koneesta ja kiinnittimestä saatavilla olevat tiedot ja kunnostusta vaativat koneen osat. Alun alkaen tiedossa olevat ongelmat olivat vuotava männän tiivistys sekä kuluneet leukapalat, mutta koska varsinaista vuodon syytä ei pintapuolisesti kiinnittimestä näe, otettiin huomioon myös mahdollisuus, että kiinnittimen runko tai sen mäntä on vaurioitunut.

Seuraavaksi selvitettiin, mitä mahdollisuuksia kuluneiden ja viallisten osien kunnostukseksi on. Hydraulikkavuodon korjaamiseksi tiivisteiden vaihtaminen olisi välttämätöntä, mutta uusien tiivisteiden etsintä ei ollut mahdollista tietämättä millainen tiivistysrakenne kiinnittimessä on. Kiinnittimen männästä saatiin selville, että se soveltuu ainakin ulkomittojensa puolesta kovakromaukseen paikallisten yritysten laitteistoilla, mutta tämä tulisi vielä varmistaa kiinnittimen purkamisen jälkeen. Kiinnittimen rungosta mahdollisia korjaustoimenpiteitä ei pystytty varmistamaan ennen kiinnittimen purkua, mutta mahdollisia vaurioita rungossa pidettiin suhteellisen epätodennäköisinä, koska vuoto on kasvanut hitaasti ja tasaisesti. Leukapalojen, niiden kiinnityspalan sekä kiskopalan tarkemman tutkimisen jälkeen todettiin, ettei niiden kunnostaminen esimerkiksi materiaalia lisäämällä ja koneistamalla ole missään määrin järkevää, ottaen huomioon kappaleiden koon. Osaa leukapaloista oli lisäksi jo korjattu aikaisemmin muuttamalla kiskopalan kiinnitysrakennetta.

Tämän jälkeen eri materiaalintestauslaitteiden valmistajilta sekä jälleenmyyjiltä, koneistamoilta sekä karkaisimoista pyydettiin tarjoukset kokonaisesta uudesta kiinnittimestä, uudesta männästä, vanhan männän uudelleenpinnoituksesta sekä uusista leukapaloista. Kokonainen uusi kiinnitin osoittautui suhteellisen kalliiksi verrattuna muihin vaihtoehtoihin, maksaessaan lisävarusteista riippuen noin 9000 € – 34 000 €, joten työn etenemissuuntaa päätettiin harkita uudelleen kiinnittimen purkamisen jälkeen. Lisäksi selvisi, että leukapalojen ja kiinnityspalan valmistus saattaa olla mahdollista Koneteknologiakeskuksen tiloissa, joka olisi ammattikorkeakoululle ehdottomasti edullisin vaihtoehto.

#### 4.2 Koneen purku ja johtopäätökset

Kiinnittimen purkaminen aloitettiin siirtämällä koneen kiinnittimet sellaiseen asentoon, että niiden poistaminen koneesta ja koneen ympärillä olevasta suoja-aitauksesta on mahdollista trukin avulla. Koneen huolto-ohjekirjan mukaan liitetyn ohjeen mukaan kiinnittimet ovat esijännitetyjä, ja niiden irrottamiseksi kiinnittimien väliin tulisi asettaa jokin kappale, joka kestää koneen maksimivedon. Vedon aikana kuvan 5 kiristysrenkaat olisi mahdollista löysyttää, ja kiinnitysleuka lähtisi irti kiertämällä.



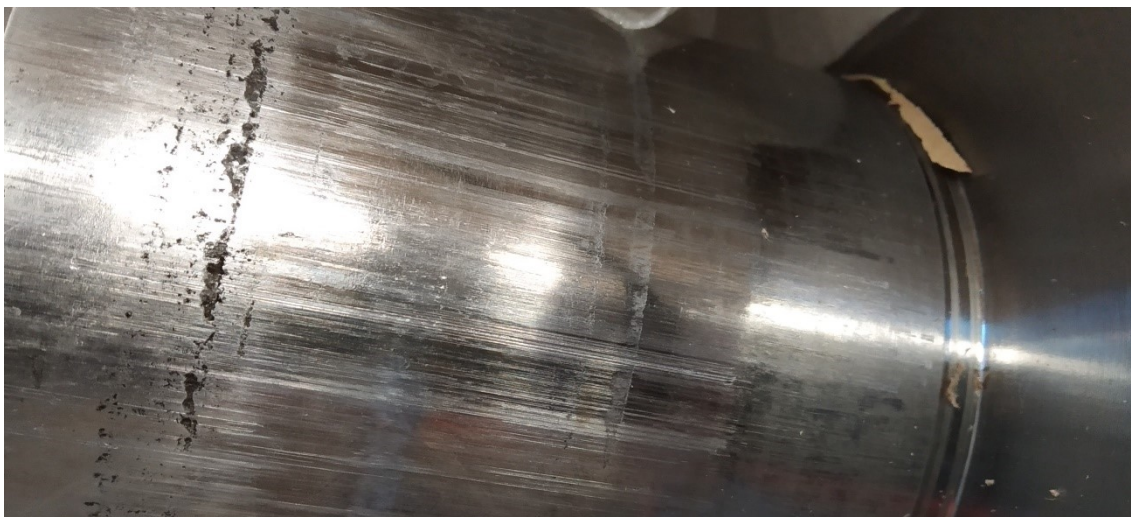
Kuva 5. Kiristysrenkaat.

Maksimivedon onnistumista kuitenkin epäiltiin, koska edellisellä vetokerralla toinen leu-  
kapala oli irronnut palan lohkeamisen myötä, ja nyt kiskopalaa ei ollut mahdollista aset-  
taa pohjaan asti. Lisäksi alempaa kiinnitintä oli mahdollista kiertää hieman käsivaraisesti,  
joten oli syytä epäillä, ettei alempaa kiinnitintä oltu esijännitetty kunnolla. Epäilykset  
osoittautuivat todeksi, ja alempi kiinnitin päätettiin irrottaa ja jättää ylempi kiinnitin tois-  
taiseksi paikalleen. Ylemmän kiinnittimen purkaminen samanaikaisesti ei ollut yhtä vält-  
tämätöntä, koska se ei vielä koneen purkuhetkellä vuotanut merkittävästi, eikä sen irroit-  
taminen onnistunut ilman esijännityksen poistoa.

Irrotuksen jälkeen alempi kiinnitin purettiin osiksi ja siitä poistettiin tiivisteet. Kuvassa 6  
näkyvät männän yläpuoliset tiivisteet, joissa kulumat olivat silminnähden suurempia, kuin  
kuin männän alapuolisissa tiivisteissä, mikä vahvistaa oletukset siitä, että ylimpänä  
olevan pölysuojan alle on päässyt ajan saatossa likaa, joka on kulkeutunut männän ja  
tiivisteiden väliin. Tiivisteiden kulumien lisäksi männän sivuissa oli havaittavissa liasta  
johtuneita pitkittäisiä kulumisuria, jotka ovat kasvattaneet männän ja tiivisteiden välistä  
kitkaa, kiihdyttäneet kulumista ja heikentäneet hydrauliiikan pitävyyttä merkittävästi. Ky-  
seiset kulumisurat näkyvät selvästi valaistussa männänvarren pinnassa kuvassa 7.



Kuva 6. Tiivisteet.



Kuva 7. Kulumisurat.

Todennäköisimpänä tiivisteiden väliin päätyneenä materiaalina pidettiin oksidoituneiden kappaleiden koevedossa irronneita pienikokoisia metallilastuja, joka vedon aikana pääsevät laskeutumaan juuri männän pölysuojan päälle. Kiinnittimen rakenne on lisäksi sellainen, että leukojen ollessa irrotettuna mäntä on mahdollista laskea kiinnittimen runkoon nähden niin alas, että männänvarren yläpinta ohittaa pölysuojan, mahdollistaen lian pääsyn tiivisteisiin.

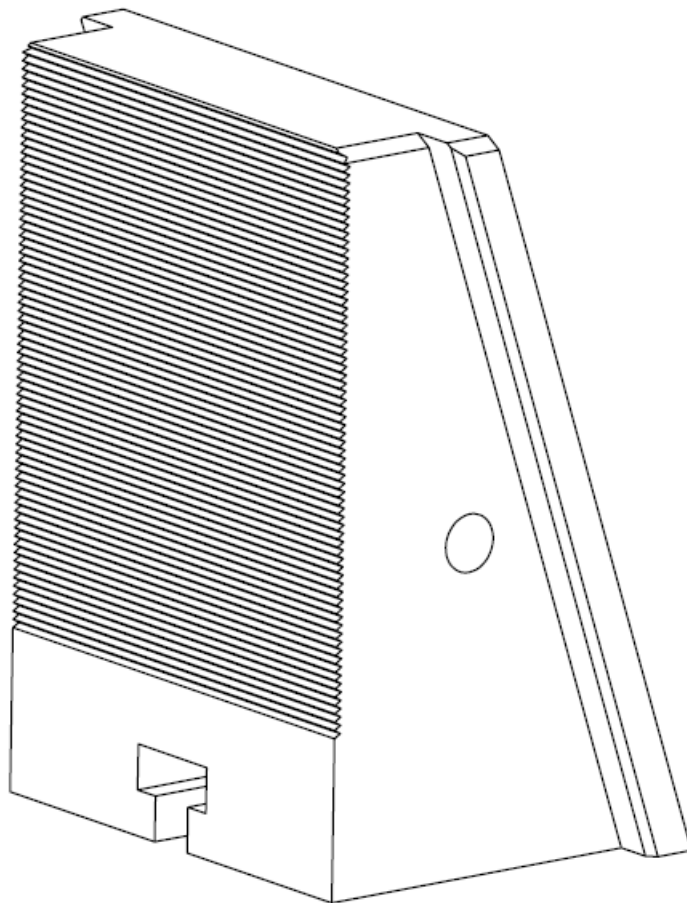
Kiinnittimen purku dokumentoitiin erilliselle raportille. Purkamisessa ei ollut montaa työvaihetta, mutta sen suorittaminen kesti kuitenkin suhteellisen kauan, koska täyttä varmuutta oikeasta purkujärjestyksestä ei ollut. Lisäksi mahdollisia lisävaurioita pyrittiin välttämään, koska varaosien saanti oli jo osoittautunut haastavaksi. Purkamisen suoritti kolmas osapuoli.

#### 4.3 Uusien osien suunnittelu ja valmistus

Uusien osien suunnittelu aloitettiin mittaamalla kiinnitysleukojen, kiinnityspalan sekä kiskopalan mitat ja kovuus. Mittausvälineinä päätettiin käyttää työntömittaa sekä Rockwell-kovuusmittauslaitetta niiden helpon käytettävyyden ja kohteeseen riittävän tarkkuuden johdosta. Leukapalojen mitoissa oli oletettua suurempia, jopa 0,20 mm suuruisia mittaeroja keskenään, jotka johtuvat ainakin osittain palojen kulumisesta. Tämän myötä lopulliset mitat otettiin vähiten kuluneista paloista ja kuluneisuus otettiin huomioon osan

kulumiselle alttiimmissa kohdissa. Kovuusmittauksista saadut tulokset vastasivat 3–5 HRC tarkkuudella aikaisemmin käyttökohteeseen tarjotun materiaalin kovuutta 60 HRC.

Seuraavaksi valmistettavista osista piirrettiin 3D-mallit, sekä niistä laadittiin valmistuskuvat Solidworks 2018 -mallinnusohjelmalla. Yksi valmis 3D-malli leukapalasta tasomaisille kappaleille on esitetty kuvassa 8. Materiaalinvalinnassa tärkeimpinä kriteereinä pidettiin sen lujuutta sekä kovuutta, ja koska suurimmat vauriot vanhoissa leukapaloissa olivat leukojen tartuntapinnoissa, todettiin materiaalin merkittävimmäksi kriteeriksi riittävä pinnan kovuus, jotta leukoihin ei syntyisi pysyviä muodonmuutoksia tartunnan aikana. Lopulta osien materiaaliksi valittiin työkaluteräs Böhler K460, jonka saavutettava kovuus oli lähes sama kuin vanhoilla osilla, eikä kovemman materiaalin valintaa ei nähty riittävän hyödylliseksi kustannuksiin verrattuna.



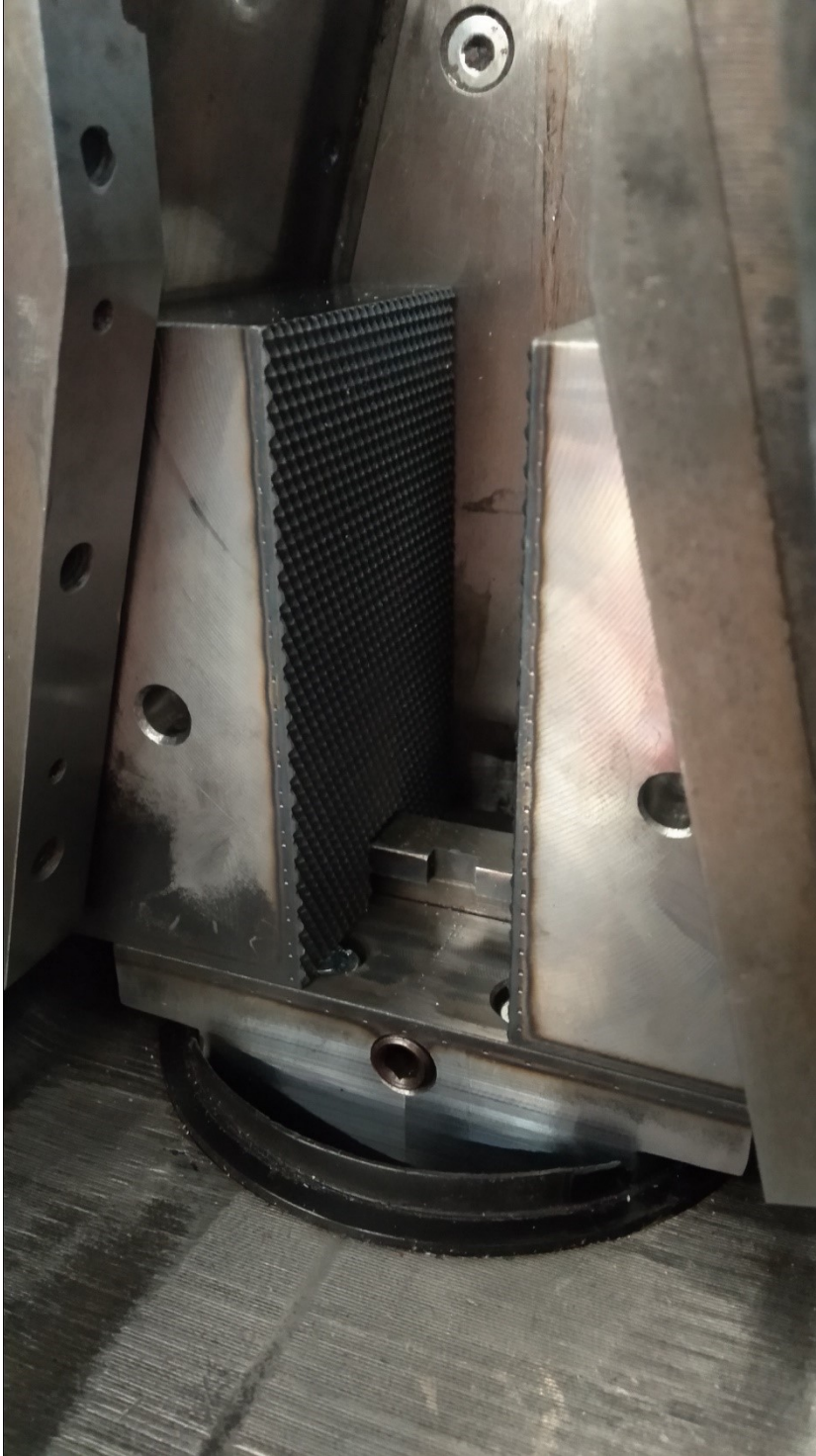
Kuva 8. Leukapalan 3D-malli.

Kaikkia kyseisiä komponentteja päätettiin tehdä aluksi yhden kiinnittimen koesarja, jotta valmistuksen onnistuvuutta ja osan lopullista toimivuutta voitaisiin testata ja kehittää. Leukapaloja valmistettiin yksi pari tasomaisille kappaleille, mutta mikäli myöhemmin tulee tarve valmistaa leukapari myös pyöreille kappaleille, piirustuksiin on helppo tehdä muutoksia. Leukapalat koneistettiin Koneteknologiakeskuksen Deckel Maho DMC 60 T-yleisjyrsinkoneella.

Koe-erän koneistus onnistui hyvin, eikä osien valmistettavuudessa ollut mitään merkittäviä ongelmakohtia lukuun ottamatta leukapalan kiinnitysuran leveyttä. Saatavilla olevilla terillä kiinnitysuran reunojen koneistaminen ei ollut mahdollista leventämättä uran aukkoa, koska terän varsi oli tätä leveämpi. Tämän lisäksi koneistuksen aikana kiinnityspalan ja leukapalan valmistuskuviiin tehtiin pieniä muutoksia lisäämällä niihin yksi kulman merkintä, sekä muuttamalla kahden mitoituksen paikkaa valmistuksen kannalta oleellisempiin kohtiin. Alkuperäisen kaltaista vaakasuoraa karhennusta leukapaloissa päätettiin kehittää edelleen, ja paloihin jyrsittiin sen sijasta 30 asteen kulmassa oleva teräväreunainen karhennus molempiin suuntiin kovametalliterällä. Koekokoonpanon jälkeen kiskopalan ja urien toleranssit todettiin liian tiukiksi, joten sekä leukapalojen että kiinnityspalan uria päätettiin laajentaa, kunnes kiskopala liukui siinä käsivaraisesti käyttämättä suurempaa voimaa.

Koneistuksen jälkeen osien sopivuus vetokoneeseen varmistettiin. Osien lämpökäsittely päätettiin aloittaa kokeilemalla yksinkertaisen kappaleen karkaisun onnistumista Koneteknologiakeskuksen laserkarkaisulaitteiston avulla. Ensimmäiseksi kappaleeksi valittiin kiskopala, jonka mahdolliset karkaisun aiheuttamat muodonmuutokset olisi helppo todentaa.

Lopuksi kiinnittimen männälle suoritettiin puhdistuskoneistus sekä kovakromaus paikallisen yrityksen laitteistolla, sekä kiinnittimeen hankittiin uudet tiivisteet ottamalla mallia vanhoista. Tiivisteitä hankittiin kaksi sarjaa, jotta ylempään leukaan tiivisteet ovat jo valmiina, mikäli se alkaa myös vuotamaan lähiaikoina. Lisäksi kiinnittimeen hankittiin puuttuvat kaksi kuusiokoloruuvia. Uudet osat paikallaan koneessa on nähtävillä alla kuvassa 9.



Kuva 9. Uudet osat asennettuna.

## 5 KOKOAVAA TARKASTELUA

### 5.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Karkaisun jälkeen osien mitat muuttuivat hieman, mutta riittävä mittatarkkuus saavutettiin hiomalla osia karkaisun jälkeen hieenvalmistushiomakoneella. Käytettävissä olevilla karkaisuvälineillä ei ollut mahdollista saavuttaa yhtä syvää karkaisusyvyyttä kuin alkuperaisissa osissa, mutta osiin onnistuttiin saamaan tätä kompensoimaan alkuperäistä suurempi, noin 65 HRC kovuus. Lisäksi uudentyypinen ristikkäinen karhennus leukapaloissa osoittautui toimivaksi.

Männän kovakromauksen ansiosta sen pinta saatiin palautettua alkuperäistä vastaavaan, tai jopa sitä parempaan kuntoon. Uusi pinta on huomattavasti vanhaa kovempi, joten uudelleennaarmuuntuminen ei tapahdu yhtä nopeasti kuin ennen.

Koska alemman kinnittimen edellisestä kunnostuksesta on saatavilla olevan tiedon mukaan ainakin 15 vuotta aikaa, voidaan olettaa, että koneen käyttöikä jatkuu vähintään saman verran kiinnittimen toimivuuden puolesta.

### 5.2 Jatkoimenpiteet

Jatkossa koneen käyttäjän tulee huomioida männän ja kiinnittimen rungon välisen pinnan puhtaus, sekä koneen säännölliset huoltotoimenpiteet. Oksidoituneiden koekappaleitten käsittelyä tulee välttää, ettei rautaoksidia pääse kulkeutumaan pölysuojan alle. Lisäksi alempaa kiinnitysleukaa tulee ajaa tarkasti leukojen vaihtotyön aikana siten, ettei männän yläpinta pääse pölysuojan pintaa alemmalle tasolle.

Suosittelavaa on suunnitella männänvarteen lisäpyyhkijätiiviste, joka estää roskien pääsyn tiivisteisiin asti. Toimiva lisäpyyhkijätiiviste yhdistettynä kovakromatun männän kanssa voisivat minimoida vuotoriskin vastaisuudessa.

Tulevaisuudessa koneen käyttäjän tulee huomioida kiinnitysleukoihin liittyvien ruuvien kireys. Ruuvien kireys tulee käytöstä riippuen tarkistaa muutaman kerran vuodessa, jotta tärinästä aiheutuva ruuvien löystyminen voidaan välttää ja pystytään takaamaan leukapalojen oikea asento.

## LÄHTEET

Bhandari V. B. 2010: Design of machine elements. 1-23. Pune.

Hard Chrome Specialists 2021: What is the Difference Between Hard Chrome and Decorative Chrome Plating? Viitattu 25.4.2021 <https://hcsplating.com/finishes/hard-chrome-plating/hard-chrome-vs-decorative-chrome-plating/>.

Hofner, K. 2000: Materials testing. Britannica. Viitattu 18.2.2021 <https://www.britannica.com/technology/materials-testing/Nondestructive-testing>.

Ihalainen, E.; Aaltonen, K.; Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2009: Valmistustekniikka. 31-38. Helsinki.

Instron verkkosivusto 2021. Viitattu 25.4.2021 <https://www.instron.us/en-us/#>.

Koneteknologiakeskus Turku Oy verkkosivusto 2021. Viitattu 29.3.2021 <https://www.koneteknologiakeskus.fi/>.

Mogbeyi, O. R. 2015: Materials review and selection. University of Sunderland. Viitattu 5.4.2021 [https://www.researchgate.net/publication/272506787\\_Material\\_Selection\\_Process\\_for\\_Hydraulic\\_Cylinder](https://www.researchgate.net/publication/272506787_Material_Selection_Process_for_Hydraulic_Cylinder).

Peterson Enterprises 2014: Decorative Chrome Plating. Viitattu 25.4.2021 <http://www.petersonenterprises.com/processesproducts/value-added-finishing/decorative-chrome-plating>.

Roberts, G.; Krauss, G. & Kennedy, R. 2000: Tool Steels. 1. The Materials Information society.

Sharf, E. 2018: Hydraulic fittings and types of materials. Viitattu 25.4.2021 <https://www.linkedin.com/pulse/hydraulic-fittings-types-materials-emad-sharf>.

Ssab 2020: Toolox® 44. Viitattu 2.5.2021 <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/products/toolox-44>.

TWI Ltd 2021: What is tensile testing? Viitattu 19.2.2021 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-tensile-testing>.

Yang, Z. 2011: Alternatives to hard chromium plating on piston rods. Karlstads Universitet. Viitattu 25.4.2021 <http://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:452803/FULLTEXT01.pdf>.

Zwickroell 2021: Materials Testing. Viitattu 18.2.2021 <https://www.zwickroell.com/industries/materials-testing/>.

