

Mika Lassila

**AINEENKOETUSKONEEN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN
OPETUS- JA TUTKIMUSKÄYTTÖÖN**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2016**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

| | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| Yksikkö Centria-Ammattikorkeakoulu | Aika Kesäkuu 2016 | Tekijä/tekijät Mika Lassila |
| Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka | | |
| Työn nimi AINEENKOETUSKONEEN KÄYTÖN KEHITTÄMINEN OPETUS- JA TUTKIMUSKÄYTTÖÖN | | |
| Työn ohjaaja Ilkka Rasehorn | | Sivumäärä 26 |
| Työelämäohjaaja | | |
| <p>Tässä opinnäytetyössä tutustuttiin Centria-ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa käytössä olevaan aineenkoetuskoneeseen ja sen käyttöön. Työssä käytiin lyhyesti läpi eri tyylliset aineenkoetuskoneet ja perehdyttiin tarkasti vetokokeeseen. Vetokoe on olennainen osa materiaalitekniikkaa ja sen avulla saadaan hyvin paljon tietoa eri materiaaleista ja kappaleista. Työssä käytiin läpi vetokokeen eri arvojen määrittäminen ja tutustuttiin vetokokeessa käytettäviin koesauvoihin.</p> <p>Aineenkoetuskoneen tietokoneohjelmisto oli vanhentunut ja käyttöliittymä kömpelö käyttää. Työssä avattiin ohjelman peruskäyttöä malliesimerkillä. Koneessa ei ollut hienovenymäänturia, jolla saataisiin tutkittua koekappaleita tarkemmin. Työssä selvitettiin hienovenymääntureiden saatavuutta ja niiden yhteensopivuutta.</p> | | |

Asiasanat

aineenkoetuskone, vetokoe, koekappale, hienovenymäänturi

ABSTRACT

| | | |
|--|--------------------------|---------------------------------|
| Unit Centria University of Applied Sciences | Date June 2016 | Author/s Mika Lassila |
| Degree programme Mechanical and Production Engineering | | |
| Name of thesis IMPROVEMENT OF A MATERIAL TESTING MACHINE FOR EDUCATION AND RE-SEARCH PURPOSES | | |
| Instructor Ilkka Rasehorn | | Pages 26 |
| Supervisor | | |
| <p>This thesis presents a material testing machine and its operational principles. The machine is located in Centria University of Applied Sciences machine laboratory. First the thesis presents different types of material testing machines and then it focuses on tensile testing. Tensile testing is a fundamental materials science test and it provides a considerable amount of information about different materials and specimen. The thesis explains how to determine different values from the tensile testing and provides information about the specimen used.</p> <p>The computer operating system for the machine is somewhat dated and difficult to use. The thesis presents its use by example. The machine does not have a extensometer at the moment and it was investigated where those could be obtained which would be suitable for this machine.</p> | | |

| |
|---|
| Key words material testing machine, tensile testing, specimen, extensometer |
|---|

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

| | |
|---|-----------|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU | 2 |
| 3 AINEENKOETUSKONE | 3 |
| 3.1 Tietokoneohjattu sähköhydraulinen servosylinterijärjestelmä | 3 |
| 3.2 Tietokoneohjattu servohydraulinen yleisaineenkoetuskone | 4 |
| 3.3 Tietokoneohjattu ruuvikäyttöinen yleisaineenkoetuskone | 5 |
| 4 VETOKOE | 6 |
| 4.1 Koesauvat | 6 |
| 4.1.1 Työstetyt koesauvat | 6 |
| 4.1.2 Työstämättömät koesauvat | 7 |
| 4.1.3 Koesauvan poikkipinta-alan määrittäminen ennen koetta | 7 |
| 4.1.4 Alkumittapituuden merkitseminen koesauvaan | 8 |
| 4.2 Koeolosuhteet | 8 |
| 4.3 Jännitys-venymäpiirros | 8 |
| 4.4 Myötöraja | 10 |
| 4.4.1 Ylemmän myötörajan määrittäminen | 10 |
| 4.4.2 Alemman myötörajan määrittäminen | 10 |
| 4.5 Plastiseen pitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen | 12 |
| 4.6 Kokonaispitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen | 12 |
| 4.7 Myötövenymän määrittäminen | 12 |
| 4.8 Plastisen tasavenymän määrittäminen | 13 |
| 4.9 Kokonaistasavenymän määrittäminen | 13 |
| 4.10 Kokonaisvenymän määrittäminen murtohetkellä | 14 |
| 4.11 Murtovenymän määrittäminen katkenneesta sauvasta | 14 |
| 4.12 Murtokurouman määrittäminen | 15 |
| 5 MEC 250kN:n KÄYTTÖ | 16 |
| 5.1 Koekappaleen kiinnitys | 17 |
| 5.2 Vetokoeohjelman käyttö | 18 |
| 6 HIENOVENYMÄANTURI | 23 |
| 7 YHTEENVETO | 25 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutettiin keväällä 2016 Centria-ammattikorkeakoululle. Tarkoituksena oli tutustua koulun konelaboratoriossa sijaitsevaan aineenkoetuskoneeseen ja sen kehittämiseen. Kone on Matertest Oy -nimisen yhtiön valmistama, mutta yhtiön toiminta on loppunut. Konetta on käytetty hieman kaupallisiin tarkoituksiin, mutta ei juurikaan opetustarkoitukseen. Työn tarkoitus on kehittää kyseisiä mahdollisuuksia.

Työssä käydään aluksi läpi eri tyyppisiä aineenkoetuskoneita. Tämän jälkeen perehdytään tarkasti vetokokeeseen ja koesauvoihin. Vetokokeen avulla saadaan erittäin paljon tietoa materiaaleista ja se onkin materiaaliopin perusteita. Työ tarjoaa hyvät ohjeet vetokokeen eri arvojen määrittämiselle standardien mukaisesti. Tämän jälkeen paneudutaan koneen käyttöön ja selvennetään sitä malliesimerkillä.

Esimerkin avulla kuka tahansa pystyy suorittamaan vetokokeen ja välttämään hankalan käyttöliittymän ongelmia. Lopuksi selvitetään hienovenymäanturin saatavuutta koneeseen. Hienovenymäanturin avulla olisi mahdollista saada tarkempaa tietoa koekappaleista ja niiden ominaisuuksista.

2 CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Centria-ammattikorkeakoulu Oy omistaa Centria-ammattikorkeakoulun. Osakkaina ovat Keski-Pohjanmaan koulutusyhtymä, Jokilaaksojen koulutusryhmä, Pietarsaaren kaupunki, Raudaskylän Kristillinen Opisto ry. ja Keski-Pohjanmaan konservatorion kannatusyhdistys ry. Ammattikorkeakoulun toimitusjohtaja on rehtori Kari Ristimäki. (Centria-ammattikorkeakoulu 2016.)

Centria-ammattikorkeakoulu toimii kolmella paikkakunnalla: Kokkolassa, Ylivieskassa ja Pietarsaaressa. Päivätoteutuksena koulussa voi opiskella insinööriksi, tradenomiksi, sairaanhoitajaksi, terveydenhoitajaksi, sosionomiksi, yhteisöpedagogiksi ja musiikkipedagogiksi. Vieraskielistä koulutustarjontaa löytyy myös kiitettävästi, sillä koulu on Suomen kansainvälinen korkeakoulu. Joka viidennen koulussa opiskelevan kotimaa on jokin muu kuin Suomi. Vaihto-opiskelijoita saapuu kouluun joka vuosi noin 100, ja vastaavasti koulusta lähtee maailmalle suorittamaan opiskelu- tai harjoitusjaksoa noin 100 opiskelijaa. (Centria-ammattikorkeakoulu 2016.)

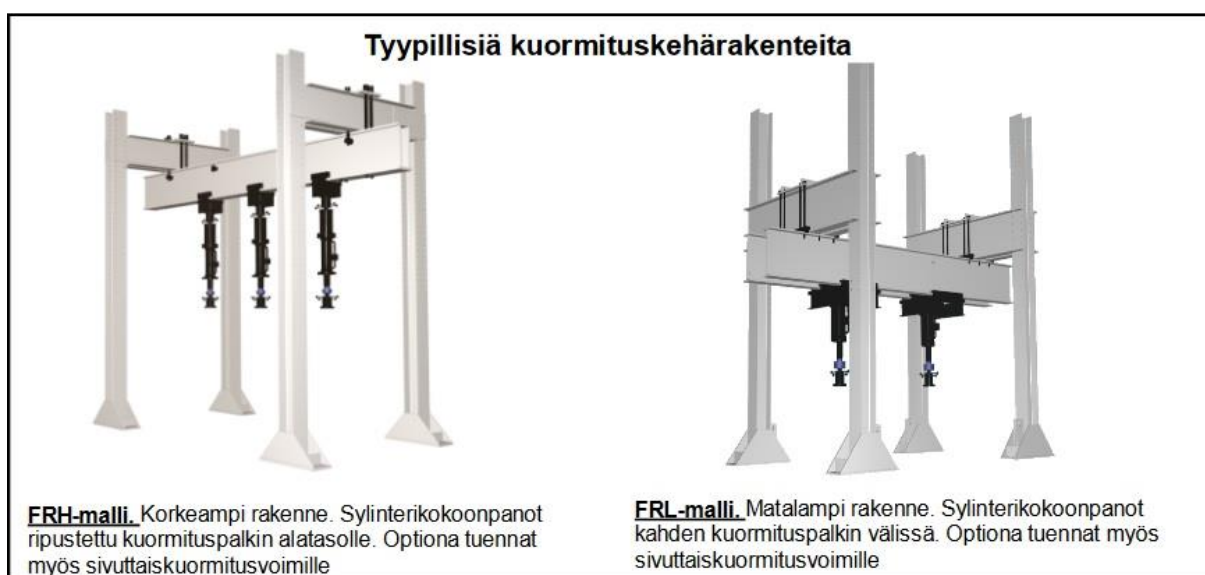
Centria-ammattikorkeakoulun arvoja ovat avoimuus, vastuullisuus ja uudistushakuisuus. Koulussa keskustellaan asioista avoimesti ja avointa vuorovaikutuskulttuuria pyritään vahvistamaan tietoisesti. Centria tuntee vastuunsa alueensa hyvinvoinnista, sivistyksestä ja osaamisen kehittamisestä. Rehellistä sekä eettistä ja taloudellisesti kestäväää toimintaa arvostetaan. Lisäksi koulun katset ovat tulevaisuudessa: Centria ottaa mielellään vastaan haasteita ja kannustaa uudenlaisten ratkaisujen löytämiseen. Missiona on edistää alueensa hyvinvointia, kehittymistä ja kilpailukykyä. Aluevaikutuksesta tunnettu ammattikorkeakoulu tukee yrittäjyyttä ja elinkeino- ja työelämän kansainvälistymistä. Koulun visiona on olla Centria-alueen ihmisten ja organisaatioiden osaamisen halutuin ja aikaansaavin uudistaja. (Centria-ammattikorkeakoulu 2016.)

3 AINEENKOETUSKONE

Aineenkoetuskoneella voidaan tutkia eri materiaalien mekaanisia ominaisuuksia, kuten aineen kykyä kestää ulkoisten voimien vaikutusta. Koneella voidaan vetää, puristaa ja taivuttaa kappaleita. Materiaalin ominaisuudet saadaan selville jännitys-venymäkuvaajan avulla. Aineenkoetuskoneita on erilaisia: tietokoneohjattuja sähköhydraulisia servosylinterijärjestelmiä, tietokoneohjattuja servohydraulisia koneita ja tietokoneohjattuja ruuvikäyttöisiä koneita.

3.1 Tietokoneohjattu sähköhydraulinen servosylinterijärjestelmä

Tietokoneohjatut sähköhydrauliset servosylinterijärjestelmät on tarkoitettu eri rakenteiden ja aineiden koestuksia ja kuormitussimulaatioita varten. Koestettavien kohteiden koko vaihtelee suuresti: pienistä standardikoesauvoista suuriin teräs-, betoni-, puu- yms. rakenteisiin. Yhdestä tai useammasta erikoisservosylinteristä muodostuvalla testausjärjestelmällä voidaan suorittaa erilaisia staattisia tai dynamisia kokeita. Riippuen järjestelmän rakenteesta, sylinterien kuormitusasennot voivat vaihdella pystysuuntaisesta vaakasuuntaisiksi. Erillisohjauksella voidaan suorittaa kuormituskokeita samanaikaisesti usealla sylinterillä. Asiakaskohtaiset tarpeet huomioidaan ja järjestelmät suunnitellaan, mitoitetaan ja varustellaan tarpeen mukaan. Windows-pohjainen ProgSys WIN-ohjelmisto huolehtii ohjauksesta. (Matertest 2005.)



KUVIO 1. Tyypillisiä kuormituskehärakenteita (Matertest 2005)

3.2 Tietokoneohjattu servohydraulinen yleisaineenkoetuskone

Tietokoneohjattu servohydraulinen yleisaineenkoetuskone on aineenkoetuskoneiden perusmalli. Ensimmäiset mallit valmistettiin 70-luvun alussa. Nykyinen malli edustaa luotettavinta ja nykyaikaisinta saatavilla olevaa aineenkoetustekniikkaa. Konetta käyttävät niin teollisuus, tutkimus ja opetuskin hyvin laaja-alaisesti. Monipuolisten ominaisuuksiensa takia kone soveltuu erilaisiin ja erilaisten materiaalien tarkkoihin mekaanisiin testauksiin. Peruskäyttökohteita ovat mm. staattiset veto- ja puristuskokeet kappaleen murtoon asti, hitaat dynaamiset kokeet, taivutuskokeet, kuormitussimulaatiot ja rakenteiden testaus. (Matertest 2005.)



KUVIO 2. Servohydraulinen yleisaineenkoetuskone (Matertest 2005)

3.3 Tietokoneohjattu ruuvikäyttöinen yleisaineenkoetuskone

Tietokoneohjattu ruuvikäyttöinen yleisaineenkoetuskone on tarkoitettu erilaisten aineiden aineyhdistelmien ja rakenteiden tarkkoihin staattisiin veto-, puristus- ja taivutuskokeisiin. Brinell kovuusmittauksien suorittaminen onnistuu laitteella myös. Koneessa on kaksi testaustilaa, mikä mahdollistaa kahden eri tyyppisen kokeen asennuskokoonpanojen ylläpitämisen ilman ylimääräisiä vaihtoja. (Matertest 2005.)



KUVIO 3. Tietokoneohjattu ruuvikäyttöinen yleisaineenkoetuskone (Matertest 2005)

4 VETOKOE

Jännityksen ja venymän välistä riippuvuutta tutkitaan vetokokeella. Tutkittavasta materiaalista valmistettuun sauvaan kohdistetaan voima, jonka suuruutta hitaasti lisätään. Samanaikaisesti mittaamalla voimaa ja sauvan pituuden muutosta saadaan tuloksista jännityksen ja venymän välinen yhteys. Vetokokeet tehdään aina standardin mukaisesti. (Karhunen ym. 2001, 17.)

Koesauva vedetään yleensä katkeamiseen asti siten, että tutkittavista mekaanisista ominaisuuksista voidaan määrittää yksi tai useampia. Koe tehdään huoneenlämpötilassa alueella 10...35 Celsiusta, ellei toisin sovita. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.1 Koesauvat

Koesauvan muodot ja mitat riippuvat testattavan tuotteen muodoista ja mitoista. Yleensä koesauva valmistetaan työstämällä näytteestä, joka on otettu tuotteesta, aihioista tai valukappaleesta. Työstämättömiä koesauvoja voidaan käyttää poikkileikkaukseltaan muuttumattomille tuotteille (palkit, tangot, langat jne.) sekä myös valuille (ts. valuraudat ja ei-rautaseokset). Koesauvan poikkipinta voi olla neliö, suorakaide, ympyrä, rengasmainen tai erikoistapauksissa jotain muutakin muotoa.

Suhdesauvat ovat suositeltavia koesauvoja. Suhdesauvojen alkumittapituus L_0 ja suoran osan poikkipinta-ala S_0 täyttävät ehdon $L_0 = k\sqrt{S_0}$, missä k on verrannollisuuskerroin. Vakion k arvoksi on kansainvälisesti sovittu 5,65. Lyhin sallittu alkumittapituus on 15 mm. Jos koesauvan poikkipinta-ala on liian pieni vakion k arvolle 5,65, voidaan käyttää suurempaa arvoa (mieluiten 11,3) tai ei-suhdesauvaa. Huomioitavaa on kuitenkin, että jos alkumittapituus on alle 20 mm, mittausepävarmuus kasvaa. Käytettäessä ei-suhdesauvoja alkumittapituus ei riipu koesauvan poikkipinta-alasta. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.1.1 Työstetyt koesauvat

Jos suoran osan ja päiden mitoissa on eroa, työstettyjen koesauvojen kiinnityspäiden on liityttävä pyöristyksellä koesauvan suoraan osaan. Kiinnityspäiden ja suoran osan väliset pyöristyssäteet ovat tärkeitä ja on suositeltua, että ne määritetään tuotestandardeissa.


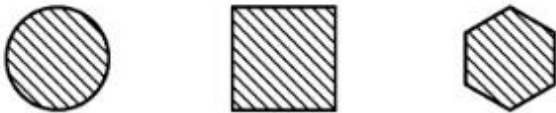
Vetokoneen kiinnityselinten vaatimukset määrittävät kiinnityspäiden muodot. Koesauvan akselin on yhdyttävä vetokoneen voiman vaikutusakseliin. Koepituuden L_c tulee aina olla suurempi kuin alkumittapituus L_0 . Jos koesauvassa ei ole kavennettua osaa, tulee kiinnityselinten välisen etäisyyden olla suurempi kuin alkumittapituus L_0 . (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.1.2 Työstämättömät koesauvat

Koepituuden tulee olla riittävä, jos koesauva koostuu tuotteen työstämättömästä osasta, tai on työstämätön. Mittamerkeillä tulee olla tarvittava etäisyys kiinnityselimiin. Muotoonsa valetuilla koesauvoilla suoran osan ja koesauvan päiden välisten yhtymäkohtieen tulee olla tarpeeksi loivat. On suositeltavaa, että pyöristyssäteiden arvot määritellään tuotestandardeissa, sillä ne ovat hyvin tärkeitä. Vetokoneen kiinnityselimien vaatimukset määrittävät kiinnityspäiden muodon. Koepituuden L_c on aina oltava alkumittapituutta L_0 suurempi. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.1.3 Koesauvan poikkipinta-alan määrittäminen ennen koetta

Koesauva tulee mitata riittävän monesta kohtaa suoran osan keskialueelta kohtisuoraan koesauvan pituusakseliin nähden. Suositellaan, että vähintään kolme poikkileikkausta mitataan. Poikkipinta-ala lasketaan suoran osan mittaustulosten keskiarvona. Lasketun poikkipinta-alan tarkkuus riippuu koesauvasta ja sen tyypistä. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

| Tuotetyyppi | |
|--|---|
| Levyt – Latat  Paksuus a | Langat – Tangot – Profiilit  Halkaisija tai sivumitta |
| $0,1 \leq a < 3$ | – |
| – | < 4 |
| $a \geq 3$ | ≥ 4 |

KUVIO 4. Koesauvatyyppjä (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1)

4.1.4 Alkumittapituuden merkitseminen koesauvaan

Alkumittapituuden rajat tulee merkitä ohuesti hienoin merkein tai viivaamalla. Ennenaikasta murtumista edesauttavia lovia ei pidä käyttää. Käyttäessä suhdesauvoja alkumittapituuden laskettu arvo voidaan pyöristää lähimpään 5 millimetriin. Tämä edellyttää kuitenkin, että lasketun ja merkityn mittapituuden ero on alle 10 % alkumittapituudesta. Alkumittapituus tulee merkitä korkeintaan yhden prosentin tarkkuudella. Kun kyseessä on esim. työstämättömät koesauvat, jolloin koepituus voi olla huomattavasti alkumittapituutta suurempi, merkitään sauvaan sarja osittain päällekkäisiä mittapituuksia. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.2 Koeolosuhteet

Ennen koesauvan kiinnittämistä molemmista päistään tulee voimanmittausjärjestelmän kuormitusketju asettaa nollakohtaan. Kun nollakohta on asetettu, ei voimanmittausjärjestelmään saa tehdä mitään muutoksia kokeen aikana. Näin varmistetaan, että kiinnitysjärjestelmän paino on otettu huomioon voiman mittauksessa ja mahdolliset kiinnityksestä aiheutuvat voimat eivät vääristä mittauksia. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

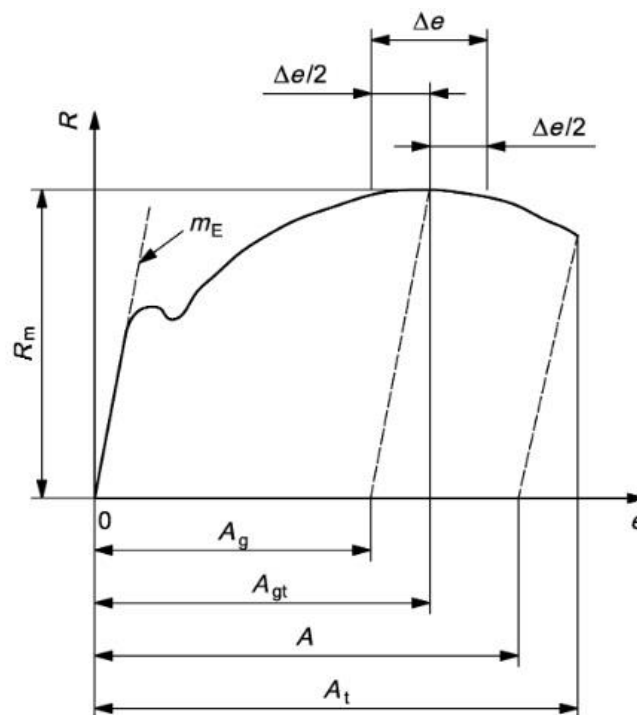
Koesauva kiinnitetään koneeseen soveltuvalla tavalla, kuten kiertein, suorin leuoin, kiilaleuoin tai olakkein. Koesauvaa kiinnittäessä tulee pyrkiä siihen, että voima vaikuttaa sauvaan mahdollisimman tarkasti pituusakselin suuntaisesti. Näin taivutuksen vaikutus minimoidaan. Tämän tärkeys korostuu testattaessa hauraita materiaaleja tai määritettäessä venymisrajoja tai myötärajaa. Koesauvan suoristamiseen ja sen oikean linjan varmistamiseen voidaan käyttää esikuormitusta. Esikuormitus tulee kuitenkin olla korkeintaan 5% vaaditusta tai odotettavissa olevasta myötörajasta. Pitenemän arvoa korjattaessa esijännityksen vaikutus tulisi ottaa huomioon. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.3 Jännitys-venymäpiirros

Vetokokeen aikana on tarkoitus selvittää vetovoima sekä tarkkailla vedettävän sauvan mittapituuden kasvua. Vetokokeessa saadaan tietoa mm. materiaalin lujuusominaisuuksista, teräksen laadusta ja sauvan venymisestä. Sauva vedetään useimmiten katkeamiseen asti, näin saadaan selville mahdollisimman monia ominaisuuksia. (Laitinen ym. 1993, 16.)

Vetokokeen tulokset esitetään venymäpiirroksena. Useiden materiaalien venymäpiirroksen alussa on lineaarinen osa. Jännitystä, jonka kohdalla lineaarinen osa päättyy, kutsutaan suhteellisuusrajaksi. Sen jälkeen olevalla kimmoisella alueella, eli kimmorajaan saakka venymä on täysin palautuva. Jos jännitys kasvaa kimmorajaa suuremmaksi, sauva ei enää palaudu, vaan siihen jää pysyvä venymä kuormituksen poiston jälkeen. (Karhunen ym. 2001, 17.)

Suhteellisuusrajan jälkeen venymän kasvu on voimakkaampaa. Tämä alue on myötöalue, eli täysin plastinen alue, jolla venymä kasvaa, vaikka jännitystä ei lisätä. Jännityksen suurin arvo myötöalueella on ylempi myötöraja. Jännityksen pienin arvo myötöalueella on alempi myötöraja. Myötöalueen jälkeen jännitystä pitää suurentaa, jotta venymä kasvaisi. Seuraava vaihe on jännityksen maksimiarvo, eli murtolujuus. Jos venymää tästä edelleen kasvatetaan, alkaa kuroutuminen, jonka seurauksena tapahtuu lopulta sauvan murtuminen. (Karhunen ym. 2001, 17.)



Selite

- A murtovenymä [määritettynä venymämittarin signaalista tai suoraan koesauvasta
- A_g plastinen tasavenymä suurimmalla voimalla
- A_{gt} kokonaistasavenymä suurimmalla voimalla
- A_t kokonaisvenymä murtohetkellä
- e venymä
- m_E jännitys-venymäkäyrän kimmoisen osan kulmakerroin
- R jännitys
- R_m murtolujuus
- Δe ylätasanteen koko

KUVIO 5. Venymäpiirros (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1)

4.4 Myötöraja

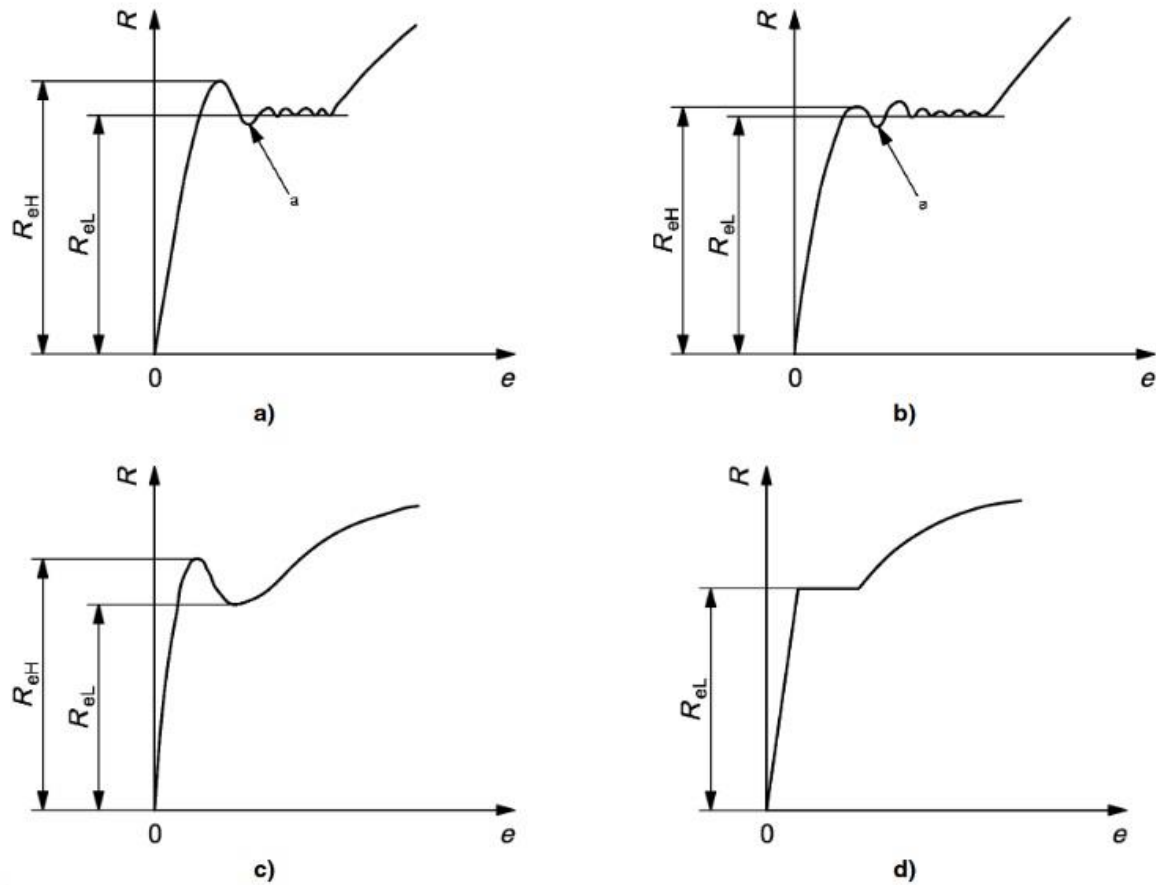
Myötöraja tarkoittaa vetojännityksen suuruutta sillä hetkellä, kun testattavassa materiaalissa tapahtuu pysyväksi jäävä muodonmuutos. Materiaali menettää kimmoisuutensa myötörajalla, eikä palaakaan enää alkuperäiseen muotoonsa kun jännitys loppuu. Alueella on kaksi rajaa. Jännityksen alue jolla myötö alkaa on ylempi myötöraja ja alempi myötöraja on pienin myötöalueella esiintyvä jännitys. (WSOY iso tietosanakirja 1997, 314.)

4.4.1 Ylemmän myötörajän määrittäminen

Ylempi myötöraja R_{eH} voidaan määrittää voima-pitenemäkäyrästä, tai mittalaitteella joka osoittaa suurinta kuormitusta. Se määritetään jännityksen enimmäisarvona ennen ensimmäistä voiman pienenemistä. Jakamalla tämä voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla saadaan ylempi myötöraja. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.4.2 Alemman myötörajän määrittäminen

Alempaa myötörajaa määrittäessä ei oteta huomioon alkuvaiheen hetkellistä yliheilahdusta. Alempi myötöraja R_{eL} määritetään voima-pitenemiskäyrästä pienimpänä jännityksenä myötörajavaiheen aikana. Jakamalla tämä voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla saadaan alempi myötöraja. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

**Selite** e venymä R jännitys R_{eH} ylempi myötöraja R_{eL} alempi myötöraja a alkuvaiheen hetkellinen yliheilahdus.

KUVIO 6. Ylemmän ja alemman myötörajan määrittäminen eri tapauksissa (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1)

4.5 Plastiseen pitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen

Plastiseen pitenemään perustuva venymisraja R_p määritetään voima-pitenemäkäyrästä piirtämällä käyrän suoraviivaisen alkuosan suuntainen suora. Tämä suora tulee olla haluttua plastista venymää vastaavalla etäisyydellä venymäakselin suunnassa, esim. 0,2 %. Haluttua venymisrajaa vastaava voima saadaan suoran ja käyrän leikkauspisteessä. Jakamalla tämä voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla saadaan venymisraja. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.6 Kokonaispitenemään perustuvan venymisrajan määrittäminen

Kokonaispitenemään perustuva venymisraja R_t määritetään voima-pitenemiskäyrästä piirtämällä y-akselin, eli voima-akselin suuntainen suora etäisyydelle, joka vastaa vaadittua kokonaisvenymää. Tässä on tärkeä ottaa huomioon kohta 4.2 koskien sauvan kiinnitystä. Pisteessä, jossa kyseinen suora leikkaa käyrän, voima vastaa haluttua venymisrajaa. Jakamalla tämä voima koesauvan suoran osan poikkipinta-alalla saadaan venymisraja. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.7 Myötövenymän määrittäminen

Materiaaleilla, jotka omaavat epäjatkuvan myötörajan, myötövenymä A_e määritetään voima-pitenemäkäyrästä vähentämällä ylemmän myötörajan kohdalla oleva pitenemä pitenemästä, joka alkaa tasaisen muokkauslujittumisen alkamiskohdassa. Tasaisen muokkauslujittumisen alkamiskohdan pitenemä määritetään ennen tasaisen muokkauslujittumisen alkamista olevan viimeisen paikallisen vähimmäisarvon kautta kulkevan vaakasuoran viivan tai myötöalueen kautta kulkevan regressioviivan ja tasaisen muokkauslujittumisen alkaessa viivan joka omaa suurimman kulmakertoimen leikkauskohdasta. Venymämittarin mittapituudesta L_e myötövenymä ilmoitetaan prosentteina. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.8 Plastisen tasavenymän määrittäminen

Menettely sisältää venymämittarilla mitatun pitenemän määrittämisen suurimmalla voimalla voimapitenemäkäyrästä sekä vähentämällä siitä kimmoisen venymän osuus.

Plastinen tasavenymä suurimmalla voimalla A_g lasketaan kaavalla:

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

missä

L_e on venymämittarin mittapituus

m_E on jännitys-venymäkäyrän kimmoisen osan kulmakerroin

R_m on murtolujuus

ΔL_m on pitenemä suurimmalla voimalla

(Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.9 Kokonaistasavenymän määrittäminen

Menettely sisältää venymämittarilla mitatun pitenemän määrittämisen suurimmalla voimalla voimapitenemäkäyrästä.

Kokonaistasavenymä suurimmalla voimalla A_{gt} lasketaan kaavalla:

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100$$

missä

L_e on venymämittarin mittapituus

ΔL_m on pitenemä suurimmalla voimalla

(Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.10 Kokonaisvenymän määrittäminen murtohetkellä

Menettely sisältää venymämittarilla murtohetkellä mitatun pitenemän määrittämisen voimapitenemäkäyrästä.

Kokonaisvenymä murtohetkellä A_t lasketaan kaavalla:

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} \times 100$$

missä

L_e on venymämittarin mittapituus

ΔL_f on pitenemä murtohetkellä

(Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.11 Murtovenymän määrittäminen katkenneesta sauvasta

Katkenneen koesauvan osat sovitetaan murtopintojaan vasten yhteen niin tarkasti kuin on mahdollista. Kummankin osan pituusakselin pitää tulla samalle suoralle. Loppumittapituutta mitattaessa tulee noudattaa erityistä tarkkuutta palojen yhteensovittamisessa. Erityisen tärkeää tämä on poikkipinnaltaan tai pitenemältään pieniä koesauvoja testattaessa.

Murtovenymä A lasketaan kaavalla:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100$$

missä

L_o on alkumittapituus

L_u on loppumittapituus

Pitenemä katkenneesta koesauvasta on määritettävä vähintään 0,25 mm tarkkuudella mittavälineellä, jonka erottelukyky on riittävä. Jos murtovenymävaatimus on alle 5%, tulisi noudattaa erityistä huolellisuutta.

Murtuman ja lähimmän mittamerkin välinen etäisyys tulee olla vähintään kolmasosa alkumittapituudesta jotta tämä mittaus olisi pätevä. Mikäli murtovenymä täyttää vaaditun arvon tämä mittaus on kuitenkin pätevä riippumatta murtuman sijainnista. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

4.12 Murtokurouman määrittäminen

Murtopinnat katkenneesta koesauvasta sovitetaan murtopintojaan vasten mahdollisimman tarkasti yhteen. Kummankin osan pituusakselin pitää tulla samalle suoralle.

Murtokurouma lasketaan kaavalla:

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100$$

missä

S_o on koesauvan suoran osan poikkipinta-ala ennen koetta

S_u on pienin poikkipinta-ala murtuneesta koesauvasta

Poikkipinta-ala mitataan kahden prosentin tarkkuudella mikäli vain mahdollista. (Suomen standardisoimisliitto SFS 6892-1.)

5 MEC 250kN:n KÄYTTÖ

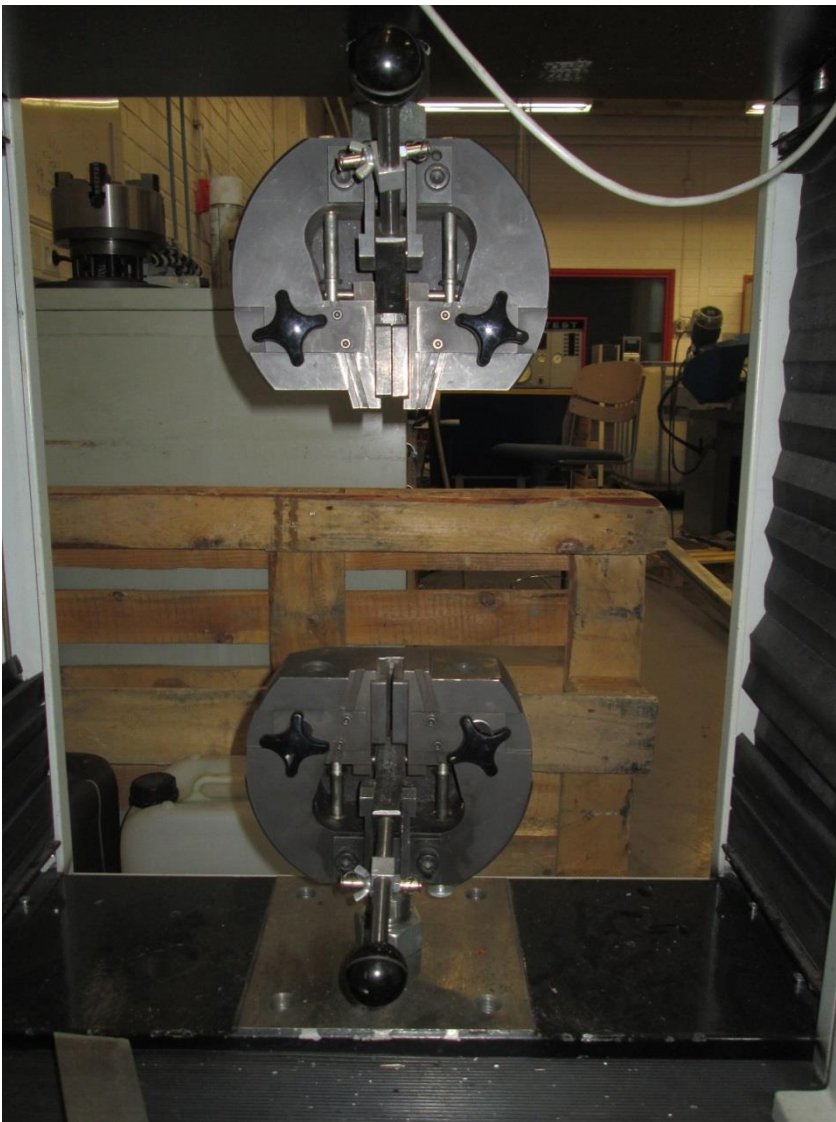
Ensin tulee käynnistää laitteeseen kytketty tietokone. Käyttäjätunnus ja salasana löytyvät näppäimistön alta. Koneen käynnistyttyä aineenkoetuskoneen päävirtakytkin tulee siirtää on-asentoon. Seuraavaksi tietokoneelta etsitään ohjelmista Matertest ja sieltä valitaan vetokoe. Kun ohjelma on käynnistynyt voidaan käynnistää aineenkoetuskoneen servot. Vihreää painiketta tulee painaa pohjassa muutaman sekunnin ajan, kunnes kuuluu pieni naksahdus. Nyt alla olevassa kuvassa näkyvä kone on valmiina vetokoetta varten.



KUVIO 7. FMT – MEC 250kN

5.1 Koekappaleen kiinnitys

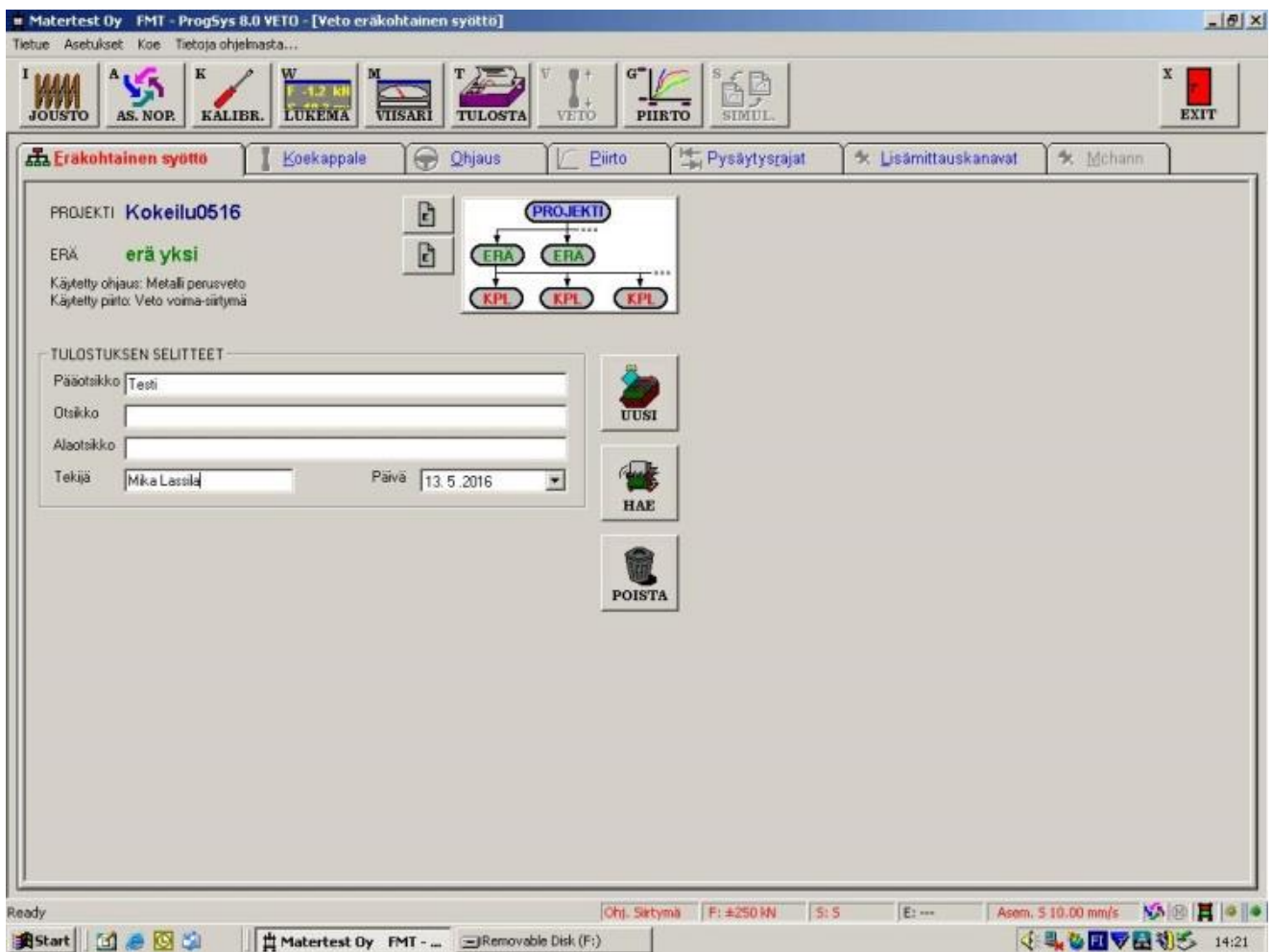
Koekappaleen kiinnitys riippuu koekappaleesta. Tässä esimerkissä käytettiin suorakaiteen muotoista kappaletta, jonka kiinnitys onnistuu helposti alla olevan kuvan jousitoimisilla leuoilla. Vetokoneeseen on mahdollista asentaa eri kiinnityselimiä ja muokata niitä koekappaleen vaatimusten mukaan. Tärkeää on varmistaa, että kiinnitys on tiukka eikä kappale pääse luistamaan, mikä vääristää tuloksia.



KUVIO 8. Jousitoimiset kiinnitysleuat

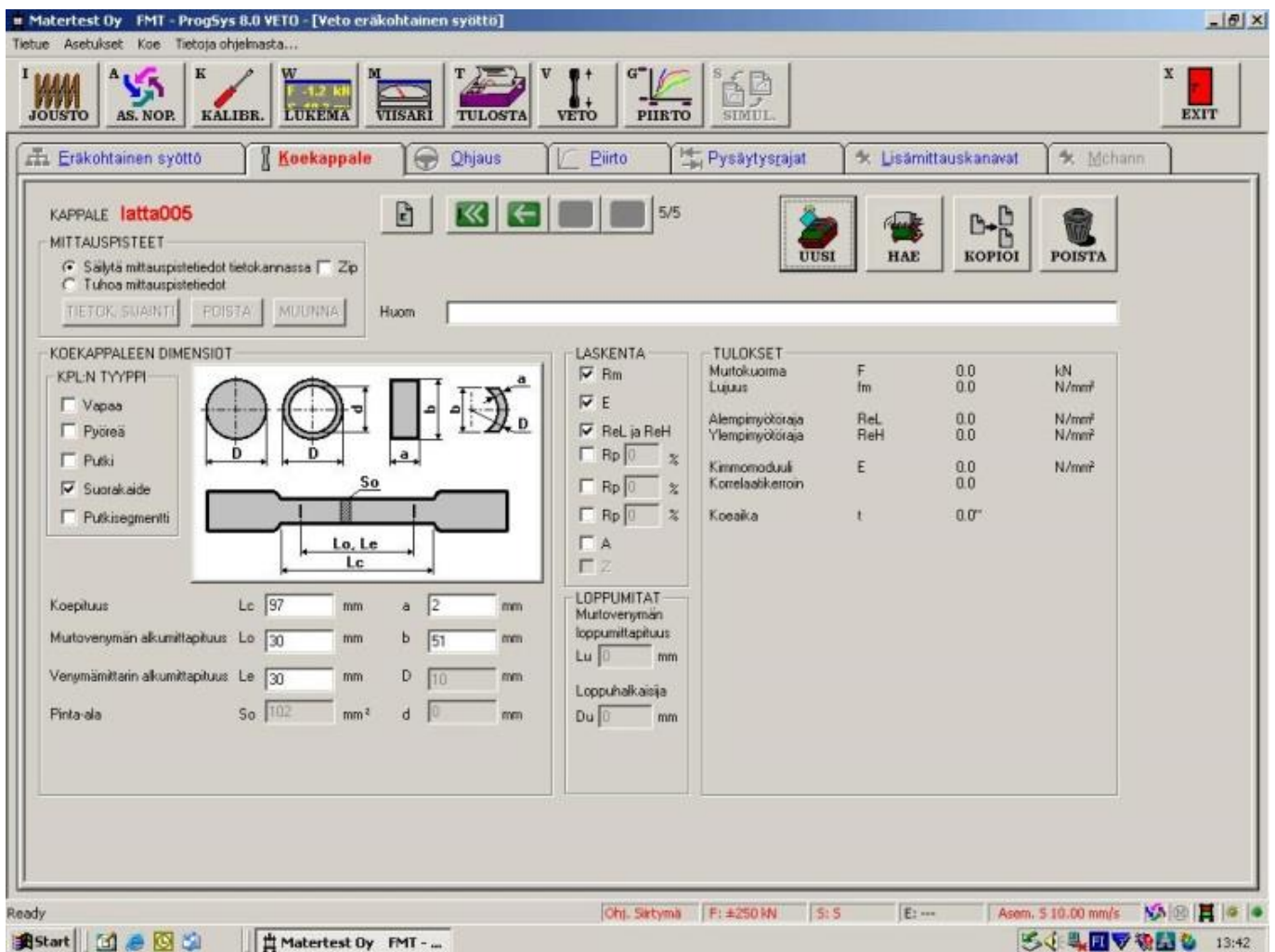
5.2 Vetokoeohjelman käyttö

Alla olevassa ensimmäisessä ikkunassa voidaan nimetä projekti. Tämä ei ole niin oleellista yksittäisissä vetokokeissa, vaan siinä tapauksessa, että tehdään esimerkiksi sarja kokeita ja halutaan viralliset tulokset kirjattua ja tulostettua kunnolla. Tässä tulee huomioida se, että projektin nimi ei saa olla sama, joka on jo aikaisemmin koneelle tallennettu, koska ohjelma saattaa tällöin kaatua.



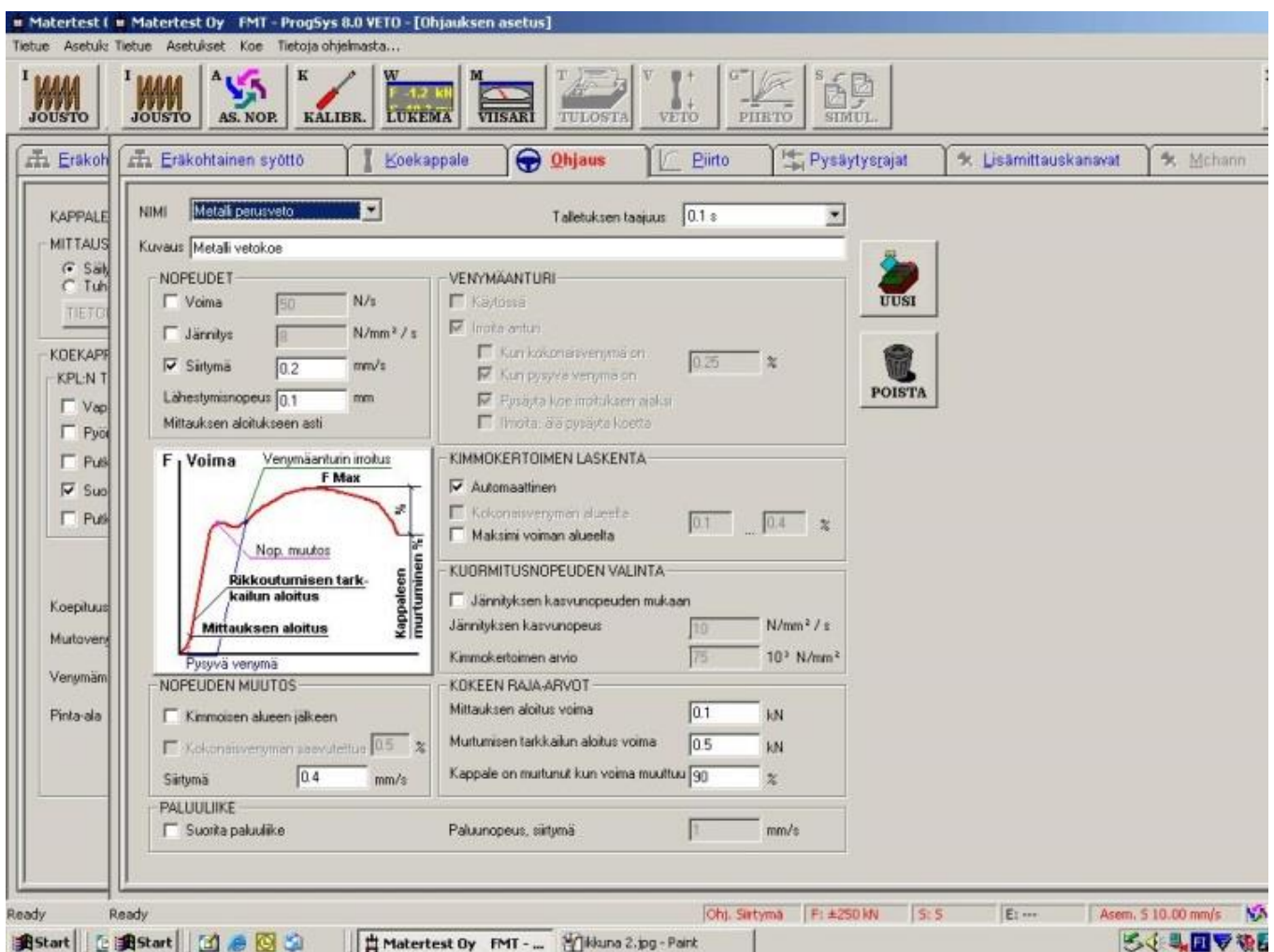
KUVIO 9. Vetokoeohjelman ensimmäinen ikkuna

Alla olevassa toisessa ikkunassa määritetään koekappale. Huomioitavaa on, että mittauspisteet kohdassa tulee olla valinta mittauspistetietojen säilyttämisestä tietokannassa. Lisäksi kappaleen nimi ei saa olla sama kuin aikaisemmin tallennettu. Tässä esimerkissä kappaleen nimi oli latta005. Nimen vaihto onnistuu nimen vieressä olevasta painikkeesta. Lisäksi jos suoritetaan projektia jossa useampi koekappale, niiden välillä liikutaan vihreistä nuolista. Koekappaleen muoto valitaan listasta ja dimensioiden syötetään alapuolelle. Tässä esimerkissä koekappaleena oli suorakaide, josta mitattiin paksuus a 2 mm ja leveys b 51 mm. Tärkeää dimensioiden syötössä on käyttää pilkkua pisteen sijaan, jos sille on tarvetta, tai ohjelma kaatuu. Laskentakohdasta valitaan, mitä arvoja halutaan. Huomioitavaa kimmomoduuli E:n kohdalla, että ilman anturointia sen arvo ei ole tarkka.



KUVIO 10. Vetokoeohjelman toinen ikkuna

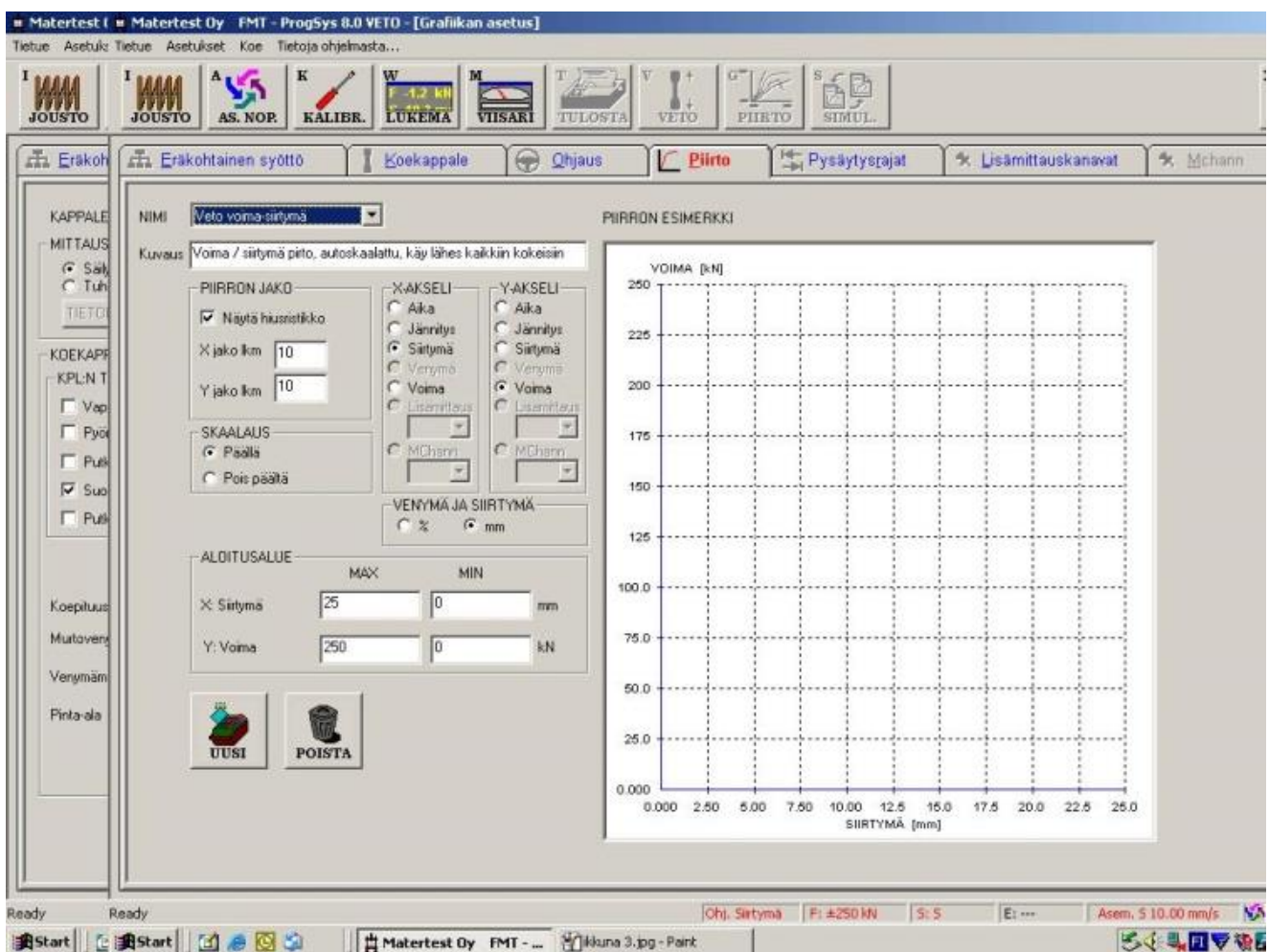
Alla olevassa kolmannessa ikkunassa määritetään ohjaukseen liittyvät asiat. Nopeudet kohdasta valitaan millä nopeudella aineenkoetuskone vetää koekappaleita. Nopeuden voi määrittää voiman, jännityksen tai siirtymän avulla. Tässä esimerkissä käytettiin siirtymää. Toimivaksi arvoksi kyseiselle latta005 koekappaleelle todettiin 0.2 mm/s. Vetokokeen standardeista löytyy tarkempia ohjeita nopeuden määrittämiseksi erilaisissa tapauksissa. Muuta huomioitavaa tässä ikkunassa on kokeen raja-arvot joiden määrittäminen riippuu kokeesta ja kappaleesta. Tässä esimerkissä haluttiin vetää latta005-kappale kokonaan poikki ja siihen toimivaksi arvoksi todettiin 90 %:n voiman muutos, kun kappale on murtunut.



KUVIO 11. Vetokoeohjelman kolmas ikkuna

Alla olevassa neljännessä ikkunassa määritetään jännitys-venymäpiirroksen liittyvät asiat. Nämä ovat täysin tapauskohtaisia ja riippuvat siitä millaisen piirroksen haluaa. Piirto voidaan jakaa haluttuun kokoon. X- ja Y-akselille voidaan valita haluttu arvo. Tässä esimerkissä käytettiin siirtymä-voima-piirrosta.

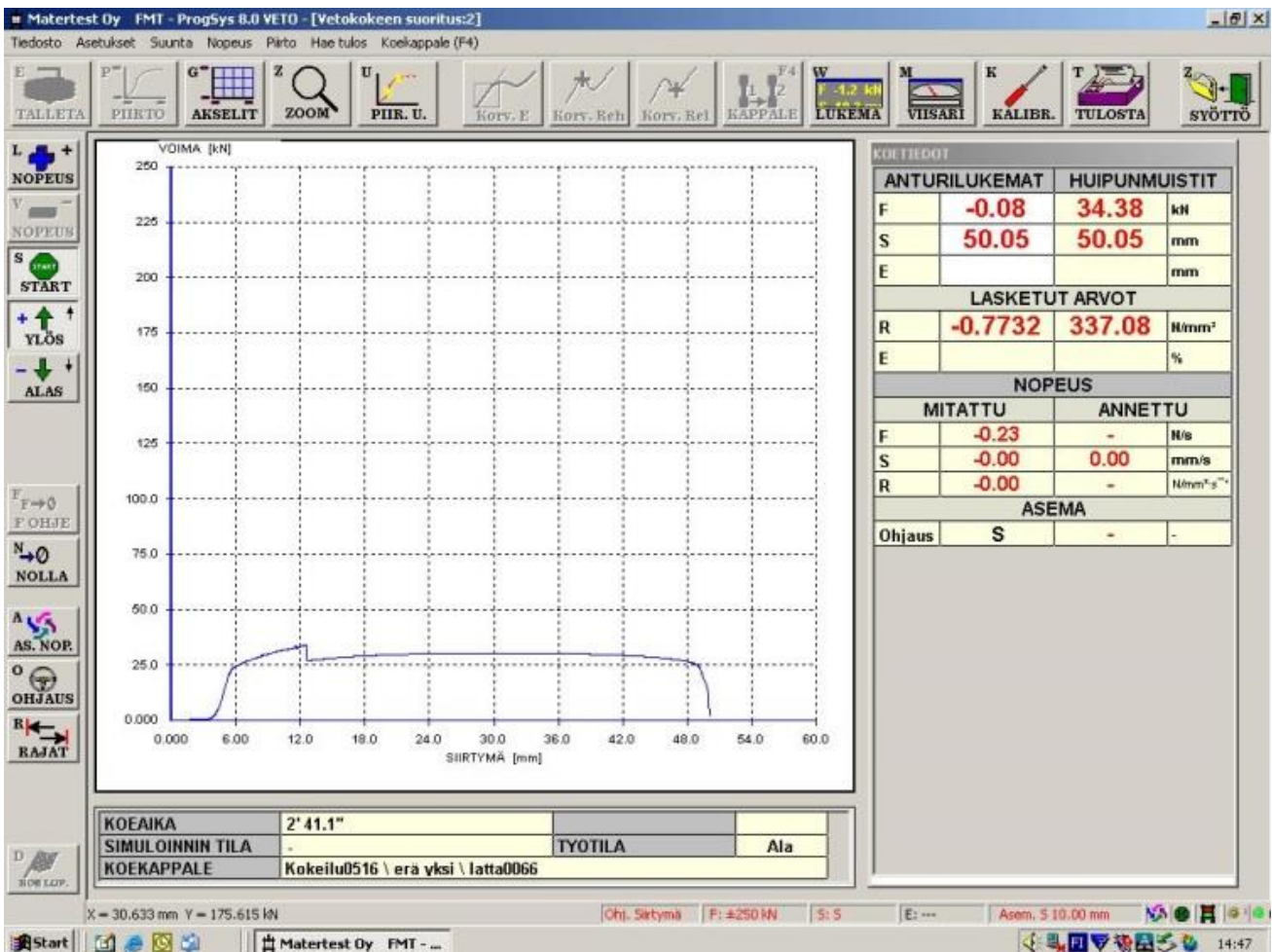
Kun nämä ikkunat on käyty läpi ja halutut arvot määritetty, tulee palata toiseen ikkunaan, eli koekappale ikkunaan. Vetokoea ei voida käynnistää muuten. Koekappaleet-ikkunassa voidaan vetokoe käynnistää ylimmällä rivillä olevasta veto-painikkeesta.



KUVIO 12. Vetokoeohjelman neljäs ikkuna

Veto-painikkeesta avautuu uusi ikkuna. Tässä tulee huomioida oikeassa reunassa näkyvät voiman anturilukemat. Arvot tulisi olla nollassa tai ainakin hyvin lähellä, riippuen toki koekappaleestakin. Arvot voi säätää nollassa tienoille manuaalisesti tietokoneen vieressä olevan servon nollassa-painikkeesta. Veto aloitetaan vasemmalla olevasta start-painikkeesta. Vedon nopeutta voidaan säätää myös vasemmalla olevista painikkeista myös, mutta tämä ei ole standardin mukaista.

Kun veto alkaa, ohjelma alkaa piirtää käyrää ja alhaalla koeaika alkaa rullaamaan. Kun koe on loppu saadaan mittaustiedot ja kokeen tiedot arkille ylärivillä olevasta tulosta painikkeesta. Arkki voidaan tulostaa tai pelkästään tallentaa. Jos kyseessä on projekti, jossa on enemmän koekappaleita, tulee palata takaisin koekappale ikkunaan vasemmassa alakulmassa näkyvästä kokeen lopetus painikkeesta. Kyseisen koekappaleen mittaustiedot ovat tällöin näkyvissä koekappale ikkunassa. Tässä voidaan sitten liikkua vihreillä nuolilla koekappaleiden välillä, ja siirtyä seuraavan koekappaleen testaukseen.



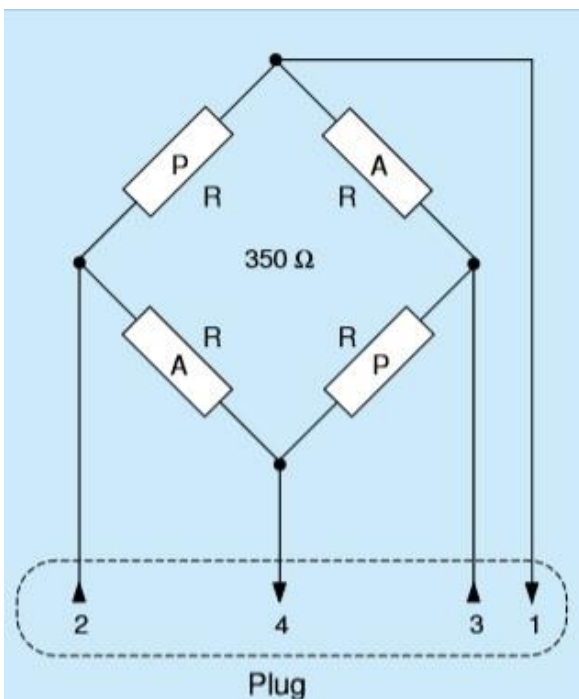
KUVIO 13. Vetokoeohjelman vetoikkuna

6 HIENOVENYMÄANTURI

Aineenkoetuskoneesta puuttuu hienovenymäanturi. Tällä anturilla olisi mahdollista tarkkailla kappaleen muodonmuutoksia tarkemmin sekä määrittellä kimmomodulit ja eri myötörajat. Antureiden erotustarkkuudet ovat yleensä alle 0,001 mm.

Otin yhteyttä saksalaiseen yritykseen nimeltä Sandner-Messtechnik. Yritys on tehnyt aikoinaan yhteistyötä Matertest Oy:n kanssa. Heidän tarjoamansa anturit ovat erittäin tarkkoja ja pitkän kehitystyön tulos. Anturit ovat maailmanlaajuisesti tunnettuja ja hinta/laatu-suhteeltaan erinomaisia. Materiaalitestausta asettaa jatkuvasti kasvavia vaatimuksia mittaustarkkuudelle, koska nykyaikainen materiaalitutkimus, optimointi ja laadunvalvonta ei pysty täyttämään vaatimuksiaan muuten. Materiaaliominaisuuksien ja siihen liittyvien muuttujien tarkkaan määrittämiseen tarvitaan eri menetelmien yhdistämistä. Hienovenymäanturit ovat välttämättömiä tähän, tarjoten reaaliaikaista tietoa koekappaleesta kurmituksen säätämiseen ja kurouman määrittämiseen.

Sandner-Messtechnikin anturit kiinnitetään suoraan koekappaleeseen. Näin ollen ne pystyvät täyttämään vaatimukset hyvin erinlaisia koetilanteita varten. Anturit toimivat hyväksi todistetulla bending beam -toimintaperiaatteella, joka näkyy alla olevassa kuvassa.



KUVIO 14. Bending beam -toimintaperiaate

Bending beam on mittausvieteri, johon on yhdistetty 350 ohmin venymäliuska-anturi, joka muodostaa Wheatstonensillan. Hienovenymäanturi on varustettu 304 lemosa-liittimellä, joka löytyy FMT – MEC aineenkoetuskoneesta. Mittaussignaali kulkee pisteiden 1 ja 4 kautta. Pisteiden 2 ja 3 kautta kulkee jännite maksimissaan 10V DC tai AC. Sanderin antureilla on 12 kuukauden takuu. Anturit toimitetaan säilytyskoteloissa sisältäen eri kokoisia kiinnitysrousia anturin kiinnittämiseen koekappaleeseen.

Alla olevassa kuvassa näkyy eri anturitarjonta. Anturi numero yksi on pyöreiden koekappaleiden ympäröimän tarkkailuun. Anturi numero kaksi on litteiden kappaleiden pituuden tarkkailuun. Anturi numero kolme on tarkoitettu kiinteän jännityksen koekappaleiden tarkkailuun. Se on täydellinen J-integraalien testaukseen laajan mittaleveytensä ansiosta. Anturi numero neljä on pyöreiden kappaleiden pituuden tarkkailuun. Näistä järkevin hankita saattaisi olla anturi numero kaksi litteiden kappaleiden pituuden tarkkailuun, koska se on todennäköisesti yleisin koetilanne.



KUVIO 15. Sandner-Messtechnikin anturitarjonta

7 YHTEENVETO

Vetokoe on materiaalitekniikassa hyvin keskeisessä roolissa ja sen perusteiden ymmärtäminen on hyvin tärkeää. Hyvä tapa hahmottaa vetokoetta on kokeen suoritus muutamilla eri materiaaleilla. Esimerkiksi teräs ja alumiini ovat materiaaleina hyvin erilaiset. Näiden kahden materiaalien käyttö vetokokeessa ja tulosten tarkastelu ja vertailu voisi olla hyvää harjoitusta opiskelijoille. Opiskelijat voivat hahmottaa venymääpiirroksista vetokokeen eri alueita ja arvoja, sekä vertailla niitä keskenään. Jos koneeseen päätetään hankkia hienovenymäanturi, tämä mahdollistaisi vieläkin tarkemman ja monipuolisemman tarkastelun.

LÄHTEET

Centria-ammattikorkeakoulu. 2016. Kotisivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.centria.fi Luettu 9.5.2016

Matertest Oy. 2005. Kotisivut. WWW-dokumentti. Saatavissa: www.matertest.fi/Docs/Framet1.htm Luettu 9.5.2016

Karhunen – Lassila – Pyy – Ranta – Räsänen – Saikkonen – Suosara. 2001. Lujuusoppi. Helsinki: Hakapaino Oy

Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS-EN ISO 6892-1

Laitinen, Esko & Niinimäki, Matti & Tiilikka, Pentti & Tuomikoski, Juho. 1993. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Painatuskeskus Oy

WSOY iso tietosanakirja. 1997. Helsinki: WSOY.

ProgSys aineenkoetuskoneen manuaali