



Kim Sandin

# Mekaanisen testausprosessin kehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

27.3.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Kim Sandin
Otsikko:	Mekaanisen testausprosessin kehitys
Sivumäärä:	32 sivua
Aika:	27.3.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine:	Tuotanto- ja valmistustekniikka
Ohjaajat:	Asiantuntija Tuomas Teräsvuori, Eurofins Expert Services Oy Lehtori Pekka Hirvonen

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Eurofins Expert Services Oy:n mekaanisten testauksen testausprosessia. Keskeisenä tavoitteena on mekaanisten testauksen luokittelu eri vaatavuustasoihin, niin että se toimisi jatkossa testauspalvelun tarjonnan, yksilöllisen soveltamisen ja hinnoittelun lähtökohtana.

Vaativuustasojen luokittelun suunnittelun lähtökohtana on testauksen nykyprosessien ymmärrys. Sen takia opinnäytetyössä luodaan ensin katsaus yrityksen nykyisiin testausmahdollisuuksiin sekä niiden monipuolisiin käyttömahdollisuuksiin. Yrityksen mekaanisten testausprosessien vaiheet on kuvattu käytännöllisen prosessikaavion avulla. Prosessiteoria luo opinnäytetyölle teoreettisen pohjan testausprosessien kehittämiseksi ja erilaisten testien suunnittelemiseksi.

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena syntyi eri tasoihin jaettu vaatimuskuvaaja, joka mahdollistaa testien selkeän luokittelun, hinnoittelun ja kommunikoinnin asiakkaille.

Avainsanat: testaus, mekaaninen testaus, prosessi, testauksen vaatimustasot

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Kim Sandin  
Title: Development of a Mechanical Testing Process  
Number of Pages: 32 pages  
Date: 27 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Mechanical Engineering  
Professional Major: Manufacturing and Production  
Supervisors: Tuomas Teräsvuori, Expert, Eurofins Expert Services Oy  
Pekka Hirvonen, Senior Lecturer

The aim of this thesis is to develop the testing process for mechanical testing at Eurofins Expert Services Oy. The main objective of the thesis is to classify mechanical testing into different levels of integration, which would serve as a basis for future service provision, individual application and pricing.

First, the thesis will visualize the steps of the company's current mechanical testing processes and describe them with a practical process diagram. Process theory provides the thesis with a theoretical basis for the development of testing processes.

The starting point for the classification process into levels is understanding the current processes within the mechanical testing capabilities. Therefore, the thesis provides an overview of the current testing capabilities of the company and their wide range of applications. An adequate knowledge base of test theory allows for a client company-specific application of the design for the implementation of different types of tests.

As a summary of the thesis, a requirements specification divided into different levels is created, which enables a clear classification, pricing and communication of tests to customers.

---

Keywords: testing, mechanical testing, process, testing requirement levels

## Sisältö

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta ja tarkoitus	1
1.2	Tavoitteet	2
1.3	Eurofins Oy	3
2	Prosessi	4
3	Rakenteiden testaus	7
3.1	Staattinen testaus	7
3.2	Dynaaminen testaus	11
3.3	Standardit	16
3.4	Raportointi	18
4	Nykytilan kuvaus	19
5	Testauksen vaatimustasojen sijoitus prosessiin	21
6	Tasojen yhdistäminen testeihin	23
7	Tulokset	28
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	31

## Lyhenteet ja käsitteet

DAQ: *Data Acquisition*. Prosessi, jossa fyysisiä signaaleja muunnetaan digitaaliseen muotoon, jotta niitä voidaan tallentaa ja analysoida.

FEM/FEA: *Finite element method/analysis*. Numeerinen menetelmä, jota käytetään monimutkaisten rakenteiden tai järjestelmien simulointiin ja analysointiin.

LVDT: Linear variable differential transformer, siirtymäanturi.

Murtolujuus:

Maksimaallinen vetokuormitus, joka materiaali kestää ennen murtumista.

$N$ : Newton. SI-järjestelmän suure, voiman yksikkö

Puristusjännitys:

Suurin puristusjännitys, jonka materiaali kestää murskautumatta.

SFS: Suomen standardit ry.

SNIF-NMR: The Natural Isotopic Fractionation. Vakaan isotooppianalyysin menetelmä, joka on yksi tehokkaimmista tavoista varmistaa elintarvikkeiden ja juomien aitous.

Sykli: Jakso, sarja, kierros tai kierto.  $J$ , jatkuva muutos, joka kuitenkin kiertää samaa kehää.

$T$ : Lämpötila  $C^\circ$ .

Testisetup: Testausmenetelmää varten erikseen kasattu kokoonpantu tai rakennettu kokonaisuus.

$t_r$ : Murtumisaika.

Tukes: Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.

$\varepsilon$ : Muodonmuutosnopeus.

$\varepsilon_{sc}$ : Vakaantilan virusmisnopeus.

$\sigma_{max - min}$ : Maksimi- ja miniminormaalijännitys.

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee yrityksille tarjottavia kolmannen osapuolen tuotetestaukseen liittyviä palveluja. Opinnäytetyössä tarkastellaan Eurofins Expert Services Oy:n toimintaa Suomessa. Tämä työ on rajattu koskemaan Eurofins Expert Services Oy:n mekaanisia testauspalveluja ja niiden kehittämistä. Nykyiset mekaaniset testaukset tyypillisesti perustuvat standardinmukaisiin vaatimuksiin ja sen lisäksi on mahdollista räätälöidä testauksia asiakkaan tarpeeseen soveltaen hyväksi havaittuja menetelmiä ja perusteita standardeista.

## 1.1 Työn tausta ja tarkoitus

Teollisuussektorilla valmistetussa tuotteessa laatu ja turvallisuus ovat merkittävässä ja kasvavassa roolissa. Sekä valmistaja että maahantuoja ovat vastuussa tuotteen vastaavuudesta standardien, asetusten, direktiivien ja kansallisten velvoitteiden vaatimuksiin. Tämä korostuu varsinkin teollisuudessa, jossa toimitaan monipuolisten teknologisten haasteiden parissa. Toiminta on riippuvainen alihankkijoiden laadukkaista valmistusprosesseista ja niiden tuloksena yhteistoisissa syntyvistä tuotteista. Teollisuudessa laatuvaatimusten täyttäminen omissa prosesseissa ei ole yksinomaan tehtaan sisäinen ponnistus, vaan se pitää sisällään niin raaka-aineiden kuin eri komponenttien toimittajien tuotteiden laadun. Laatuvaatimusten varmistus vaatii usein riippumattoman ja puolueettoman osapuolen osallistamisen tuotteiden laadun tarkistamiseen ja varmistamiseen.

Olemassa olevat sertifikaatit ja laadunvarmistusjärjestelmät tarjoavat puitteet, joiden avulla yritykset voivat tavoittaa tuotteissaan vaadittavan laadun ja osoittaa, että sekä tuotteet että tuotantoprosessit vastaavat vaadittavia vaatimuksia. Tuotannossa tämä prosessi voi usein tarkoittaa eri alihankkijoiden erillisten toimitusketjujen yhdistämistä, niin että eri osapuolet yhdistävät osaamisensa varmistukseen lopputuotteessa vaadittavan turvallisuuden ja soveltuvuuden käyttöolosuhteissa.

Testausprosessit on esitetty hyvin standardeissa muttei räätälöidyissä testeissä ja tämän takia prosessikaavio on avainasemassa. Prosessikaaviot luovat olennaisen lähtökohdan asiakaskohtaisten testien suunnittelulle ja räätälöinnille. Lisäksi ne voivat edistää uusia kontakteja, toimia Eurofins Expert Services Oy:n pohjana mekaanisten testausprosessien kehittämiseksi tai käydä lähtökohdana jatkotutkimuksille, jossa testausprosessia kehitetään tutkimuksen avulla.

Testausprosessin havainnollistaminen kaavioiden tasolla mahdollistaa testien prosessin suunnittelun asiakkaan yksilöllisiä tarpeita huomioiden. Lisäksi se mahdollistaa testien täsmällisemmän suunnittelun. Tämä puolestaan johtaa testausprosessin työntekijöiden tehtävien kustannustehokkaampaan organisointiin ja työkuorman tehokkaampaan jakoon asiantuntijan, asiakkuuden ja testaajan välillä. Määriteltyä vaatimustason kuvausta on taas mahdollista käyttää jatkossa myynnin edistämiseen asiakaskontaktoinnissa.

## 1.2 Tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Eurofins Expert Services Oy:n nykyistä testausprosessia sekä parantaa samalla asiakkaiden kokemuksia ja nostaa asiantuntijan roolia testien suunnitteluissa ja räätälöinnistä. Jotta testien prosessia voidaan kehittää, tehdään opinnäytetyössä näkyväksi testien prosessi käytännössä prosessikaavioiden avulla sekä kehitetään nykyiseen prosessiin selkeä kuvaus erinäisten testien vaatimustasoista.

Opinnäytetyön tavoite on kehittää nykyistä testausprosessia, luoda katsaus testausmenetelmiin ja testausprosesseihin ja näiden pohjalta tehdä tasokuvaus testausprosessin selkeyttämiseksi. Tasokuvauksen rakenteen avulla voidaan kuvata asiakkaalle testiä suunnitellessa, mihin kategoriaan testi sijoittuu ja mitä erilaisia testauksia on kannattava tehdä.



### 1.3 Eurofins Oy

Eurofins-konserni tarjoaa kansainvälisesti erilaisia testaus-, analyysi-, sertifiointi- ja asiantuntijapalveluita ympäri maailman. Eurofins-konserni toimii 900 laboratorion ja 62 000 asiantuntijan voimin 61 eri maassa. (Eurofins fact sheet 2024.)

Eurofins perustettiin vuonna 1987, kun Eurofinsin nykyinen pääjohtaja Gilles Martin osti Nantesin yliopiston professoreiden kehittämän testaustekniikan SNIF-NMR, jota käytetään useiden elintarvikkeiden ja juomien alkuperän, puhtauden varmistamiseen sekä huijausyritysten tunnistamiseen. Seuraavien vuosien aikana Eurofins Group kasvoi laajentamalla bioanalyttisiä teknologioita palvelukseensa laajempaa teollisuudenalaa. Nykyään Eurofins Group on johtava analyttisten palvelujen tarjoaja maailmassa.

Eurofins Group hankki vuonna 2018 VTT:n Expert Services Oy:n, jonka yrityskaupan yhteydessä asiantuntijat, laitteet ja asiakkuudet siirtyivät uudelle Eurofins Expert Services Oy:lle. Se on jaettu sisäisesti eri yksiköihin eri alojen osaamisen perusteella. Eurofins Expert Services Oy:n asiantuntijapalvelut sijoittuvat laajasti erilaisten teollisuudenalojen tarpeisiin. Yrityksen tarjoamia palveluita ovat muun muassa

- rakennusten toimivuus
- rakenteiden asiantuntijaselvityksiä
- vauriotutkimukset ja ongelmanratkaisut
- paloturvallisuus
- elintarvikekontaktimateriaalit
- venetekniikan asiantuntijapalvelut.

Eurofins Expert Service Oy on riippumaton ja puolueeton testaus-, tarkastus- ja sertfiointiorganisaatio. Yritys toteuttaa asiakkaiden toimeksiannot tasapuolisesti, luottamuksellisesti ja puolueettomasti.

Riippumattomuus varmistetaan huomioiden toimeksiannoissa henkilökotaiset, taloudelliset, organisatoriset ja toiminnalliset näkökulmat. Riippumattomuuden varmistamista ja hallintaa valvotaan yrityksen johdosta.

Eurofins Expert Services Oy:n sertfiointi-, testaus-, tarkastus- ja kalibroitipalvelut ovat oleellisin osin FINASin akkreditoimia. Akkreditoinnit kattavat yli 1000 erilaista standardia. Lisäksi Eurofins Expert Services Oy toimii usean direktiivin ja rakennustuoteasetuksen ilmoitettuna laitoksena, jolla tarkoitetaan EU:n virallisesti hyväksytyä laitosta todentamaan rakennustuotteiden vaatimustenmukaisuudet sekä tuote- ja tyyppihyväksynät.

## **2 Prosessi**

Yritykset käyttävät resurssejaan toimintoihin, jotka tuottavat asiakkaille merkittävää lisäarvoa. Kuvassa 1 havainnollistetaan prosessia ja sen kytkeytymistä asiakkaaseen.

Kuvassa 1 prosessi on suunniteltu kuvaamaan asiakkaalta asiakkaalle tapahtumaketjua. Tämä tarkoittaa, että asiakkaalta tuleva tilaus toimii syötteenä yritykselle. Yrityksen aikaansaama tuote tai palvelu toimii tuotoksena. Asiakas voi olla ulkoinen tai sisäinen, mutta se aina kohdistaa odotuksia, tarpeita tai vaatimuksia prosessille.

Tämä prosessi vastaanottaa syötteitä, joille luodaan arvoa prosessin aikana, mikä johtaa lopputuloksiin. Tämä arvonlisäys on yhteydessä asiakkaan odotuksiin, tarpeisiin tai vaatimuksiin, ja lopputuloksena voi olla tuote, palvelun ratkaisu tai asiakaskokemus.

Arvonlisäystä tavoitteleva prosessi rakentuu monista keskenään linkittyvistä tapahtumista. Näiden tapahtumien sarja voi vaihdella yksinkertaisesta monimutkaiseen, ja sen rakenne voi olla joko ennalta määrätty tai avoin.

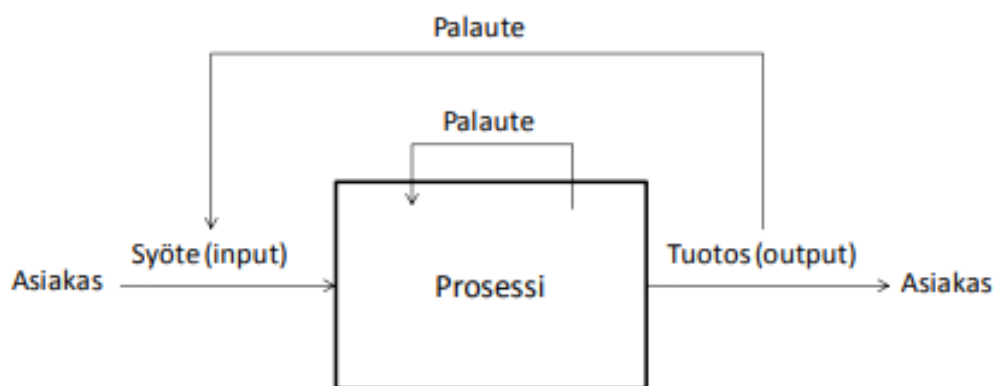
Prosessi vaatii erilaisia resursseja käyttöönsä ja hyödyntää niitä: materiaaleja, henkilöstöä, tuotantokykyä, taloudellisia varoja, välineitä ja informaatiota. Nämä voimavarat voivat kuulua yrityksen sisäisiin resursseihin tai olla ulkopuolelta hankittuja. Ne tuottavat menoja ja ovat aina määrällisesti rajallisia. (Martinsuo & Blomqvist 2010.)



Kuva 1. Yksinkertaistettu kuva prosessista (Martinsuo & Blomqvist 2010).

Johtamisen ytimessä prosessien kohdalla on yrityksen päämäärien mukaisesti määriteltyjen tavoitteiden asettaminen prosesseille, prosessien tuloksista kerättävän palautteen seuraaminen, ja tämän tiedon hyödyntäminen prosessien parantamiseen. Palautteen kerääminen kattaa paitsi lopputulosten suorituskyvyn arvioinnin (tavoitteiden saavuttamisen) myös prosessin aikana tapahtuvan toiminnan.

Kuva 2 havainnollistaa palautteen kytkentöjä prosessin ja sen syötteiden kehittämisessä. Kannusteet ja palkkiot, jotka linkittyvät prosessin päämäärien täyttämiseen, ovat tehokkaita työkaluja ohjata prosessia. Kun päämäärät on määritelty oikein ja niiden toteutumista mitataan ja seurataan asianmukaisesti, ne nousevat keskeiseen rooliin. Prosessin johtaminen ja ohjaus tulisi toteuttaa aktiivisesti sen kehityksen aikana. (Martinsuo & Blomqvist 2010.)



Kuva 2. Palautteen rooli prosessin ohjauksessa (Martinsuo & Blomqvist 2010).

Prosessi muodostuu sarjasta toisiinsa kytkeytyviä tehtäviä ja tapahtumia, jotka alkavat asiakkaan tarpeiden tunnistamisesta ja päättyvät näiden tarpeiden täyttämiseen. Prosessien kautta luodaan asiakkaalle arvoa, mikä korostaa tarvetta prosessien yhteensovittamiselle ja niiden jatkuvalla johtamiselle ja parantamiselle.

Hyvän prosessin tunnusmerkkejä tarkastellessa ovat muun muassa se, että hukka on tarkasti minimoitu prosessissa, prosessi on dokumentoitu ja kaikkien tiedossa sekä yhteisiä toimintatapoja noudatetaan. Hyvään prosessiin liittyy keskeisesti johtaminen; yksinkertainen toimintatapa tähän on eri mittareiden seuraaminen prosessissa. (Prosessin kehittäminen 2024.)

Prosessin tehostamiseen ja arviointiin liittyy selkeä kolmivaiheinen malli. Kun pyritään parantamaan mitä tahansa prosessia, ensimmäinen vaihe on perusteellinen nykytilan tarkastelu. Tässä vaiheessa yleensä luodaan prosessin yksityiskohtainen kuvaus ja selkeä prosessikaavio. Seuraavaksi suoritetaan perusteellinen prosessianalyysi, jonka tarkoituksena on tunnistaa mahdolliset ongelmat ja esittää ratkaisuja, jotka tukevat prosessin muutosta. Lopuksi laaditaan kattava kehittämissuunnitelma prosessin parantamiseksi ja optimoimiseksi. On ensiarvoisen tärkeää huolehtia siitä, että kaikki nämä vaiheet suoritetaan huolellisesti ja objektiivisesti, jotta varmistetaan prosessin kehittämisen onnistuminen. (Nissinen 2011: 21.)

### 3 Rakenteiden testaus

Staattinen testaus on olennainen osa materiaalien ja rakenteiden suorituskyvyn arviointia. Se sisältää kuormitustestit, joissa materiaaleihin tai rakenteisiin kohdistetaan jatkuvasti kasvavaa tai pakotettua siirtymää tai olosuhteiden muutoksia, jotka aiheuttavat sisäisiä jännityksiä, kunnes saavutetaan murtoraja tai esiintyy muodonmuutos. Tällaiset testit tarjoavat suunnittelijalle kestävyysmittausarvotietoja materiaalien lujuudesta, jäykkyydestä ja muodonmuutoksen käyttäytymisestä erilaisissa olosuhteissa. (Bregoli ym. 2021.)

Dynaamisessa testauksessa tutkitaan materiaalien ja rakenteiden käyttäytymistä muuttuvien kuormien alaisena, jotka voivat jäljitellä reaaliaikaisia käyttökuormituksia, kuten tärinää, iskuja ja toistuvia kuormituksia. Tämä testaustyyppi on erityisen tärkeä arvioitaessa rakenteiden kestävyyttä ja toimintakykyä ajan mittaan dynaamisissa ympäristöissä. Se auttaa tunnistamaan mahdolliset viikaantumisen ja väsymisen aiheuttajat, mikä on kriittistä turvallisuuden ja luotettavuuden kannalta. (Bregoli ym. 2021.)

Nämä kuvaukset tarjoavat perustan staattisen ja dynaamisen testauksen ymmärtämiselle ja soveltamiselle rakenteiden ja komponenttien testauksessa. Staattinen testaus tarjoaa perustiedot materiaalien lujuudesta ja muodonmuutoksesta, kun taas dynaaminen testaus laajentaa tätä ymmärrystä kattamaan materiaalien ja rakenteiden käyttäytymisen ajan mittaan ja vaihtelevissa olosuhteissa, mikä on välttämätöntä kestävien ja luotettavien rakenteiden suunnittelulle.

#### 3.1 Staattinen testaus

Tässä luvussa keskitytään materiaalin mekaaniseen käyttäytymiseen aksiaalisen jännityksen ja puristuksen olosuhteissa. Seuraavassa on esitetty kuvaus muutamasta staattisesta kokeesta, joita Eurofins Expert Services Oy tarjoaa. Vetokokeet staattisilla kuormilla voima-alueella 10N – 9000kN ja 10N-5000kN puristuksella.

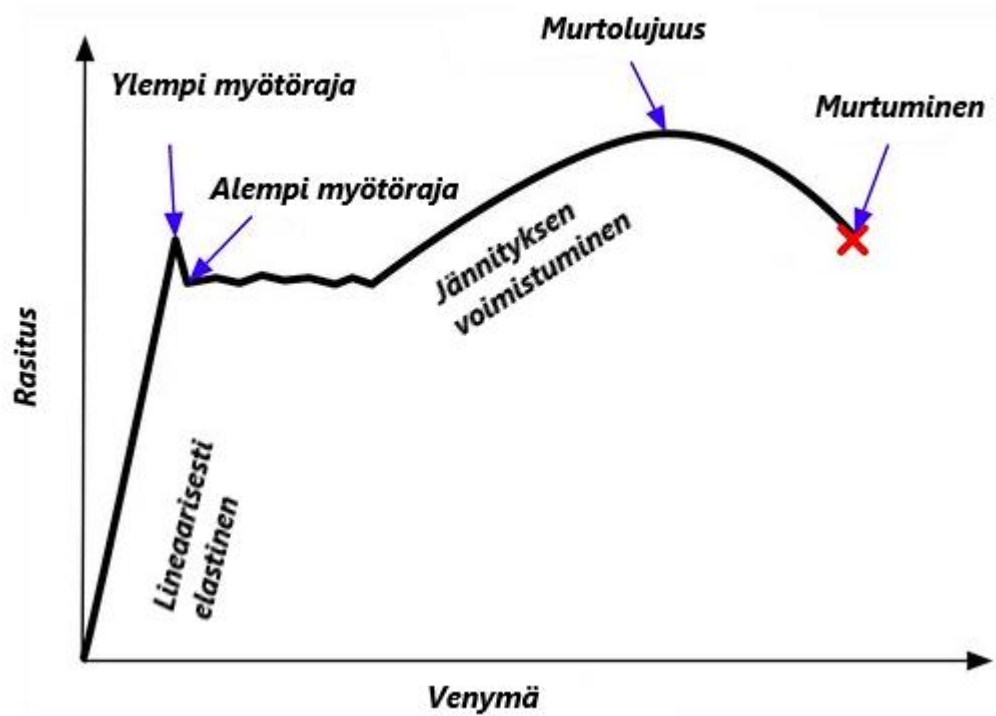
Materiaalin vetokokeessa standardinmukaiset tyypilliset koekappaleet (kuva 3), joiden poikkileikkauspinta-ala on luotettavasti määriteltävissä, kiinnitetään koestuskoneen leukoihin ja niihin kohdistetaan tasaisesti kasvavaa voimaa. Useimmiten standardeissa on myös sallittu erilaisten sauvojen muoto, aina kun ne täyttävät standardissa esitetyt vaatimukset. Nämä vaatimukset ovat useimmiten sidoksissa vauriomuotoon, eli kappale ei saa mennä laitteiston leuan kohdalta poikki ja poikkipinta-alan pitää pystyä määrittämään riittävän luotettavasti. (Bolton & Higgins 2021; Teräsvuori 2024.)



Kuva 3 Vetokokeen koekappaleita (DeWalt 2021.)

Vetokokeen tulokset esitetään jännitysvenymäpiirroksena kuvassa 4. Standardien mukaisilla sauvoilla määritetään niin sanonuttu insinöörikyrää, jossa poikkipinta-ala pysyy vakiona koko testauksen ajanlukuun ottamatta sauvoihin kohdistuvia suppeumia, jotka pienentävät tehollista poikkipinta-alaa. Useiden materiaalien venymäpiirroksen alussa on lineaarinen osa. Lineaarisen osan yhteydessä materiaali käytännössä palautuu alkuperäiseen muotoon, ilman että on syntynyt pysyviä muodonmuutoksia. Tämän lineaarisen alueen huippu on käytännössä materiaalin myötöraja. Jännitystä, jonka kohdalla lineaarinen osa päättyy, kutsutaan suhteellisuusrajaksi  $\sigma_p$ . Kimmoisella alueella eli kimmorajaan

$\sigma_E$  saakka venymä on täysin palautuva. Jos jännitys kasvaa myötörajaa suuremmaksi, sauvaan jää pysyvä venymä kuormituksen poiston jälkeen. (Karhunen 2023: 19; Teräsvuori 2024.)



Kuva 4. Venymäpiirros.

Suhteellisuusrajan jälkeen venymä alkaa kasvaamaan voimakkaammin. Tätä kutsutaan myötöalueeksi eli plastiseksi alueeksi, jossa venymän muutos on merkittävästi suurempi kuin jännityksen kasvu. Myötöalueen jälkeen kuormitusta tarvitsee taas suurentaa, jotta venymä kasvaisi. Kappaleen jännityksen saavuttaessaan maksimiarvonsa ennen kappaleessa tapahtuvaa kuroutumista kutsutaan murtolujuudeksi. Jos venymää edelleen kasvatetaan, alkaa kuroutuminen ja sauva lopulta murtuu. (Karhunen 2023: 19.)

Vetokoe on loistava menetelmä laadunvalvonnassa, sillä se on mahdollista suorittaa standardisoiduissa olosuhteissa. Tämän ansiosta tulokset ovat vertailukelpoisia ja luotettavia, mikä on olennaista materiaalien laadun varmistamisessa. (Bolton & Higgins 2021: 31.)

Puristustestit ovat myös keskeinen osa staattisia testejä. Joidenkin materiaalien käyttäytyminen puristuksessa poikkeaa huomattavasti vetokäyttäytymisestä, ja joissakin tapauksissa näitä materiaaleja käytetään ensisijaisesti puristusjännitysten kestämiseen. (Dowling 2007: 134.)

Kuvassa 5 on esitetty betoninäyte testauksen jälkeen. Näitä testejä käytetään pääasiassa valuraudan ja betonin testaamiseen, koska näitä materiaaleja käytetään todennäköisemmin puristusvoimien alaisena kuin vetovoimien vaikutuksessa. (Bolton & Higgins 2021: 48.)



Kuva 5. Betonin puristustestin tulos.



Elastisille metalleille ei ole tarkkaan määriteltyä murtumispistettä, mutta hauraiden materiaalien kohdalla murtopuristusjännitys voidaan mitata tarkasti. Materiaali rikkoutuu äkillisesti, tavallisesti moninkertaisen leikkauksen seurauksena 45 asteen kulmassa puristussuuntaan nähden. (Bolton & Higgins 2021: 48.)

### 3.2 Dynaaminen testaus

Dynaamiset kokeet ovat olennaisia, jotta ymmärretään, miten rakenteet käyttäytyvät muuttuvien ja toistuvien kuormien alaisena. Ne simuloivat kuormituksia, joita rakenteet kohtaavat todellisessa maailmassa, kuten liike, tuuli ja seismiset tapahtumat. Dynaamisten testien avulla insinöörit voivat ennustaa rakenteiden käyttäytymistä, tunnistaa potentiaalisia heikkouksia ja varmistaa, että ne kestävät suunnitellut kuormitusolosuhteet.

Iskusitkeys on muun muassa teräksen ominaisuus, mutta tämä testaus tehdään myös muoveille ja komposiiteille, ja se on haurautta etenkin kylmissä olosuhteissa tai sitkeyttä kuvaava käsite, mutta sitä ei voida suoraan verrata teräksen muovattavuuteen tai murtovenymään. Matalalujuksinen ja hyvän muodonmuutoskyvyn omaava teräs voi käyttäytyä hauraasti, kun taas suurilujuksinen heikosti muodonmuutoskykyinen teräs sitkeästi. Iskusitkeys on materiaalinvalinnassa yksi tärkeimpiä kriteereitä, sillä mitä parempi iskusitkeys materiaalilla on, sitä vaikeammat olosuhteet, suuremmat jännityskeskittymät ja isommat alkuviaat se kestää. (Mutanen 2014: 10.) Kuva 6 on Charpy V -laitteistosta Eurofins Expert Services Oy:n tiloissa.



Kuva 6. Charpy V -laitteisto.

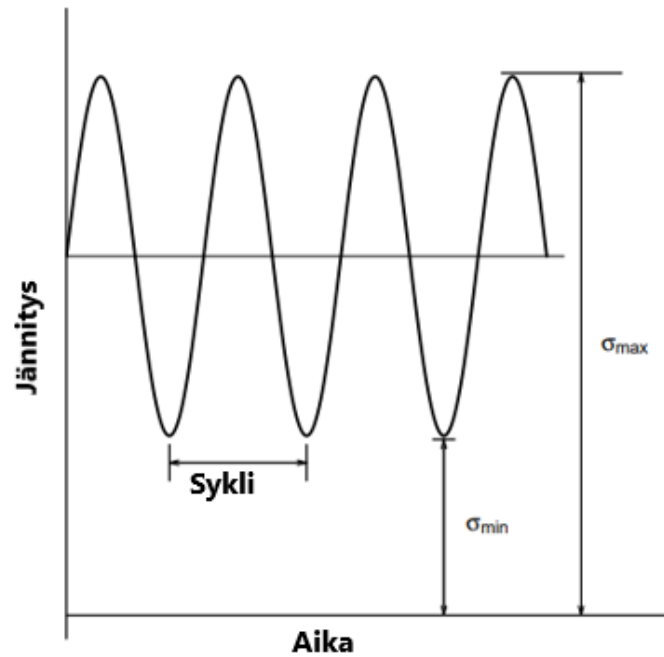
Iskusitkeys ei ole materiaalin ominaisuus, joka voidaan määrittellä yksiselitteisesti, koska se vaihtelee muun muassa kappaleen koon, kuormituksen nopeuden ja lämpötilan mukaan. Se voidaan määrittää useilla eri metodeilla, mutta yleensä materiaalin iskusitkeys ilmoitetaan Charpy V -kokeen tuloksena: vähimmäisiskuenergiana tietyssä lämpötilassa. (Mutanen 2014: 10.)

Iskukoe muodostaa keskeisen testausmenetelmän metallien mekaanisten ominaisuuksien määrittelyssä, erityisesti materiaalin kyvyssä vastustaa nopeita ja äkillisiä iskuja. Tämä testi tarjoaa tärkeää tietoa metallien sitkeydestä ja iskunkestävyydestä, mikä on olennaista erityisesti sovelluksissa, jossa materiaalilta vaaditaan kestämään äkillisiä kuormituksia tai matalia lämpötiloja, kuten metallirakenteissa ja komponenteissa.

Koneiden, ajoneuvojen ja rakenteiden komponentit altistuvat usein toistuville kuormituksille, ja tästä johtuvat sykliset rasitukset voivat johtaa materiaalien mikroskooppisiin fyysisiin vaurioihin. Jopa materiaalin murtolujuutta huomattavasti alhaisemmilla jännityksillä mikroskooppiset vauriot voivat aiheuttaa jatkuvan syklisen kuormituksen myötä, kunnes ne kehittyvät halkeamiksi tai muiksi makroskooppisiksi vaurioiksi, jotka johtavat komponentin rikkoutumiseen. Tätä syklisen kuormituksen aiheuttamaa vaurioitumis- ja vikaantumisprosessia kutsutaan väsymiseksi. (Dowling 2007: 391.)

Muodonmuutosta, siirtymiä tai venymää kappaleessa voidaan helposti seurata useilla laitteilla. Tarkimmissa menetelmissä mitataan koekappaleen pintaosassa tapahtuvaa venymää venymäliuska-antureilla muun muassa. Nykypäivänä voidaan käyttää DIC-anturia (Digital Image Correlation), joka sallii suurien pintojen seuraamisen, esimerkiksi lommahtamisen tai muun makro tasolla tapahtuvan muutoksen. Makro-tason (silmin näkyviä) muutoksia voidaan seurata esimerkiksi LVDT-antureilla, kun taas mikrotason muutoksia voidaan seurata ekstensometreillä tai venymäliuskoilla. (Kuhn & Medlin 2000; Teräsvuori 2024.)

Yleisin väsymistestauksen muoto tunnetaan nimellä vakioamplitudiväsymistestaus. Tässä testauksessa materiaalinäyte joko venytetään tai puristetaan määritettyyn tasoon asti. Kun testattuna on useita kuormitustasoja ja jokaiselle kuormitustasolle on oma syklimäärä, voidaan muodostaa SN-käyrä. Suurimman jännityksen ja alemman jännitystason välillä syklitetään niin kauan, kunnes huomataan materiaalissa vaurio, joka tyypillisesti esiintyy murtumana materiaalissa. (King ym. 2016) Kuvassa 7 esitetään graafinen kuva tästä syklitysmenettelystä.  $\sigma_{\max}$  on testauksen aikana käytetty suurin normaalijännitys ja  $\sigma_{\min}$  pienin normaalijännitys.



Kuva 7. Vakioamplitudiväsytykskoe (King ym. 2016).

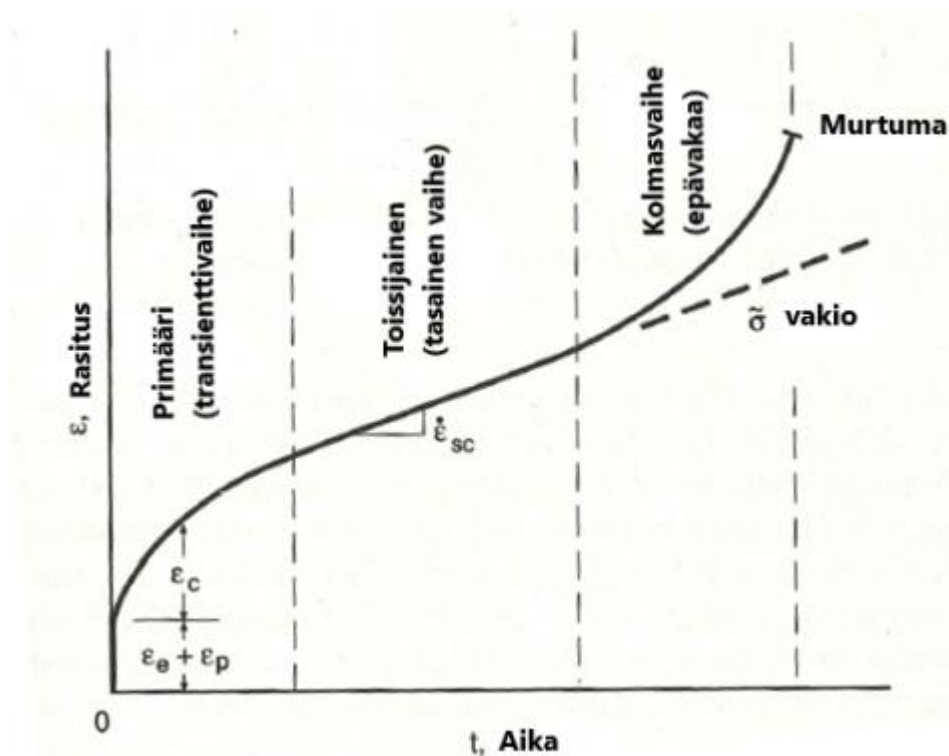
Virumakoe (creep-test), on materiaalitieteessä käytetty testausmenetelmä, jolla tutkitaan materiaalin käyttäytymistä pitkäaikaisen staattisen kuormituksen alaisena standardissa tai asiakkaan ennaltamääräytyissä olosuhteissa. Testissä materiaalinäyte altistetaan jatkuvalla kuormalle ja sitä pidetään tietyssä lämpötilassa ja ilmankosteudessa. Kuvassa 8 on pitkäaikaisessa puristuksessa oleva koekappale Eurofins Expert Services Oy:n tiloissa.



Kuva 8. Creep-test putkelle kuuden kuukauden testissä.

Creep-testauksen aikana mitataan materiaalin muodonmuutosta ajan funktiona. Testi voi kestää useita tunteja, päiviä tai jopa vuosia riippuen testattavan materiaalin ominaisuuksista ja testin tavoitteista.

Creep-testin vaiheet voidaan luokitella kolmeen kategoriaan, kuten kuvassa 9 on esitetty. Creep-testin alussa elastiset ja plastiset venymät ilmenevät lähes välittömästi. Muodonmuutosnopeuden  $\epsilon$  ja  $t$ :n välisen kuvaajan kaltevuus on aluksi suhteellisen suuri. Muodonmuutosnopeus pienenee ja muuttuu usein suunnilleen vakioksi, johon virumisen primääri- tai transienttivaiheen sanotaan päättyvän ja sekundaarinen tai vakaan tilan vaiheen alkavan. Toissijaisen vaiheen lopussa muodonmuutosnopeus  $\epsilon$  kasvaa epävakaasti, kun murtumispiste lähestyy, ja tätä osaa kutsutaan kolmanneksi vaiheeksi. Yksittäisen virumiskokeen tulokset voidaan tiivistää seuraavilla neljällä suureella: jännitys  $\sigma$ , lämpötila  $T$ , vakaantilan virumisnopeus  $\epsilon_{sc}$  ja murtumisaika  $t_r$ . (Dowling 2007: 776.)



Kuva 9. Creep-testin vaiheet (Dowling 2007: 775).

### 3.3 Standardit

Erilaisten testien standardisointi on tärkeää, sillä se mahdollistaa vertailukelpoisen, luotettavan ja vaatimustenmukaisen lähestymisen materiaalien testaamiseen maailmanlaajuisesti. Standardit määrittävät testausmenetelmät ja laatuvaatimukset ja takaavat sen myötä materiaalien turvallisuuden sekä kestävyysden. Kansainväliset organisaatiot kehittävät jatkuvasti näitä standardeja. Niitä ovat muun muassa ISO (Kansainvälinen standardisointijärjestö), CEN (Euroopan standardisointikomitea) ja ASTM International (American society for testing and materials). ISO keskittyy maailmanlaajuisen standardien kehittämiseen. CEN tuottaa standardeja, jotka ovat erityisesti hyväksytyjä EU- ja EFTA-maiden sisällä. (Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa 2024.)

Suomessa samoin kuin muissakin CEN:n jäsenvaltioissa on otettu kansalliseen käyttöön eurooppalaiset standardit, joista Suomessa vastaa standardoinnin keskusjärjestö SFS. Kun CEN tuottaa julkaisuja, standardien nimityksissä käytetään EN-tunnusta, joka viittaa niiden eurooppalaiseen alkuperään.

ISO 6892 on kansainvälinen standardi, joka tarjoaa ohjeet metallimateriaalien vetolujuuden testaamiseen. Tämä standardi on jaettu kahteen osaan: ISO 6892-1, joka keskittyy vetotestaukseen huoneenlämmössä, ja ISO 6892-2, joka käsittelee korkean lämpötilan vetotestejä. ISO 6892 edistää globaaleja käytäntöjä tarjoamalla yhdenmukaiset menetelmät vetotestien suorittamiseksi mukaan lukien kuormituksen soveltaminen, näytteen valmistus ja testitulosten raportointi. Sen avulla voidaan varmistaa, että materiaalien testitulokset ovat vertailukelpoisia kansainvälisesti. (SFS-EN 6892-1 2024: 9–22.)

ASTM E8/E8M on myös laajalti käytetty standardi, joka kattaa metallien vetotestausmenetelmät. Se on kehitetty antamaan yksityiskohtaiset ohjeet vetokokeen suorittamiselle mukaan lukien samat ohjeet kuin ISO 6892. Ero ASTM E8/E8M:n ja ISO 6892:n välillä voidaan tiivistää maantieteellisesti. ASTM-standardeja käytetään erityisen paljon Pohjois-Amerikassa. (SFS-EN 6892-1 2024: 9–22.)

Charpy V -iskukokeen, joka on standardoitu menetelmä materiaalien iskusitkeyden mittaamiseksi, kattaa eurooppalainen standardi EN ISO 148-1. Suomessa tämä standardi tunnetaan nimellä SFS-EN ISO 148-1, Metallimateriaalien iskusitkeys. Osa 1: Charpy-iskukoe (V-muotoisella lovella). Tämä standardi määrittelee menettelyn Charpy V -notkon iskukokeen suorittamiseen, jolla arvioidaan metallimateriaalien iskusitkeyttä tiettyjen parametrien, kuten lämpötilan ja notkon muodon, alaisena. (SFS-EN ISO 148-1:2016: 7–18.)

Virumakokeita, jotka tunnetaan myös creep-testeinä eli materiaalien pitkäaikaisen kuormituksen alaisena tapahtuvaa muodonmuutosta mittaavina testeinä, ei ole sidottu yhteen yksittäiseen SFS-standardiin. Virumakokeiden menetelmät ja

vaatimukset voivat vaihdella materiaalityypin mukaan. Erityisesti metallien virumakokeita käsittelevät standardit, jotka kuuluvat ISO 204 -sarjaan kansainvälisellä tasolla. (ISO 204:2023: 8.)

Kun kyse on erityisesti metallien virumakokeista, vastaava standardi on esimerkiksi ISO 204 Metallimateriaalien - Virumakokeet korkeassa lämpötilassa. Suomessa tämä standardi on saatettu kansalliseen käyttöön SFS-ISO 204-merkinnällä. Tämä standardi antaa ohjeet siitä, miten suoritetaan virumakokeita metallimateriaaleille korkeissa lämpötiloissa. (ISO 204:2023.)

### 3.4 Raportointi

Raportoinnin tavoitteena on tarjota yksityiskohtainen ja selkeä yhteenveto testausprosessista, tuloksista, niiden analyysistä sekä johtopäätöksistä. Mekaanisen testauksen raportointi on keskeinen osa tuotekehitystä, laadunvalvontaa ja tutkimusta, sillä se mahdollistaa tulosten jakamisen ja hyödyntämisen laajemmin (Raj ym. 2001.)

Hyvin laadittu raportti on arvokas dokumentti, joka palvelee useita tarkoituksia. Se toimii todisteena suoritetusta työstä, mahdollistaa tulosten vertailun ja seurannan ajan myötä sekä auttaa tunnistamaan parannuskohteita prosessissa tai tuotteessa.

Raportin tulisi pitää sisällään seuraavat kohdat:

- johdanto pitäen sisällään kuvauksen testauksen tavoitteista ja merkityksestä
- yksityiskohtainen kuvaus käytetyistä testausmenetelmistä, laitteista ja asetuksista
- selkeä esitys testituloksista, mukaan lukien graafiset esitykset, valokuvat ja taulukot
- syvällisempi analyysi testituloksista, niiden merkityksestä ja mahdollisista poikkeavuuksista



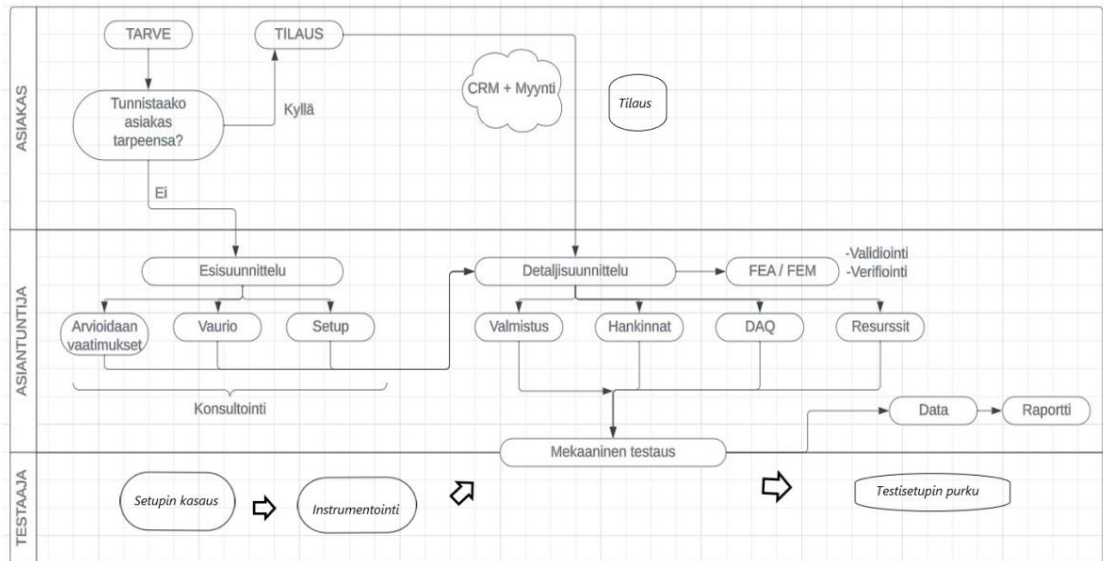
- yhteenveto havainnoista ja niiden merkityksestä projektin tai tuotteen kehitykselle sekä suositukset jatkotoimeenpiteille. (Westbrook 1991.)

Kun raportti on valmis, sen tulisi olla selkeä, ytimekäs ja helppolukuinen, jotta kaikki mukaan lukien ei-tekniikan lukijakunta voisivat ymmärtää sen sisällön. Hyvin suunniteltu raportti ei ainoastaan jaa tietoa, vaan myös vahvistaa organisaation asiantuntemusta ja luotettavuutta. Sisällyttämällä lähteitä raporttiin vahvistaa myös sen tieteellistä pohjaa ja antaa lukijalle mahdollisuuden syventää ymmärrystä aiheesta.

## **4 Nykytilan kuvaus**

Prosessikaavioiden käyttö on tehokas tapa havainnollistaa ja ymmärtää monimutkaisia prosesseja, kuten kuvassa 10 on esitetty. Ne tarjoavat visuaalisen esityksen prosessin eri vaiheista, niiden järjestyksestä sekä vaiheiden välisistä suhteista. Prosessikaavioita hyödyntämällä voidaan esittää selkeästi, miten yksittäiset prosessin osat liittyvät toisiinsa ja miten ne yhdessä muodostavat kokonaisuuden.

Kaavio auttaa hahmottamaan prosessin kokonaisuuden ja tunnistamaan kriittiset vaiheet, mahdolliset pullonkaulat tai parannuskohteet. Lisäksi se on tehokas väline viestittäessä tutkimuksen tuloksia ja prosessin toimintaa muille, sillä visuaalinen esitys on usein tekstiä helpommin lähestyttävä ja ymmärrettävä.



Kuva 10. Prosessikaavio mekaanisen testauksen prosessista.

Asiakkaan tarpeiden tunnistaminen on keskeinen lähtökohta mekaanisen testauksen suunnitteluprosessissa. Asiakas saattaa jo tiedostaa tarkasti, mitä testejä heidän tuotteensa tai rakenteensa tarvitsee, ja ne voivat olla standardinmukaisia tai alan erityisiä testauksia. Samalla asiakkaalla voi olla vahva halu oppia lisää tuotteensa tai rakenteen ominaisuuksista asiantuntijan avulla.

Jos asiakkaan tarpeiden tunnistamisen yhteydessä on havaittu, ettei asiakkaalla ole selkeää käsitystä omista tarpeistaan, asiantuntija siirtyy tarjoamaan asiakkaalle konsultointipalvelua. Tässä konsultointivaiheessa asiantuntija selvittää asiakkaan kanssa ja arvioi tarkasti, mitä vaatimuksia testaukselle on standardeissa, millainen mahdollinen vaurio on syntynyt tuotteessa, mikäli kyseessä on vaurioselvityksen kohde tai rakenteessa, sekä miten testijärjestely tulisi toteuttaa.

Konsultoinnista siirrytään testien alustavaan suunnitteluun, jonka tarkoitus on luoda parempaa ymmärrystä siitä, millainen testikokonaisuus tarvitaan täyttämään asiakkaan tarpeet. Hyödyntäen CAD-mallinnusta ja FEA/FEM-analyysejä (Finite element method/analysis) voidaan esittää alustava testiympäristö ja todentaa, että testejä on mahdollista tehdä. Analyyseillä selvitetään kappaleisiin

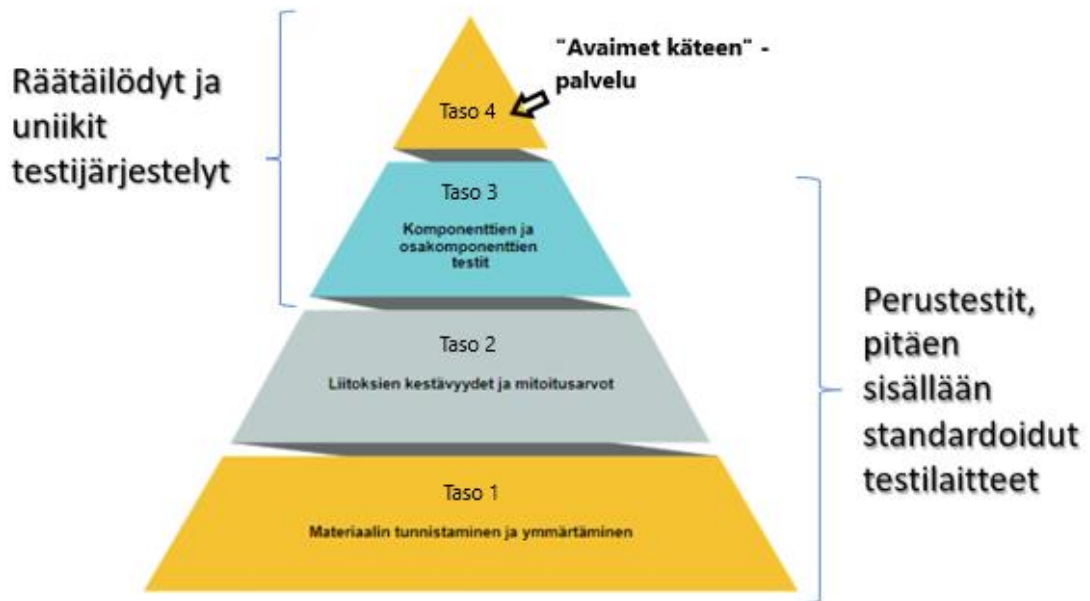
tai rakenteisiin kohdistuvien voimien suuruudet, testiympäristön kestävyys ja toiminta testauksen aikana sekä mahdolliset seuraukset. CAD-mallintamisen ja FEA/FEM-analyysin avulla testisetupin ja -jigin rakentaminen on mahdollista tehdä erittäin yksityiskohtaisesti ottaen huomioon kappaleen tutkittavat kohdat ja se, mihin voima tai liike on kohdistettava.

Yksityiskohtaisen suunnittelun alkuvaiheessa on käytävä läpi käytössä olevat resurssit: laitteisto, anturointi ja tiedonkeruu. On tärkeä määrittää instrumentoinnin voima-alueet testilaitteiston ja -kappaleen vaatimusten mukaan sekä varmistaa antureiden ja laitteistojen kalibroinnit. Tämän lisäksi olosuhteiden toteuttaminen testikappaleelle on myös otettava huomioon testiympäristön suunnittelussa, jos testiolosuhteet poikkeavat laboratorion normaaliolosuhteista.

## **5 Testauksen vaatimustasojen sijoitus prosessiin**

Tässä luvussa tuodaan esille kuvan 11 suunniteltu hierarkia. Tarkoitus on selvittää, mitkä laitteistot ovat sidoksissa mihinkin tasoon kuvauksessa. Luvussa selkeytetään sitä, minkälaista laitevalikoimaa voidaan soveltaa vaatimustasoihin ja millä perusteella.

Mekaanisten testausten pyramidihierarkia tarjoaa selkeän ja systemaattisen kehyksen, joka auttaa ymmärtämään eri testausvaiheiden merkitystä ja roolia tuotekehitysprosessissa. Hierarkiassa on neljä päätasoa, jotka edustavat testauksen monimutkaisuuden ja tuotteen luotettavuuden kasvua pyramidin pohjasta huipulle. Kunkin tason kuvauksessa otetaan huomioon laitteiston saatavuus ja soveltuvuus näihin vaiheisiin tarjoten näkemys siitä, miten Eurofins Expert Services Oy:n laitteisto tukee eri testausprosesseja.



Kuva 11. Testauksien eri tasot.

**Taso 1** muodostaa perustan mekaanisten testausten pyramidihierarkialle. Tämän tason tavoitteena on tarjota perustiedot materiaalien ominaisuuksista, kuten lujuudesta ja kestävydestä. Tällä tasolla suoritettavat testit ovat ensisijaisesti materiaalin laadunvalvontaa sekä tuotteen materiaalin valintaprosessin alkuvaiheita. Ne antavat ensimmäisen käsityksen siitä, kuinka materiaali käyttäytyy suunnitelluissa olosuhteissa. Käytettävissäsi olevat veto- ja puristuskoneet, joiden voima-alue on 10 N – 9000 kN vedoissa ja 10 N – 5000 kN puristuksella, ovat avainasemassa näiden testien suorittamisessa.

**Taso 2** laajentaa materiaalien perustestauksen erilaisten liitoksien testaukseen, esimerkiksi hitsaus-, liimaus- ja mekaanisiin liitoksiin. Liitosten testaus on tärkeää, sillä liitokset ovat usein rakenteiden heikkoja kohtia. Vetokoneita voidaan käyttää liitosten veto- ja väsymislujuuden testaamiseen, kun taas puristuskoneet soveltuvat liitosten puristuskestävyyden arviointiin. Tämän vaiheen testit antavat arvokasta tietoa liitosten suunnittelusta ja parantavat ymmärrystä siitä, kuinka eri materiaalit käyttäytyvät yhdessä.

**Taso 3** keskittyy rakenteiden, komponenttien ja alikokoonpanojen testaukseen. Tämän tason testit kattavat alatasot pyramidissa ja dynaamiset kuormitukset, väsytestit sekä creep-testit, jotka simuloivat tuotteen kuormituksia elinkaaren aikana. Testauksessa käytetään usein räätälöityjä testijärjestelyjä vastaamaan tuotteiden uniikkeihin vaatimuksiin ja tarjoamaan tietoa siitä, kuinka komponentit toimivat yhdessä osana suurempaa kokonaisuutta. Tämä vaihe on ratkaiseva tuotteen kehitysprosessissa tarjoten tutkimus- ja kehitystiimeille olennaista tietoa tuotteiden innovointiin ja parantamiseen.

**Tason 4** "avaimet käteen" -testauspalvelu tarjoaa asiakkaalle täydellisen projektivastuun ulkoistuksen Eurofinsille, kattavan koko testausprosessin suunnittelusta toteutukseen. Palvelu sisältää projektinhallinnan, suunnittelun, lujuuslaskennan, alihankintavalmistuksen, sekä tulosten käsittelyn ja raportoinnin. Tämä mahdollistaa ainutlaatuisten ja standardien ulkopuolisten testijärjestelyjen hyödyntämisen ja sisältää eri osastoilta tarjottavat lisäpalvelut, kuten akustiikan äänimittaukset tai kemian analytiikkakokeet.

## **6 Tasojen yhdistäminen testeihin**

Tässä luvussa analysoidaan, miten vaatimustasojen havainnollistaminen mekaanisten testien ja testauksissa käytettyjen laitteiden tasolla integroituu osaksi kehitysprosessia. Eurofins Expert Services Oy kehittää asiakkailleen tarjoamansa testauspalvelua erityisesti asiakasyritysten tutkimus- ja kehitystiimien näkökulmasta. Testausprosessin kehittäminen parantaa asiakasyrityksen käsitystä tuotteensa testaamisesta ja asiantuntijoiden osallistamista palvelun tarjoamiseen.

Asiakkaan ja yrityksen välinen testausprojekti alkaa tyypillisesti ideasta, joka on syntynyt joko asiakkaan aloitteesta tai Eurofins Expert Services ja asiakkaan välisestä yhteistyöstä. Taso 1:ssä asiakas tuo esiin alustavan suunnitelman tai konseptin, jota hän haluaa kehittää. Tässä vaiheessa asiakas on saattanut jo suorittaa markkinatutkimuksen ja päättänyt, miten tuote tulisi valmistaa. Tasoilla

1 ja 2 Eurofins Expert Services astuu mukaan prosessiin tarjoamalla standardeitua materiaalitestejä, materiaalituntemusta sekä voimien ja muiden fyysisten ominaisuuksien mittauksia. Tasojen 1–2 testit ja testilaitteet perustuvat määriteltyihin standardeihin, jotka varmistavat testausprosessin luotettavuuden ja vertailukelpoisuuden.

Fyysisen tuotteen, kuten esimerkiksi tuulivoimalan lavan, testausprosessi on monivaiheinen ja vaatii huolellista suunnittelua sekä toteutusta. Tuulivoimalan lapojen valmistuksessa yleisesti käytetyt materiaalit, kuten lasikuituvahvisteinen polyesteri tai epoksi, tarjoavat sekä kestävyyttä että joustavuutta, jotka ovat olennaisia lavan toiminnallisuuden kannalta.

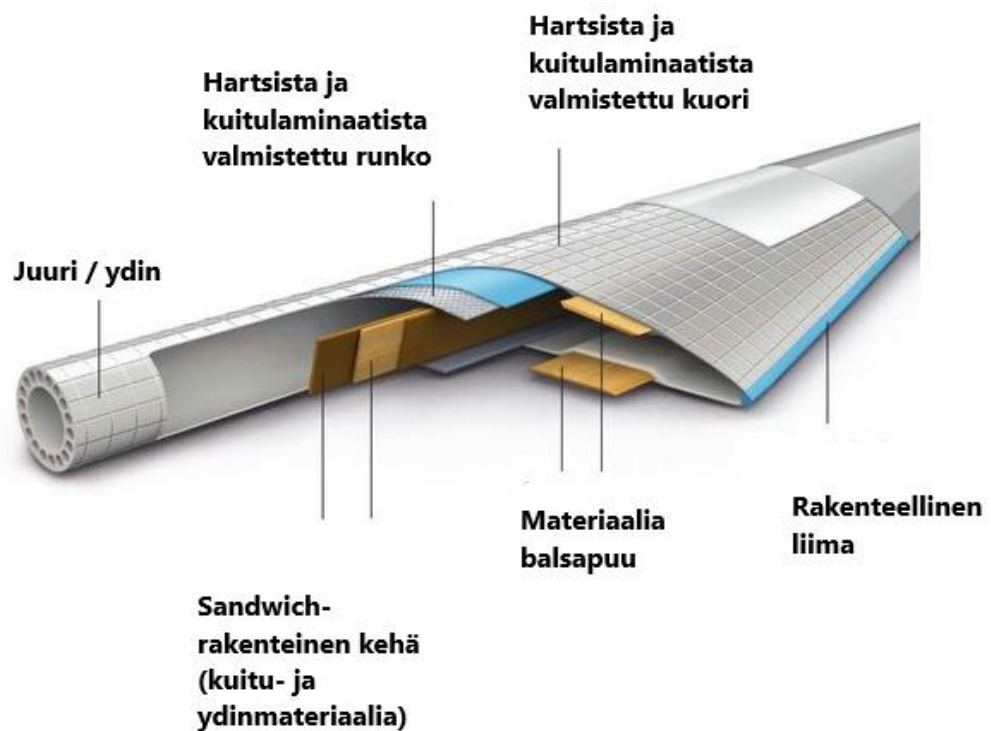
Tasolla 1 keskitytäänkin esimerkiksi tuulivoimalan lavan kiinnityksen perustan selvittämiseen, testaus kohdistuu lavan kiinnitykseen napaan käyttäen pultteja kuten kuvassa 12. Tässä vaiheessa tehdään perusteelliset materiaalitestit ja fyysisten ominaisuuksien mittaukset, kuten vetokokeet, jotka ovat kriittisiä varmistettaessa lavan kiinnityksen luotettavuutta ja turvallisuutta. Vetokokeilla arvioidaan pulttien kykyä vastustaa voimia, jotka saattavat aiheuttaa niiden venymistä tai murtumista käytön aikana, mikä on olennaisen tärkeää lavan pitkäaikaisen kestävyuden kannalta.



Kuva 12. Lavan kiinnityspultit (How is wind blade bolted to wind wheel hub).

Siirryttäessä taso 2:een, testausprosessi syvenee esimerkiksi tutkimaan lavan erilaisia komposiittiliitoksia erityisesti keskittyen liimausliitosten vahvuuteen. Tässä vaiheessa suoritettavat vetokokeet on suunnattu selvittämään liitosten kykyä yhdistää lavan eri osia, mikä on kriittistä lavan rakenteellisen toimivuuden kannalta. Liimausliitosten testausprosessissa arvioidaan liitosten vahvuutta ja kestävyyttä erilaisissa olosuhteissa varmistamalla, että ne täyttävät vaaditut standardit.

Kuvassa 13 on havainnollistettu tuulivoimalan lavan rakennetta ja samalla esitetty erilaiset kantavat rakenteet, joita on mahdollista testata tason 2 mukaisilla laitteilla ja menetelmillä. Useimmiten näissä testauksissa on edelleen käytössä vallitsevia alan standardeja.



Kuva 13 Tuulimyllyn lavan rakenne (Franco 2016).

Taso 3:ssa testauksen luonne tarkentuu merkittävästi, sillä tässä vaiheessa asiakas tuo mukanaan yksityiskohtaisen tuotteen suunnittelun, joka voi sisältää asiakkaan aikaisempia simulointeja. Eurofins Expert Services tarjoaa tässä vaiheessa palveluita, jotka keskittyvät suunnittelun tukemiseen, tuotteen validointiin ja testijärjestelyjen suunnitteluun, mukaan lukien staattiset, dynaamiset ja olosuhdetestaukset.

Esimerkin mukaisesti tuulivoimalan lavan testausprosessissa taso 3:een huomio siirtyy materiaalien kykyyn kestää väsymistä eli niiden suorituskykyyn pitkäaikaisen ja jatkuvasti muuttuvan kuormituksen alaisena. Tämä vaihe on erityisen kriittinen, sillä tuulivoimalan lapojen on kestettävä monenlaisia voimia ja olosuhteita koko niiden käyttöajan, mukaan lukien voimakkaat tuulet, säävaihtelut ja mekaanisen rasituksen. Tasoon 3 voi sisällyttää rakenteiden osia tai osakokonaisuuksia. Useimmiten tasossa 3 siirrytään jo testauksiin, joihin veto- ja puristuskoneiden omat leaut ja kiinnitysmenetelmät eivät enää sovellu. Tässä vaiheessa on useimmiten jo tarvetta erilaisille testijärjestelyille, jotka sisältävät suunnittelua ja lujuuslaskentaa sen todistamiseksi, ettei testijärjestely aiheuta näytteelle epäsuotuisia kuormituksia.

Tason 4 testausprosessi edustaa kattavaa "avaimet käteen" -palvelua, jossa Eurofins Expert Services Oy ottaa kokonaisvastuun projektista asiakkaan puolesta. Tässä palvelutasossa asiakas ulkoistaa testaustehtävän kokonaisvaltaisesti Eurofinsille, joka hallinnoi koko testausprosessia alusta loppuun. Tämä taso tarjoaa asiakkaalle huomattavia etuja, sillä se vapauttaa heidät projektinhallinnan ja teknisten yksityiskohtien huolehtimisesta antaen heille mahdollisuuden keskittyä ydinliiketoimintaansa.

Palveluprosessi alkaa projektinhallinnasta, jota johtaa kokenut pääasiantuntija. Se sisältää tarvittavien resurssien, kuten aikataulun, budjetin ja henkilöstön hallinnan sekä projektin tavoitteiden määrittelyn yhdessä asiakkaan kanssa. Seuraavaksi suoritetaan suunnitteluvaihe, johon kuuluu tuotteen tai rakenteen testausta varten tarvittavien testijärjestelyjen suunnittelu mukaan lukien lujuuslaskenta, jolla varmistetaan testattavan kohteen soveltuvuus testiprosessiin.



Kun suunnittelu ja laskelmat ovat valmiina, siirrytään alihankintavalmistukseen ja testauksen hallintaan. Tämä vaihe sisältää tarvittavien komponenttien ja materiaalien hankinnan sekä testauslaitteiston valmistelun varmistuen, että kaikki on valmiina testausta varten.

Testausprosessin päätyttyä Eurofinsin Expert Services Oy:n asiantuntijat käsittelevät saadut testitulokset ja laativat kattavan raportin, joka sisältää analyysin testituloksista sekä suositukset jatkotoimenpiteiksi. Asiakas saa käyttöönsä koko testausprosessin tulokset selkeässä ja ymmärrettävässä muodossa.

Suomessa tuotekehitystä suorittavat erilaiset insinööritoimistot sekä yritykset itsenäisesti. Useimmiten tuotekehitysorganisaatioissa on korkea FEA/FEM-mallintamisen ja lujuuslaskennan ymmärrys, joka on selkeä vahvuus. Kuitenkin on mainittava, että tehdessä FEA/FEM-simulointeja tai lujuuslaskentaa, reunaehdot ovat oleellisessa roolissa tuloksien oikeellisuudessa ja voivat aiheuttaa merkittäviä poikkeamia tuloksiin. Reunaehtoina käsitetään luonnollisesti voimien määrittämiset, kiinnityspisteiden ehdot sekä materiaalitiedot. Laskentaohjelmilla on usein omat materiaalikirjastot, joita käytetään laskennoissa, jotka eivät välttämättä perustu tutkimustuloksiin ja joita harvoin kalibroidaan tai arvioidaan. (Teräsvuori 2024.)

Tämä tarkoittaa sitä, että simuloinnin tulokset voivat merkittävästi poiketa todellisista kuormituksista ja aiheuttaa ali- tai ylimitoitusta. Testauksien tarkoituksena on tuottaa ajankohtaisia materiaalimalleja sekä dataa, jonka avulla asiakkaiden tuotekehitysorganisaatiot voivat kalibroida simulaatiomallejaan esimerkiksi eri liitosten suhteen. Datan kerääminen on yhtä tärkeä kuin testiympäristön todentaminen, ja tämän takia Eurofins Expert Services Oy todentaa kaikki suunnitelmat ennen testausta, jolloin tiedossa on testiympäristön toiminta ja käyttäytyminen testauksen aikana. Lisäksi mallit toimitetaan asiakkaille, jotta ne pystyvät omilla ohjelmilla laskemaan testiympäristöt uudelleen (reverse engineering) ja yhdistettynä mittausdataan voivat kalibroida koko FEA/FEM-laskentaohjelman materiaalin, liitos- ja muut ominaisuudet. (Teräsvuori 2024.)

## 7 Tulokset

Opinnäytetyön päätavoitteena oli tarjota yksityiskohtainen kuvaus testausprosessista ja jakaa testit vaativuuden mukaan tasoihin, josta saatiin muodostettua hierarginen pyramidimalli. Käyttämällä prosessikaaviota yhdessä pyramidimallin kanssa, tämä työ tuotti selkeän ja kattavan kuvauksen testausprosessista. Lisäksi työssä selvennettiin, miten erilaiset testit on järjestetty ja luokiteltu yrityksen sisällä. Malli tarjoaa arvokasta tietoa mahdollisille asiakkaille auttaen heitä ymmärtämään, kuinka eri testausvaiheet liittyvät toisiinsa ja miten ne voidaan sovittaa yhteen yrityksen tarjoamien palveluiden kanssa.

Pyramidimallina kuvattu ei ainoastaan parantanut prosessin rakenteellista jäsenystä, vaan myös lisäsi prosessiin läpinäkyvyyttä. Mallin avulla on mahdollista selkeästi hahmottaa, miten testauksen eri vaiheet etenevät asteittain yksinkertaisista materiaalitesteistä kohti monimutkaisempia ja kohdennettuja testauskokonaisuuksia.

Tuloksien hyödyntämisen osalta opinnäytetyö tarjoaa vankan perustan, jonka päälle voidaan rakentaa ja kehittää yrityksen testauspalveluita edelleen. Jatkokehitystoimenpiteinä voidaan ehdottaa mallin päivittämistä ja laajentamista eri osastojen testausmenetelmiin sopivaksi, jota voidaan jatkossa hyödyntää eri asiakkuuksien informoinnissa.

## 8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Eurofins Expert Services Oy:n mekaanisten testausprosessien kehittäminen. Opinnäytetyön alussa keskitytään yrityksen nykyisten mekaanisten testausprosessien vaiheiden selvittämiseen ja niiden kuvaamiseen käytännöllisen prosessikaavion muodossa. Tämän toimenpiteen tarkoituksena on tehdä prosessit näkyviksi, jotta voidaan ymmärtää ja jalkauttaa muihin osastoihin. Prosessiteoria toimii opinnäytetyön teoreettisena viitekehiksenä ja antaa työkalut testausprosessien kehittämiseen.

Opinnäytetyössä luotiin mekaanisten testausten vaativuustasojen luokittelu, mikä oli työn keskeinen tavoite. Tämä luokittelu mahdollistaa palvelutarjonnan, yksilöllisen soveltamisen ja hinnoittelun räätälöinnin asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Luokittelun suunnittelu perustuu ymmärrykseen yrityksen nykyisistä testausprosesseista, mikä mahdollistaa järjestelmällisen ja kohdennetun lähestymistavan testauspalveluiden kehittämiseen.

Opinnäytetyö tarjoaa katsauksen yrityksen nykyisiin testausmahdollisuuksiin ja niiden soveltamiseen. Työssä korostetaan testausteorian merkitystä, sillä riittävä teoreettinen pohja on välttämätön, jotta voidaan suunnitella ja toteuttaa monipuolisia testauspalveluita. Tietopohjan avulla voidaan ymmärtää asiakkaiden tarpeita ja tarjota heille sopivimmat testauspalvelut.

Asiakkailla ovat hyvin tiedossa omat tuotantomenetelmänsä ja siten yleisesti hyvin kriittinen ymmärrys kustannuksista. Kuitenkin tämä ymmärrys ei ole aina sovellu testausympäristöön sillä on huomioitava, että testijärjestelyn tulee kestää maksimivoimat varmuuskertoimella. Testauksen aikana testijärjestely ei saa hajota, minkä vuoksi tyypillisesti asiakkaan tuotteen maksimikuormitukseen lisätään varmuuskerroin 1.25 ... 4 riippuen voiman suuruudesta. Nämä tietoiset ylityöt aiheuttavat kustannuksia, jotka eivät ole perinteisen tuotannon kaltaisia. (Teräsvuori 2024.)

Lisäksi kun on kyseessä erikoiset testisetupit, niiden rakenteet voivat olla hyvin monimutkaisia, jotta saadaan varmistettua asiakastuotteiden oikeanlainen testaaminen. Tämä tarkoittaa, etteivät testaustarpeen rakenteet voi olla optimoituja kustannuksien suhteen, vaan ne tulee olla optimoituja mittaustuloksien suhteen. Kuten lujuuslaskenta reunaehdot määrittelevät simuloinnin tuloksien oikeellisuuden, testauksessa sama analogia soveltuu testausympäristön suunnitteluun, laskentaan ja toteuttamiseen. (Teräsvuori 2024.)

Räätälöidyt testaukset ovat useimmiten arvokkaita, mutta on huomioitava että niiden tulokset voivat vaikuttaa kymmenien vuosien asiakastuotteiden mitoittamiseen joka myös aiheuttaa kustannuksia, joka ylityötettuna asiakasyritykselle vaikuttaa tuotteensa myyntihintaan ja sen vertailu markkinahintaan nähden. Jos

tuote on alimitoitettu se taas tarkoittaa asiakasyritykselle suorituskyvyn alentamista ja sen suhde markkinalla oleviin tuotteisiin voi olla epäsuotuisa, sekä voi tuottaa poikkeamia ja reklamaatioita, joiden käsittely ja korvaaminen tuottaa kustannuksia. (Teräsvuori 2024.)

Keskeisenä tuloksena opinnäytetyössä luotiin vaatimustasoihin jaettu vaatimusmalli. Tämä malli toimii työkaluna testien selkeään luokitteluun, mikä puolestaan edistää testausprosessien läpinäkyvyyttä ja parantaa kommunikointia asiakkaiden kanssa. Tavoitteena oli, että vaatimusmallin avulla voidaan tehostaa testausprosessien hallintaa ja optimoida niiden suunnittelua ja toteutusta vastaamaan asiakkaiden vaatimuksia paremmin.

Yhteenvetona voidaan todeta, että opinnäytetyön ydintavoitteena on mekaanisten testausprosessien kehittäminen siten, että saavutetaan parempi asiakaskokemus. Tämä saavutetaan luomalla perusta tarkemmalle testien suunnittelulle ja toteutukselle, joka mahdollistaa palveluiden räätälöinnin asiakkaiden tarpeiden mukaan. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt vaatimusmalli tarjoaa selkeän ja systemaattisen lähestymistavan testien luokitteluun ja hinnoitteluun, mikä edistää yrityksen kilpailukykyä ja asiakastyytyvääisyyttä.

## Lähteet

Bolton, W. & Higgins R. A. 2021. Materials for engineers and technicians. New York: Routledge.

Bregoli, G.; Vasdravellis, G.; Karavasilis, T., & Cotsovos, D. 2021. Static and dynamic tests on steel joints equipped with novel structural details for progressive collapse mitigation. Verkkoaineisto. <<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111829> > Luettu 2.4.2024.

DeWalt, A. Hill Engineering Blog. 2021. Verkkoaineisto. <<https://hill-engineering.com/general-interest/tensile-test/>>. Luettu 19.3.2024

How is wind blade bolted to wind wheel hub. Verkkoaineisto. Anyang general international CO. <<https://www.high-strength-steel.com/wind-turbine-anchor-cage-system/wind-blade-bolt>>. Luettu 19.3.2024.

Dowling, N. 2007. Mechanical behavior of materials. New Jersey: Pearson.

Eurofins fact sheet. 2024. Verkkoaineisto. Eurofins. <<https://www.eurofins.com/about-us/our-business/eurofins-fact-sheet/> > Luettu 27.3.2024.

Franco, A. 2016. Assessment of Present/Future Decommissioned

Wind Blade Fiber-Reinforced Composite

Material in the United States. Department of Engineering. City college of New York. Verkkoaineisto. <[https://www.researchgate.net/publication/338430512\\_Assessment\\_of\\_PresentFuture\\_Decommissioned\\_Wind\\_Blade\\_Fiber-Reinforced\\_Composite\\_Material\\_in\\_the\\_United\\_States](https://www.researchgate.net/publication/338430512_Assessment_of_PresentFuture_Decommissioned_Wind_Blade_Fiber-Reinforced_Composite_Material_in_the_United_States) >. Luettu 23.03.2024.

Karhunen, Jouko. 2023. Lujuusoppi. Helsinki: Otatiето Oy / Gaudeamus Oy.

King, Caleb B; DeHart, Stephanie P. & Defeo, Patrick A. 2016. Planning Fatigue Tests for Polymer Composites. Verkkoaineisto. <[https://www.researchgate.net/publication/305514796\\_Planning\\_Fatigue\\_Tests\\_for\\_Polymer\\_Composites/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7Im-ZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoX2RpcmVjdCJ9fQ](https://www.researchgate.net/publication/305514796_Planning_Fatigue_Tests_for_Polymer_Composites/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7Im-ZpcnN0UGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoX2RpcmVjdCJ9fQ)>. Luettu 8.2.2024.

Kuhn, H. & Medlin, D. 2000. ASM Handbook Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation. Pennsylvania: ASTM International.

Martinsuo M. & Blomqvist M. Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä.pdf 2010. Luettu 25.1.2024.

ISO 204:2023. Metallic materials – uniaxial creep testing in tension. Suomen standardoimisliitto.

Mutanen, Mikko. 2014. Transitiolämpötilan määrittäminen kylmänkestävillä teräksillä. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Theseus-tietokanta.

Nissinen, Juha. 2011. Prosessin kolmivaiheinen kehittäminen. Opinnäytetyö. Savonia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Prosessin kehittäminen. 2024. Logistiikan maailma. Verkkoaineisto. <<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/>>. Luettu 17.1.2024.

Raj B; Rao K. & Bhaduri A. 2001. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier: Amsterdam.

SFS-EN ISO 148-1:2016. Metallien charpy iskukoe. Osa 1: Menetelmä. 2016. Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 6892-1&2:2019. Metallic materials. Tensile Testing. 2019. Suomen standardoimisliitto.

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. 2024. Verkkoaineisto. ASTM E8/E8M-22-standard. ASTM International. Luettu 2.4.2024.

Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa. 2024. Tukes. Verkkojulkaisu. < <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa>>. Luettu 22.3.2024.

Teräsvuori, Tuomas. 2023. Asiantuntija, Eurofins Expert Services Oy. Keskustelu. 10.1.2024.

The National Renewable Energy Centre of Spain, CENER. 2019. Blade tip test bench. Verkkojulkaisu. < <https://www.cener.com/en/blade-test-laboratory/#> > Luettu 23.3.2024.

Westbrook J. 1991. Mechanical Testing. Pennsylvania: ASTM International.