

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

DANIEL HANHILAMMI

# **Vetosauvojen poikkipinta-alan vaikutus vetokokeessa**

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA  
2021

## TIIVISTELMÄ

Hanhilammi, Daniel: Vetosauvojen poikki-pinta-alan vaikutus vetokokeessa  
Opinnäytetyö, AMK  
Konetekniikka  
Huhtikuu 2025  
Sivumäärä: 30

Tutkitaan kuinka vetosauvojen poikki-pinta-ala vaikuttaa testitulokseen, mikäli aineen paksuus on sama. Testejä suoritetaan standardin mukaisilla säädöillä ja sauvoilla, sekä sauvoilla, joissa on suurempi poikki-pinta-ala. Molemmat vetosauva vaihtoehdot simuloidaan solidworksissa, jossa sauvoille luodaan verkko, joka laskee tarvittavia parametreja ja kestävyyskäyriä.

Vetotulosten vaihteluväli tulee olemaan merkittävän paljon suurempi lyhyemmällä (standardilla suoritettavissa vetokokeissa) kuin suuremmilla sauvoilla.

Testejä tullaan tekemään Aurubixen Porin pisteessä sekä Satakunnan ammattikorkeakoululla.

Kirjataan ylös vetokokeiden tulokset ja verrataan niitä valmistajan antamiin arvoihin. Testejä suoritetaan kahdella eri tavalla: Tarkastellaan vakio veto nopeutta ja vakio jännitystä. Vakioidaan siis nopeus, hidas ja nopea veto.

Tutkimuksissa pohjaututaan standardiin SFS-EN ISO 6892-1:2019

Tutkimuksen on tarkoitus auttaa laadunvalvonnassa ja havainnollistaa muutoksia erilaista nopeutta käyttäessä vetokokeessa.

Perustana tuodaan esiin lujuusoppia, mitä vetokoe pitää sisällään ja millä tavalla vetokoe on laadunvalvonnassa merkittävä työvaihe.

Avainsanat: Konetekniikka, Vetokoe, Vetosauva

## ABSTRACT

Hanhilammi, Daniel: Effect of the cross-sectional area of the test rod's in the tensile test

Bachelor's thesis

Mechanical engineering

April 2025

Number of pages: 30

In this thesis we investigate how the cross-sectional area of the test rods affects the test result, if the material thickness is the same. The tests are performed with standard adjustments and rods, as well as rods with a larger cross-sectional area. Both test rod options are simulated in SolidWorks, where a mesh is created for the rods, which calculates the necessary parameters and strengths.

The range of tensile results will be significantly greater for shorter (in standard tensile tests) than for longer rods.

The tests will be performed at Aurubis' Pori site and at Satakunta University of Applied Sciences.

The results of the tensile tests are recorded and compared to the values given by the manufacturer. The tests are carried out in two different ways: We examine constant tensile speed and constant tension. In other words, speed, slow and fast tensile are standardized.

The studies are based on the standard SFS-EN ISO 6892-1:2019

The study is intended to help in quality control and illustrate changes when using different speeds in the tensile test.

The basis is presented in strength theory, what a tensile test involves and how a tensile test is a significant work step in quality control.

Keywords: Mechanical engineering, Tensile test, Drawbar

## ALKUSANAT

Kiitokset Aurubikselle mukavasta kesätyöstä 2024 ja opinnäytetyön mahdollistamisesta. Oli mukavaa päästä tutkimaan sellaista aihetta, joka kuuluu omaan alaan. Suuri kiitos myös kaikille opiskelija tovereille, joita tämän matkan aikana on tullut vastaan, toisinaan tuntui, että oppi erilaisista kursseista meni paremmin perille, kun yhdessä niitä käytiin läpi. Opiskelijan arki tuntui toisinaan mätelevän mutta kokonaisuudessaan, aika kului todella nopeasti. Kiitos myös Turun ammattikorkean konetekniikan opettajille mahtavasta opetuksesta.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU .....	7
3 AURUBIS FINLAND OY.....	8
4 VETOKONE MTS 810 .....	9
5 VETOKOKEEN TEORIA.....	10
5.1 SFS-mukaiset koesauvat.....	11
5.1.1 Työstetyt koesauvat.....	11
5.1.2 Työstämättömät koesauvat.....	12
5.1.3 Koesauvan poikkipinta-alan määrittäminen ennen koetta.....	12
5.1.4 Alkumittapituuden merkitseminen koesauvaan.....	13
5.2 Jännitys-venymäkäyrä.....	14
5.3 Myötöraja.....	15
5.3.1 Ylemmän myötörajan määrittäminen .....	16
5.3.2 Alemman myötörajan määrittäminen .....	17
5.3.3 Vetokokeesta saatavat suureet murtovenymästä .....	17
5.4 Plastiseen pitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen .....	18
5.5 Kokonaispitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen.....	18
5.6 Myötövenymän määrittäminen .....	19
5.7 Plastisen tasavenymän määrittäminen .....	20
5.8 Kokonaistasavenymän määrittäminen.....	20
5.9 Kokonaisvenymän määrittäminen murtohetkellä .....	21
5.10 Murtovenymän määrittäminen katkenneesta sauvasta.....	22
5.11 Murtokurouman määrittäminen.....	22
6 VETOKOKEET.....	24
6.1 Materiaali.....	24
6.2 Tulokset.....	25
6.3 Keskiarvot ja keskihajonnat tuloksista .....	25
6.4 MTS Flextest 40 .....	26
7 YHTEENVETO.....	28
LÄHTEET.....	30

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutettiin syksyllä 2024 Satakunnan ammattikorkeakoulussa Porissa. Työn tarkoituksena on havainnollistaa kuinka poikkipinta-ala vaikuttaa vetokoneen aineenkoetus testissä tuloksiin. Opinnäytetyöllä ei ollut tarkoitusta opettaa käyttämään vetokoneita, vaan ainoastaan olla tutkielmana edellä mainitusta aiheesta.

Testissä verrattiin standardi kuparivetosauvojen ja 10 senttimetriä isommalla poikkipinta-alalla olevia kupari sauvoja. Standardin omaavilla koesauvoilla testit suoritettiin Aurubis Finland Oy:n Porissa sijaitsevalla tehtaalla ja suuremmilla sauvoille testit suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoulussa Porissa. Testit suoritettiin tarkoituksella eri koneilla, sillä Aurubiksella koneet ovat asetettu suorittamaan testejä standardin mukaisilla koesauvoilla. Satakunnan ammattikorkeakoululla vetokoneen asetuksia oli mahdollista säätää. Testeistä kerättiin data ylös ja verrattiin niitä keskenään. Solidworks 2023 ohjelmistolla luotiin myös sauvat ja näille asetettiin verkko eli mesh. Verkolla pystyttiin simuloimaan vetokoe, josta saatiin vertailua suoritettua lisää.

## 2 SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU

Satakunnan ammattikorkeakoulun omistaa usea eri taho. Omistajia ovat Pori 50,04 %, Rauma 23,42 %, Kankaanpää 2,34 %, Huittinen 5,46 %; Eurajoki, Eura, Harjavalta, Kokemäki, Laitila, Nakkila, Säskylä, Ulvila ja Uusikaupunki sekä Rauman kauppakamari, Satakunnan kauppakamari ja Satakunnan Yrittäjät kukin 1,56 %. (Satakunnan ammattikorkeakoulu 2023.)

SAMKissa opiskelee yli 7400 opiskelijaa ja työskentelee lähes 550 työntekijää. SAMK on monialainen ja hyvin kansainvälisesti suuntautunut korkeakoulu. Kansallisuuksia kampuksilla on 101 ja kansainvälisiä opiskelijoita 1024. Koulutuksia on yhteensä 38 joista suomenkielisiä 29 ja englanninkielisiä 9. Tutkintoja löytyy 1232, joista YAMK-tutkintoja 226. (Satakunnan ammattikorkeakoulu 2023.)

Kampuksia on yhteensä 4 jotka sijaitsevat Porissa, Raumalla, Huittisissa ja Kankaanpäässä. Porin ja Rauman kampukset ovat suurimmat näistä neljästä ja tarjoavat monenlaisia mahdollisuuksia valmistua eri ammatteihin. Huittisten Kuninkaisten kampus on digikampus, joka tarjoaa verkko-opetuksen mahdollisuuden, mutta lähiopetusta ei ole. Kankaanpään kampukselta toimii taidekoulu, josta voi valmistua kuvataiteilijaksi. (Satakunnan ammattikorkeakoulu 2023.)

### 3 AURUBIS FINLAND OY

Porissa toimiva Aurubis Finland Oy on osa saksalaista Aurubis-konsernia, joka toimii lukuisissa maissa ympäri maailmaa. Porin kuparivalssaamo on ainoa pohjoismaissa toimiva kuparivalssaamo, josta valmistuu tuotteita mm. sähköautoihin, arkkitehtuuriin ja tuulivoimaloihin. (Aurubis Finland Oy 2024.)

Kuparin parissa työskentelee 290 henkilöä. Työntekijöiltä edellytetään 18 vuoden ikää. Keski-ikä on 42 vuotta ja 59 % on ollut Aurubis Finland Oyn palveluksessa yli 6 vuotta. Tuotannosta löytyy noin 200 osaajaa nimikkeillä: Production Operator, Maintenance Mechanic, Tool Machinist ja Maintenance Electrician. Toimihenkilöitä on noin 80 joista mm. löytyy henkilöitä seuraavilla nimikkeillä: Customer Service Specialist, Quality Assurance Specialist, Production Planner, ITC System Specialist, Production Supervisor, HR-Specialist, Treasury Accountant, Laboratory Technician, Sales Manager, Manager – Supply Chain and Customer Service, Purchaser, Assistant Controller, Development Engineer, Technology and Quality Manager ja Service Mechanic. (Aurubis Finland Oy 2024.)

Kokemäenjoen rannalla toimiva Porin toimipiste on vastuullinen ympäristön-suojelusta ja pyrkii vähentämään päästöjä ja kaatopaikkajätteitä sekä huolehtii taloudellisesta raaka-aineiden ja energian käytöstä. Hukka lämpö ohjataan Porin Energian kaukolämpöverkkoon, sitä muodostuu vuosittain 1400 MWh edestä. Kuparipäästöt Kokemäen jokeen alittavat juomaveden laatuvaatimukset. (Aurubis Finland 2024.)

## 4 VETOKONE MTS 810

Vetokoneena käytetään MTS 810 joka on monipuolinen sekä konfiguroitava. 810 Material Testing System tarjoaa laajan valikoiman testausominaisuuksia sekä pienten että suurten voimien staattiseen ja dynaamiseen testaukseen. Valitsemalla useista voimakapasiteeteista, servoventtiilin virtausarvoista, pumppukapasiteeteista, ohjelmistoista ja lisävarusteista lattialle seisova 810-järjestelmä voidaan helposti konfiguroida vastaamaan erityisiä materiaali- tai komponenttitestaustarpeita. Monipuolisen 810-järjestelmän ominaisuudet: Voima vaihtelee välillä 25 kN - 500 kN. Mahdollisuus testata lujuudeltaan erilaisia materiaaleja muovista alumiiniin, komposiitteihin ja teräkseen. Suuri testitila, joka mahdollistaa standardin, keskikokoisen ja suuren koon. Koneella voidaan suorittaa laajan valikoiman testityyppejä vetolujuudesta korkean syklin väsymiseen, murtumismekaniikkaan ja komponenttien kestävyYTEEN. (MTS-810 Brochure, MTS SYSTEMS CORPORATION 100-154-137 810&858 2006.)



*Kuva 1. Vetokone MTS-810. (MTS-810 Brochure)*

## 5 VETOKOKEEN TEORIA

Tuodaan ilmi faktoja ja teoriaa, kuinka vetokoe suoritetaan, sekä mitä on otettava huomioon standardin omaisessa vetokokeessa ja koesauvassa. Tässä teoria osuudessa tarkastellaan pääasiassa teräksen ominaisuuksia. Ideana on havainnollistaa vetokokeen teoriaa standardin ja kirjallisuuden pohjalta.

## 5.1 SFS-mukaiset koesauvat

Koesauvan muodot ja mitat määräytyvät testattavan metallisen tuotteen geometrian ja mittojen mukaan. Koesauvat valmistetaan tyypillisesti työstämällä näyte, joka on otettu tuotteesta, aihioista tai valukappaleesta. Poikkileikkaukseltaan vakioille tuotteille, kuten palkit, tangot ja langat, sekä valuille, kuten valuraudoille ja ei-rautametalliseoksille, voidaan kuitenkin käyttää myös työstämättömiä koesauvoja. Koesauvan poikkipinta voi olla esimerkiksi ympyrän, neliön, suorakaiteen, rengasmaisen tai erikoistapauksissa muun muotoinen. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.1.1 Työstetyt koesauvat

Työstettyjen koesauvojen kiinnityspäiden tulee liittyä suoran osan kanssa pyöristyksellä, mikäli kiinnityspäiden ja suoran osan mitat poikkeavat toisistaan. Kiinnityspäiden ja suoran osan välisten pyöristyssäteiden tarkkuus on tärkeää, ja suositeltavaa on, että ne määritellään asiaankuuluvissa tuotestandardeissa.

Kiinnityspäät voidaan muotoilla vetokoneen kiinnityselinten vaatimusten mukaisesti, ja koesauvan akselin on oltava linjassa vetokoneen voiman vaikutus-akselin kanssa.

Koepituuden  $L_c$  on aina oltava suurempi kuin alkumittapituus  $L_o$ . Jos koesauvassa ei ole kavennettua osaa, kiinnityselinten välinen etäisyys on aina pidettävä suurempana kuin alkumittapituus  $L_o$ . (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.1.2 Työstämättömät koesauvat

Jos koesauva koostuu tuotteen työstämättömästä osasta tai on työstämätön, koepituuden on oltava riittävän pitkä, jotta mittamerkit sijaitsevat sopivalla etäisyydellä kiinnityselimistä.

Muotoonsa valetuilla koesauvoilla suoran osan ja päiden välisten yhtymäkohdientien on oltava riittävän loivat. Pyörityssäteiden arvoilla on suuri merkitys, ja niiden määrittely tuotestandardeissa on suositeltavaa.

Kiinnityspäät voidaan muotoilla vetokoneen kiinnityselinten vaatimusten mukaisesti, kunhan koesauvan keskilinja on yhtenevä koevoiman vaikutussuunnan kanssa. Koepituuden  $L_c$  on aina oltava suurempi kuin alkumittapituus  $L_o$ . (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.1.3 Koesauvan poikkipinta-alan määrittäminen ennen koetta

Koesauva on mitattava suoran osan keskialueelta useasta kohdasta kohtisuorassa koesauvan pituusakseliin nähden. Suosituksena on, että vähintään kolme poikkileikkausta mitataan.

Koesauvan poikkipinta-ala  $S_o$  lasketaan suoran osan mittaustulosten keskiarvona. Lasketun poikkipinta-alan tarkkuus vaihtelee koesauvan tyyppin ja ominaisuuksien mukaan.

Poikkipinta-alan määrittämisessä käytettävien mittauslaitteiden tulee olla kalibroituja asianmukaisten vertailunormaalien mukaisesti. Näiden normaalien on oltava jäljitettävissä kansalliseen mittausjärjestelmään. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

#### 5.1.4 Alkumittapituuden merkitseminen koesauvaan

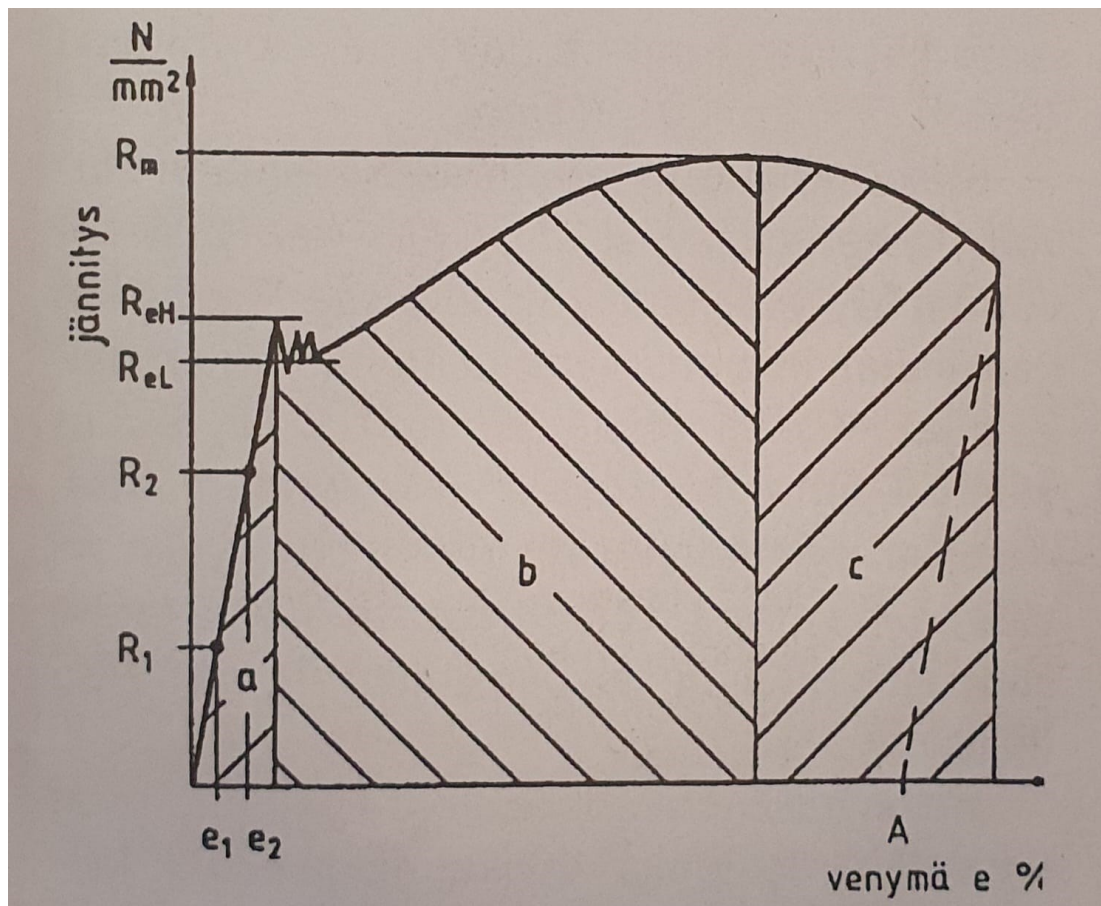
Käsin tehtävää murtovenymän  $A$  määritystä varten alkumittapituus  $L_0$  on merkittävä ohuesti viivaamalla. Tämä suoritetaan tekemällä hienoja merkkejä tai meistämillä. Merkitsemisen tulee kuitenkin olla sellainen, ettei se aiheuta enenaikaista murtumista esimerkiksi lovien vuoksi. Alkumittapituus tulee merkitä  $\pm 1$  % tarkkuudella.

Suhdesauvojen kohdalla alkumittapituuden laskettu arvo voidaan pyöristää lähimpään 5 millimetriin, kunhan laskennallisen ja merkityn mittapituuden ero on alle 10 % alkumittapituudesta  $L_0$ .

Jos koepituus  $L_c$  on merkittävästi suurempi kuin alkumittapituus, kuten esimerkiksi työstämättömillä koesauvoilla, sauvaan voidaan merkitä useita osittain päällekkäisiä mittapituuksia.

Joissakin tilanteissa voi olla hyödyllistä piirtää koesauvaan pituusakselin suuntainen suora, jolle mittamerkit sijoitetaan. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

## 5.2 Jännitys-venymäkäyrä



Kuva 2. Jännitys-venymäkäyrä. (Koivisto ym., 1999, s.17)

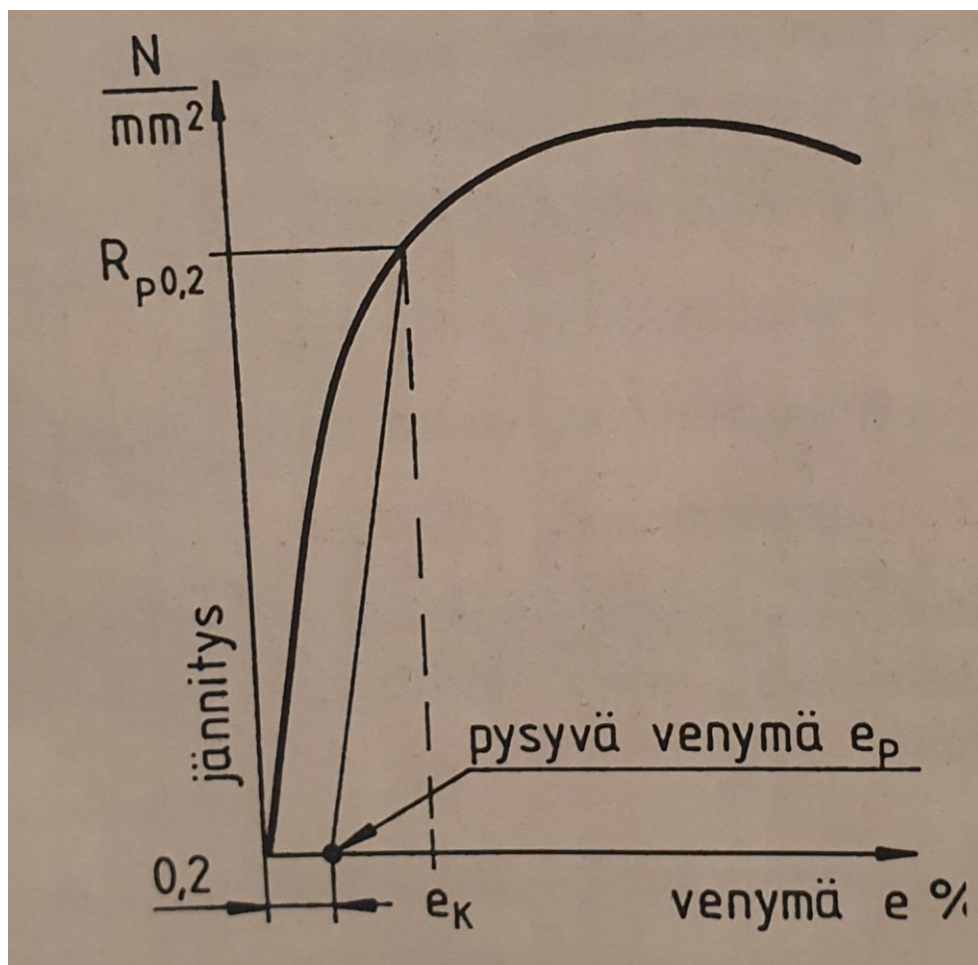
Kuva 2. esittää tyypillistä hiili- tai niukkaseosteisen teräksen jännitys-venymäkäyrää, jossa myötöraja on selvästi havaittavissa. Myötöraja esiintyy teräksissä vain alle 200 °C:n lämpötilassa, mutta se häviää esimerkiksi kylmämuokkauksen tai karkaisun seurauksena.

Jännitys-venymäkäyrästä voidaan tunnistaa kolme erilaista aluetta, jotka on merkitty kuva 1. kirjaimilla a, b ja c. Alue a kuvaa kimmoaluetta, jossa materiaali käyttäytyy lineaarisesti elastisesti ja Hooken laki on voimassa. Tässä alueessa venymät palautuvat täysin jännityksen poistuttua. Vetokokeessa määritetään tässä vaiheessa myös materiaalin kimmokerroin eli kimmomoduuli. Alue b on tasavenymäalue, jossa sauva venyy tasaisesti ja plastinen muodonmuutos tapahtuu koko koesauvan pituudella. Alue c puolestaan edustaa kurouma-aluetta, jossa sauva venyy paikallisesti ja alkaa ohentua voimakkaasti

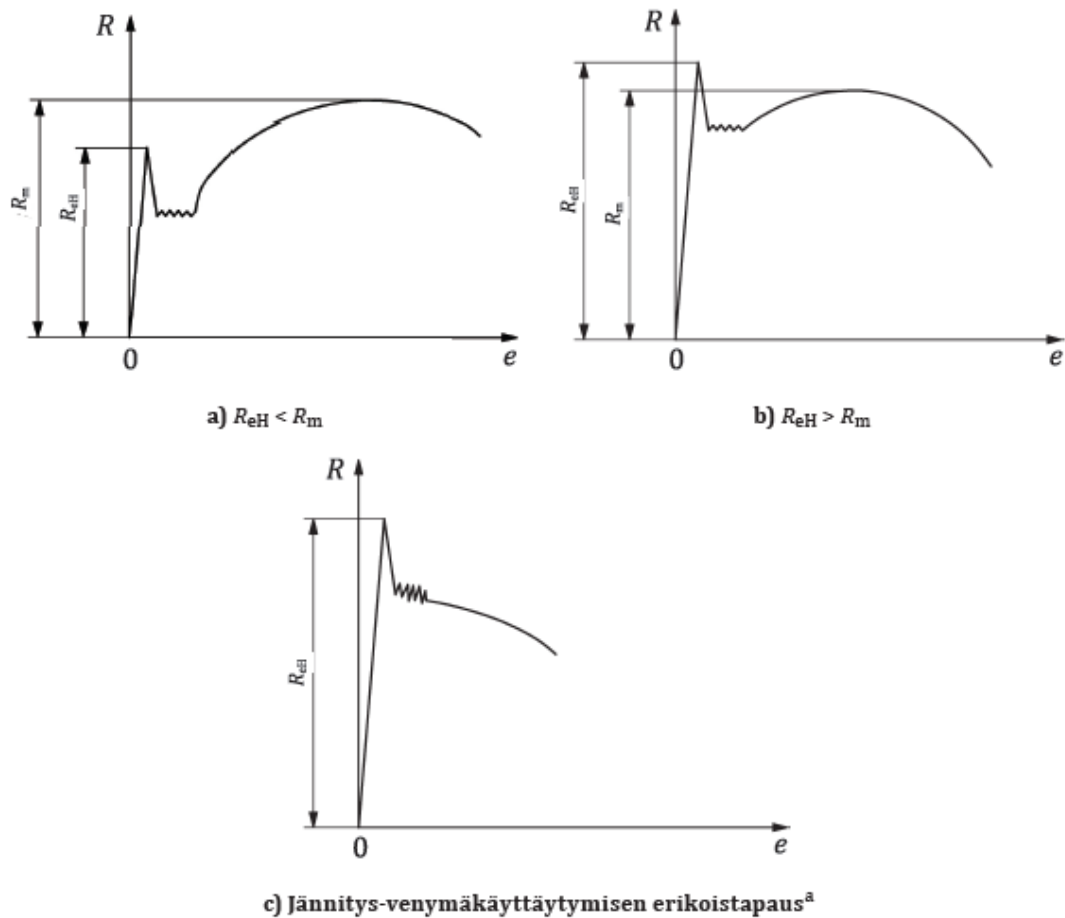
venymäkohdassaan. Tämä alue liittyy materiaalin plastiseen virumiseen ennen katkeamista. (Koivisto ym., 1999, s.17)

### 5.3 Myötöraja

Myötöraja toimii suunnittelijoille tärkeänä lähtökohtana lujuuslaskennassa, sillä sen alapuolella jännitykset pysyvät kimmoalueella, jolloin venymät palautuvat jännityksen poistuttua eikä rakenteisiin synny pysyviä muodonmuutoksia. On kuitenkin huomattava, että myötöraja ei esiinny kaikissa metalleissa ja jopa teräksissä vain tietyissä olosuhteissa. Jos myötöraja ei ole määritettävissä, käytetään lujuuslaskennan perusteena niin sanottua 0,2-venymärajaa. Tämä raja ilmaisee jännitystason, jossa materiaaliin syntyy pysyvä venymä, joka vastaa 0,2 prosenttia alkuperäisestä pituudesta. (Koivisto ym., 1999, s.17)



Kuva 3. 0,2 venymärajan määrittäminen. (Koivisto ym., 1999, s.18)



Kuva 4. Erilaisia jännitys-venymäkäyriä murtolujuuden määrittämiseksi. (SFS 6892-1:2019.)

### 5.3.1 Ylemmän myötörajan määrittäminen

Kun myötöraja näkyy selvästi, siitä voidaan erottaa kaksi arvoa:

Ylempimyötöraja

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \quad (1)$$

Jossa  $R_{eH}$  tarkoittaa ylempää myötörajaa, joka merkitään megapascalina (MPa).  $F_{eH}$  merkitsee voimaa, joka vastaa ylempää myötörajaa, joka merkitään Newtonina (N).  $S_0$  on alkuperäinen poikkipinta-ala, jonka yksikkö merkitään millimetriä toiseen ( $\text{mm}^2$ ). (Koivisto ym., 1999, s.17)

### 5.3.2 Alemman myötörajan määrittäminen

Alempi myötöraja

$$R_{el} = \frac{F_{el}}{S_o} \quad (2)$$

Jossa  $R_{el}$  tarkoittaa alempaa myötörajaa, joka merkitään megapascalina ( $MPa$ ).  $F_{el}$  merkitsee voimaa, joka vastaa alempaa myötörajaa, joka merkitään Newtonina ( $N$ ).  $S_o$  on alkuperäinen poikkipinta-ala, jonka yksikkö merkitään millimetriä toiseen ( $mm^2$ ). (Koivisto ym., 1999, s.17)

Suurinta jännitystä kuvaa murtolujuus  $R_m$

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} \quad (3)$$

### 5.3.3 Vetokokeesta saatavat suureet murtovenymästä

Metallin sitkeyttä ja muovattavuutta kuvataan myös seuraavilla, myös vetokokeesta saatavilla suureilla:

Murtovenymä  $A$ ,  $A_{11,3}$  tai  $A_{80}$  mm

$$A = \frac{(L_u - L_0)}{L_0 * 100\%} \quad (4)$$

Jossa  $A$  on normaalisauvan murtovenymä.  $A_{11,3}$  on pitkän suhdesaiuvan murtovenymä.  $A_{80}$  mm on murtovenymä, jos  $L_0 = 80$  mm ja  $L_u$  on mittapituus murtuman jälkeen.

Murtokurouma

$$Z = \frac{(S_o - S_u)}{S_o * 100\%} \quad (5)$$

Jossa  $S_u$  on kuroumakohdan poikkipinta-ala. (Koivisto ym., 1999, s.17)

#### 5.4 Plastiseen pitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen

Plastiseen pitenemään perustuva venymisraja  $R_p$  määritetään voima-pitenemäkäyrästä. Määrittämisessä käytetään käyrän suoraviivaisen alkuosan suuntaista suoraa, joka sijoitetaan haluttua plastista venymää vastaavalle etäisyydelle venymäakselin suunnassa, esimerkiksi 0,2 %. Suoran ja käyrän leikkauspisteestä saadaan plastisen pitenemän perusteella määritettävää venymisrajaa vastaava voima. Lopullinen venymisraja lasketaan jakamalla tämä voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla  $S_o$ . (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

#### 5.5 Kokonaispitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen

Kokonaispitenemään perustuva venymisraja  $R_t$  määritetään voima-pitenemäkäyrästä piirtämällä y-akselin (voima-akselin) suuntainen suora etäisyydelle, joka vastaa haluttua kokonaisvenymää. Suoran ja käyrän leikkauspisteessä voima vastaa haluttua venymisrajaa. Tämä venymisraja lasketaan jakamalla kyseinen voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla  $S_o$ .

Venymisraja voidaan määrittää myös ilman voima-pitenemäkäyrää käyttämällä automaattisia laskinlaitteita, jotka tekevät tarvittavat laskelmat suoraan mittaustietojen perusteella. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

## 5.6 Myötövenymän määrittäminen

Epäjatkuvan myötörajan omaavilla materiaaleilla myötövenymä  $A_e$  määritetään voima-pitenemäkäyrästä. Se lasketaan vähentämällä ylemmän myötörajan  $ReH$  kohdalla oleva pitenemä tasaisen muokkauslujittumisen alkamiskohdassa olevasta pitenemästä. Tasaisen muokkauslujittumisen alkamiskohdan pitenemä määritetään tarkastelemalla voima-pitenemäkäyrän viimeistä paikallista vähimmäisarvoa ennen tasaisen muokkauslujittumisen alkamista. Tämä arvo määritetään viivalla, joka kulkee joko kyseisen vähimmäisarvon kautta vaakasuorasti tai myötöalueen regressioviivalla.

Tasaisen muokkauslujittumisen alkaessa suurimman kulmakertoimen omaavan viivan ja vähimmäisarvon viivan leikkauskohta määrittää muokkauslujittumisen alkamiskohdan. Myötövenymä ilmoitetaan prosentteina venymämittarin mittapituudesta  $L_e$ . (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.7 Plastisen tasavenymän määrittäminen

” Menettely sisältää venymämittarilla mitatun pitenemän määrittämisen suurimmalla voimalla voimapitenemäkäyrästä sekä vähentämällä siitä kimmoisen venymän osuus.” (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

Plastinen tasavenymä suurimmalla voimalla  $A_g$  lasketaan kaavalla (6)

$$A_g = \left( \frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) * 100 \quad (6)$$

Jossa  $\Delta L_m$  on pitenemä suurimmalla voimalla

$L_e$  on venymämittarin mittapituus

$R_m$  on murtolujuus

$m_E$  on jännitys-venymäkäyrän kimmoisen osan kulmakerroin.

Huomioitava materiaalit, joissa esiintyy suuremmalla voimalla ylätasanne, silloin plastinen tasavenymä määritetään ylätasanteen keskikohdasta (kuva 4). (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.8 Kokonaistasavenymän määrittäminen

”Menettely sisältää venymämittarilla mitatun pitenemän määrittämisen suurimmalla voimalla voimapitenemäkäyrästä.” (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

Kokonaistasavenymän suurimmalla voimalla  $A_{gt}$  lasketaan kaavalla (7)

$$A_g = \frac{\Delta L_m}{L_e} * 100 \quad (7)$$

Huomioitava materiaalit, joissa esiintyy suuremmalla voimalla ylätasanne, silloin plastinen tasavenymä määritetään ylätasanteen keskikohdasta (kuva 4). (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

#### 5.9 Kokonaisvenymän määrittäminen murtohetkellä

” Menettely sisältää venymämittarilla murtohetkellä mitatun pitenemän määrittämisen voimapitenemäkäyrästä.” (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

Kokonaisvenymä murtohetkellä  $A_t$  lasketaan kaavalla (8)

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} * 100 \quad (8)$$

Jossa  $\Delta L_f$  on pitenemä murtohetkellä ja  $L_e$  on venymämittarin mittapituus. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.10 Murtovenymän määrittäminen katkenneesta sauvasta

Katkenneen koesauvan osat sovitetaan murtopintojaan vasten mahdollisimman tarkasti yhteen siten, että kummankin osan pituusakselit ovat samassa linjassa. Palojen yhteensovittamisessa on noudatettava erityistä tarkkuutta, kun mitataan loppumittapituutta. Tämä on erityisen tärkeää testattaessa koesauvoja, joiden poikkipinta-ala tai pitenemä on pieni.

Murtovenymä  $A$  lasketaan kaavalla (9)

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} * 100 \quad (9)$$

$L_u$  on loppumittapituus ja  $L_o$  on alkumittapituus.

Pitenemä on määritettävä katkenneesta sauvasta vähintään 0,25 mm tarkkuudella sellaisella mittavälineellä, jonka erottelukyky on riittävä. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

### 5.11 Murtokurouman määrittäminen

Katkenneen koesauvan osat sovitetaan murtopintojaan vasten mahdollisimman tarkasti yhteen siten, että kummankin osan pituusakselit ovat samassa linjassa. Pyöreillä koesauvoilla ohuimman kuroutuneen kohdan mittaukset tulisi suorittaa kahdessa toisiaan 90° kulmassa olevassa tasossa ja murtokurouman  $Z$  laskennassa näiden mittausten keskiarvoa tulisi käyttää. Mittauksia suoritettaessa on varmistettava, että murtopinnat ovat tarkasti kohdakkain. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

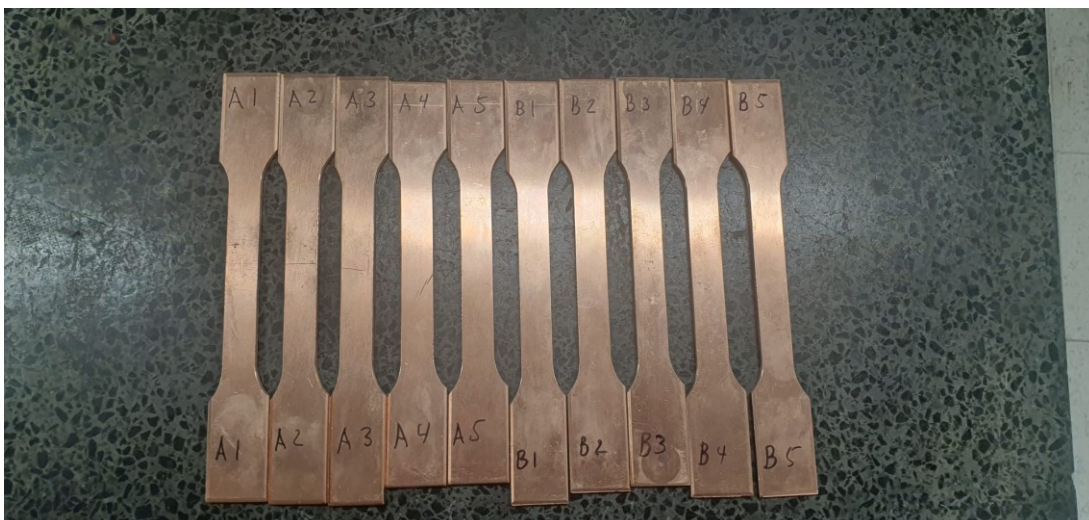
Murtokurouma  $Z$  lasketaan kaavalla (10)

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} * 100 \quad (10)$$

Jossa  $S_o$  on koesauvan suoran osan poikkipinta-ala ennen koetta ja  $S_u$  on pienin poikkipinta-ala murtuneessa koesauvassa. Huomioitavaa että poikkipinta-ala  $S_u$  suositellaan mitattavaksi tarkkuudella  $\pm 2$  %. Pienihalkaisijaisista pyörökoesauvoista tai muun muotoisista koesauvoista poikkipinta-alan  $S_u$  mittaaminen tarkkuudella  $\pm 2$  % ei aina ole mahdollista. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1:2019.)

## 6 VETOKOKEET

Vetokokeet suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoululla konelaboratoriossa. Vetosauvoja oli yhteensä 10 jotka numeroitiin ja jaettiin kahteen eri ryhmään A ja B. A-ryhmälle suoritettiin standardi vetonopeudella vetokokeet ja B-ryhmälle huomattavasti nopeammalla nopeudella. Sauvat olivat keskenään identtisiä poikkipinta-alaltaan ja alkumittapituudeltaan.



Kuva 5. Vetosauvat jaettuna kahteen ryhmään ja numeroituina

### 6.1 Materiaali

Käsittelyssä oli puolikovaksi kylmävalssattuja 4 millimetrin paksuisia vetosauvoja, tarkemmin CuAg0,04(OH) eli Happi – vapaa hopeakupari, korkean johtavuuden kupari (CW017A, C104) -seos, joka tarjoaa korkean puhtauden ja happettajien puuttumisen, mikä vastaa 100 % IACS:n sähkönjohtavuudesta eikä siinä ilmene vetyhaurastumista. IACS on englanninkielinen lyhenne kansainvälisestä luokituslaitosten liitosta. Kovuudeksi sauvoille oli mitattu 85 HV, eli

Vickersiä. (Aurubis download center, industrial products, specifications, CuAg0, 04 OF)

## 6.2 Tulokset

Taulukko 1. A-ryhmä

A	Poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	Aika	Aika s	Venymä mm	Maksimi murtovoima N	Murtoraja N/mm <sup>2</sup>	No-peus mm/s
1	68	01.18,71	78,71	25,29	17260	253,824	0,3213
2	68	01.25,99	85,99	27,99	17349	255,132	0,3255
3	68	01.23,64	83,64	27,72	17516	257,588	0,3314
4	68	01.30,79	90,79	28,78	17600	258,824	0,3170
5	68	01.28,64	88,64	28,52	17663	259,750	0,3218

Taulukko 2. B-ryhmä

B	Poikkipinta-ala mm <sup>2</sup>	Aika	Aika s	Venymä mm	Maksimi murtovoima N	Murtoraja N/mm <sup>2</sup>	No-peus mm/s
6	68	00.09,75	9,75	31,25	18131	266,932	3,2051
7	68	00.09,11	9,11	29,02	18131	266,932	3,1855
8	68	00.09,15	9,15	27,63	17829	262,191	3,0197
9	68	00.09,46	9,46	29,24	18121	266,485	3,0909
10	68	00.09,28	9,28	28,90	18075	265,809	3,1142

## 6.3 Keskiarvot ja keskihajonnat tuloksista

Taulukko 3. A-ryhmän keskiarvot ja keskihajonnat

A	Aika	Aika s	Venymä mm	Maksimi murtovoima N	Murtoraja N/mm <sup>2</sup>	No-peus mm/s
<b>Keskiarvo</b>	01.25,55	85,554	27,66	17478	257,0236	0,3234
<b>Keskihajonta</b>		4,6806	1,38955	169,35	2,4904	0,0054

Taulukko 4. B-ryhmä keskiarvot ja keskihajonnat

B	Aika	Aika s	Venymä mm	Maksimi murtovoima N	Murtoraja N/mm <sup>2</sup>	No-peus mm/s
<b>Keskiarvo</b>	00.09,35	9,35	29,208	18057,40	265,6698	3,1231
<b>Keskihajonta</b>		0,262	1,30299	129,76	1,9983	0,0749

Taulukko 5. Valmistajan antamat arvot

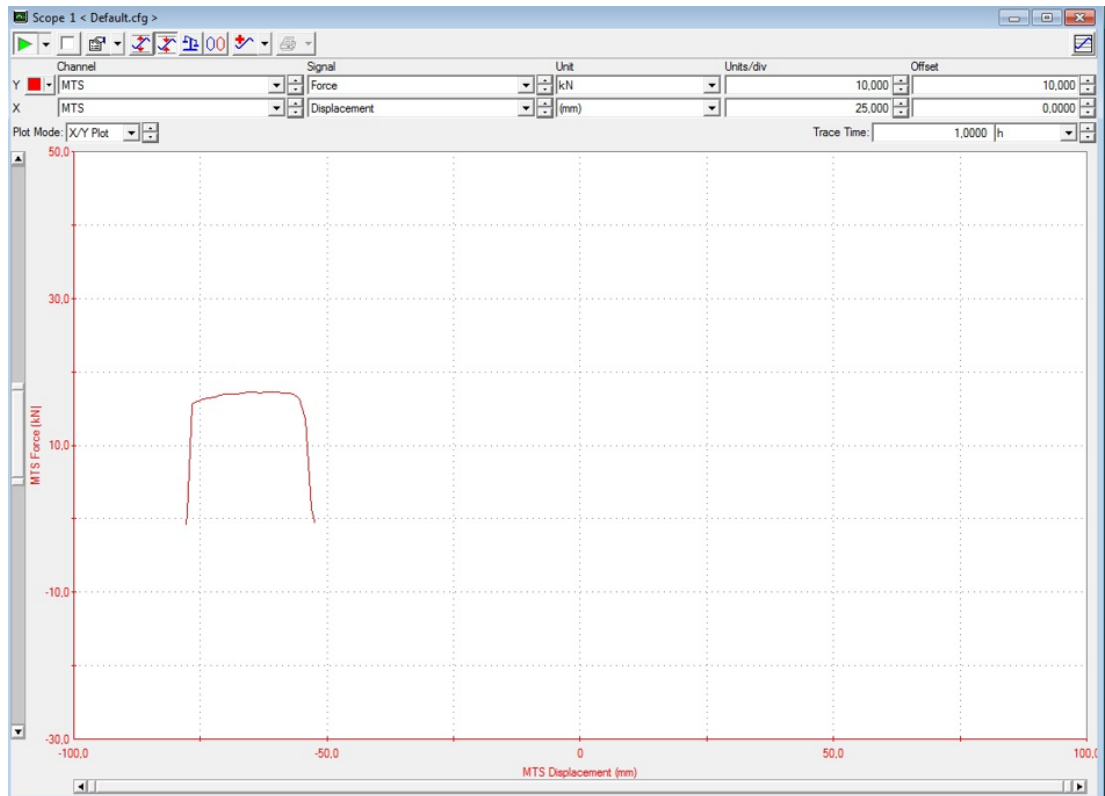
<b>EN H065 / R240</b>	
<b>Vetolujuus RM N/mm<sup>2</sup></b>	240–300
<b>Myötöraja N/mm<sup>2</sup></b>	Min 180
<b>Kovuus HV</b>	65–95
<b>Venymä % A50 / A (0.1- &lt; 2.5 mm/ 2.5 mm -)</b>	min - / 42



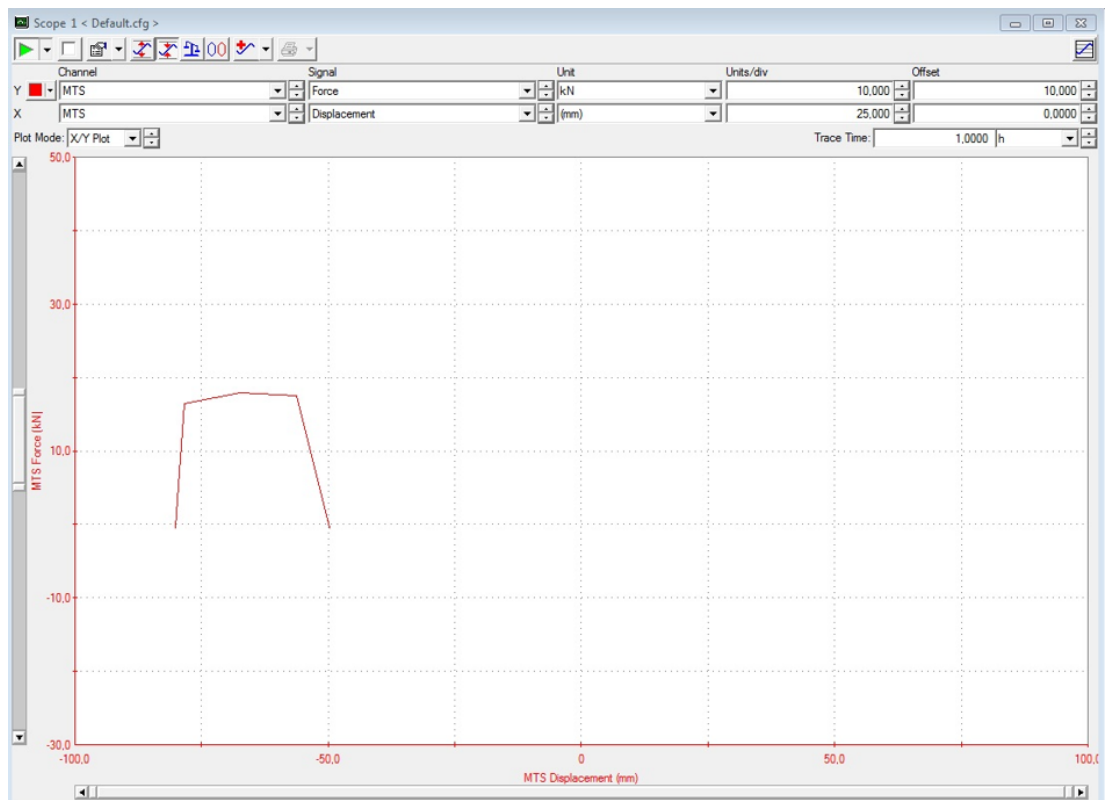
Kuva 6. Testatut koesauvat

#### 6.4 MTS Flextest 40

Vetokokeiden arvojen tutkimisessa käytettiin MTS Flextest 40 sovellusta. Testit osoittautuivat hyvin samanlaisiksi, joten havainnollistamiseksi otetaan tarkasteluun molemmista testeistä yksi kuva. Ryhmä-A on testattu standardi nopeudella ja ryhmä-B on testattu kymmenen (10) kertaisella nopeudella.



Kuva 7. Jännitysvenymäkäyrä, ryhmä-A, sauva 1



Kuva 8. Jännitysvenymäkäyrä, ryhmä-B, sauva 1

## 7 YHTEENVETO

Ensiksi on tehtävä selväksi, että testijärjestelyt eivät onnistuneet kuin aluksi oli suunniteltu, joten päädyttiin tutkimaan nopeutta ja muita arvoja. Kaikki testit suoritettiin Satakunnan ammattikorkeakoululla Porissa. Myöskään eri poikkipinta-alan omaavia sauvoja ei saatu testattavaksi, joten testit suoritettiin kymmenellä (10) samanlaisella työstetyllä sauvalla. Solidworksin simulointi jätettiin myös pois koska myöhemmässä vaiheessa opinnäytetyötä todettiin, että simuloinnista ei saada lisää tietoa ja se voisi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa epäselvyyttä testeissä. Teoriassa poikkipinta-alalla ei ole vaikutusta sillä, jos poikkipinta-ala kasvaa niin myös murtovoima kasvaa. Näin ollen ei ole järkevää ajaa suurempia koesauvoja testeissä, koska lopputulos on sama teorian mukaan.

Testit onnistuivat hyvin ja tulokset ovat materiaalin valmistajan antamien arvojen sisällä. Minimi myötöraja ei tule ilmi sovelluksessa mutta se voidaan arvioida jännitysvenymäkäyrästä. Jokaisen testin alempi myötöraja on noin 16000 N, joten tulos on noin  $235 \text{ N/mm}^2$ . Tulos pysyy valmistajan antaman minimin yläpuolella.

Nopeutta tutkiessa huomataan, että B-ryhmä, joka ajettiin noin kymmenen (10) kertaisella nopeudella, sai murtorajaksi korkeampia arvoja kuin standardi nopeudella ajettu A-ryhmä. Huomataan hajanaisuutta murtovoimassa ja venymässä. Keskiarvo on B-ryhmällä suurempi mutta keskihajonta taasen pienempi. On otettava huomioon testilaitteen tarkkuus sekä sauvoissa olevat pienet eroavaisuudet. Nämä tuovat suurempia heittoja tuloksiin.

Todennäköisin syy tähän, että B-ryhmän venymä ja murtolujuus on suurempi, johtuu nopeasta liikkeelle lähdöstä. Koko testialueelle syntyy nopeasti voima, jolloin sauva venyy isommalla alueella. Tutkiessa kuvaa 6, huomataan että B-

ryhmän sauvat ovat menneet poikki eri kohdista kuin A-ryhmän. A-ryhmässä sauvat ovat menneet poikki suurin piirtein keskeltä. Tämä vahvistaisi teoriaa, että nopeasti suoritettu veto osuu laajemmalle alueelle ja näin ollen venymää ilmenee epätasaisesti kaikkialla testialueella, kunnes sauva aloittaa venymisen pisteestä, jossa se murtuu. Myös suurempi voima olisi selitettävissä tässä koska hetkellisesti voima osuu laajemmalle alueelle.

Mikäli halutaan tasaisia tuloksia, voidaan todeta, että jännityskäyttäytymistä ei voida todistaa äkillisessä kuormituksessa. Vetotestin tarkoituksena ei ole vain löytää murtumiskohta, vaan myös tarkkailla jännityskäyttäytymistä koko venymän ajan.

Yleensä vetokokeessa halutaan yksityiskohtaisempaa tietoa kuin pelkkä jännitys, jossa näyte rikkoutuu, haluamme jännitys/venymäkäyrän, jossa on kohuullinen määrä pisteitä, jotta näemme näytteen käyttäytymisen eri vaiheet (kimmainen muodonmuutos, plastinen muodonmuutos, rikkoutuminen, murtuma). Ylikuormittamalla näytettä testin alussa, se voi yksinkertaisesti rikkoutua välittömästi ilman, että saadaan kerättyä tarpeeksi dataa.

Kuparilla ei ole ylempää- tai alemmaa myötörajaa, vaan ainoastaan murtoraja kuten esimerkiksi teräksellä. Kuparilla myötörajan alapuolella muodonmuutos on elastista muutosta, jolloin tämä on palautuvaa muutosta. Yläpuolella tapahtuu plastista muodonmuutosta, jolloin materiaali ei palaudu, vaan alkaa hajoa-

Jännitysvenymäkäyriä verratessa huomataan, että nopeammin testatuilla sauvoilla näkyvät selvät pisteet, jolloin tapahtuu muutos murtorajassa ja venymisessä.

## LÄHTEET

Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kotisivut. Haettu 4.12.2024 osoitteesta <https://www.samk.fi/samk/>

Aurubis Finland Oy. Kotisivut. Haettu 4.12.2024 osoitteesta <https://www.aurubis.fi/>

Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki, M., Tiainen, T., Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. (1999) Konetekniikan materiaalioppi. Materiaalien käyttöominaisuudet (s. 17–18). Edita Helsinki

Vetokoneen mainos PDF. MTS-810 Brochure, MTS SYSTEMS CORPORATION 100-154-137 810&858 2006.

Aurubis Finland Oy. Kotisivut – download center, industrial products, specifications, CuAg0, 04 OF) PDF. Haettu 25.2.2025 osoitteesta <https://www.aurubis.fi/download-center/>