



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

OSKU KEIHÄNEN
KONERAKENTEIDEN OPETUSSISÄLLÖN KEHITTÄMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Ellman
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 5. lokakuuta
2016

TIIVISTELMÄ

OSKU KEIHÄNEN: Konerakenteiden opetussisällön kehittäminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 55 sivua, 4 liitesivua

Lokakuu 2016

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Avainsanat: Konerakenteet, teräsrakenteet, suunnittelunäkökohdat, haastattelu-tutkimus

Tässä diplomityössä tarkastellaan teräksisten konerakenteiden suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Lisäksi pohditaan, mitä aihealueita konerakenteiden opetussisältöön tulisi kuulua. Apuna suunnittelunäkökohtien muodostamisessa olivat haastattelut koneenrakennusalan yrityksissä työskentelevien henkilöiden kanssa. Haastatellut henkilöt olivat opiskelleet Tampereen teknillisessä yliopistossa konetekniikkaa ja hiljattain siirtyneet työelämään konerakenteiden suunnittelun pariin. Työn ohessa oli tavoitteena kehittää TTY:n opintojaksoa *Konerakenteiden suunnittelu*.

Diplomityön alussa esitetään konerakenteiden suunnitteluun liittyviä näkökohtia kirjallisuuden pohjalta. Erityisesti pyritään tarkastelemaan niitä asioita, joita tutkimukseen osallistuneet henkilöt nostivat esille. Alussa esitetyt näkökohdat ovat siis osittain muodostettu myös haastattelujen aineistoa hyödyntäen, kirjallisuuteen liittäen. Tämän jälkeen esitellään tutkimuksessa käytetty haastattelumenetelmä sekä annetaan perusteet haastateltavien valinnalle. Lisäksi tuodaan esille, kuinka haastattelut lopulta toteutuivat.

Haastatteluaineistoon perustuen, konerakenteiden suunnittelijan on otettava huomioon seuraavia näkökohtia: toimivuus, turvallisuus, kustannukset ja valmistettavuus sekä rakenteen ulkonäkö. Suunnittelu tapahtuu näkökohtiin liittyvien reunaehtojen puitteissa. Esimerkiksi turvallisuusnäkökohtaan liittyy konedirektiivin edellyttämät turvallisuusvaatimukset. Haastattelun aineistosta nousivat esille varsinkin levyrakenteiden yleisyys konerakenteissa, kustannusnäkökulman rajoittavuus suunnittelussa sekä hitsausliitosten käsittelyn tarpeellisuus opetussisällössä. Tutkimuksen tuloksissa tuodaan esille myös yleisiä suunnitteluvinkkejä sekä suunnittelun ohessa hyödynnettyä lähdeaineistoa. Lisäksi haastattelun aineistosta on pyritty poimimaan suunnitteluhuomioita liittyen esimerkiksi liitosten suunnitteluun sekä korroosionestoon.

Haastatteluiden perusteella muodostetaan arvio, kuinka merkittäviä eri aihealueet ovat konerakenteiden opetussisällössä. Lopuksi pohditaan muun muassa tutkimuksen onnistumista sekä muodostetaan ehdotus Konerakenteiden suunnittelu -kurssin luentoaiheiksi.

ABSTRACT

OSKU KEIHÄNEN: Development of educational content for machine structures
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 55 pages, 4 Appendix pages
October 2016
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
Major: Design of Machines and Systems
Examiner: Professor Asko Ellman

Keywords: Machine structures, machine design aspects, research interview

This thesis examines aspects that are related to designing steel structures in machines. The aspects of designing were formed with an aid of interviews with people working in the machine industry. The interviewees had studied in Tampere University of Technology and recently started working with machine structures. One goal of this study was to develop the educational content of TUT course: *Design of Machine structures*.

In the beginning of the thesis some design aspects of machine structures are presented based on the literature. The attention is given especially for the aspects that the people taking part to this research brought up. After this, the interview method and the criteria for choosing interviewees are introduced. Also, it is described how the interviews were carried out in the end.

Based on the interview data the designer should take the following aspects in account when designing machine structures: functionality, safety, costs and manufacturability, as well as the appearance of the structure. Boundary conditions caused by these aspects affect the design process. For example, the safety aspect is connected to the requirements presented by the Machinery Directive. To mention a few things that came up from the data were that sheet metal structures are very commonly used in machines and the cost aspect is almost always limiting the design choices. The study results also bring up some general design tips as well as some source material that has been used alongside machine design processes. Also, some things that should be taken in consideration in different design scenarios (when designing joints for example) are highlighted.

After analyzing the interview data, an evaluation is made how important each aspect is as an educational subject for machine structures. Lastly, some thinking is done regarding the success of this research as well as suggestion for arranging the lecture topics for the course (Design of Machine structures).

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty TTY:n Kone- ja tuotantotekniikan laitokselle konerakenteiden opetuksen apumateriaaliksi. Kiitokset hyvästä aiheesta työni ohjaajalle ja tarkastajalle professori Asko Ellmanille. Diplomityön myötä opin mukavasti uutta hyödyllistä tietoa työelämää ajatellen.

Suuri kiitos haastatelluille henkilöille, joiden kanssa sain käydä hyvin mielenkiintoisia keskusteluja konerakenteisiin liittyen. Kiitokset myös opiskelukavereilleni yhteisestä opintaipaleesta, jonka lopulta minäkin sain tämän työn myötä päätökseen. Erityiskiitos ystävilleni Joni Tattarille sekä Oskari Kososelle arvokkaista kommentteista sekä mielenkiinnosta työtäni kohtaan. Ja kiitos Tiia, että pidit huolen, etten päässyt liiaksi uppoutumaan työhön vaan muistin myös ottaa vapaa-aikaa. ☺

Tampereella, 25.10.2016

Osku Keihänen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	KONERAKENTEIDEN SUUNNITTELUNÄKÖKOHTIA.....	3
2.1	Konerakenteiden suunnittelu.....	3
2.2	Suunnittelua ohjaavat standardit	4
2.3	Teräsrakenteet	6
2.4	Kustannusten ja valmistettavuuden huomiointi	8
2.5	Rakenteen kestävyys	10
2.6	Hitsausliitosten suunnittelu	13
2.7	Väsymistarkastelu	16
2.8	Ruuviliitos	18
2.9	Korroosionesto	21
3.	TUTKIMUSMENETELMÄ.....	24
3.1	Haastattelutyyppi.....	24
3.2	Haastattelun teemat	25
3.3	Haastateltavien valinta	26
3.4	Haastattelutilanne ja kysymykset	27
3.5	Haastatteluiden toteutuma	29
4.	TULOKSET	32
4.1	Työkaluja suunnitteluun ja opiskeluun	33
4.2	Standardit suunnittelussa sekä opetuksessa.....	34
4.3	Vinkkejä suunnittelutehtäviin	35
4.4	Aihiot ja materiaalit.....	37
4.5	Valmistuskustannukset ja -menetelmät.....	39
4.6	Rakenteen kestävyysasiat	40
4.7	Rakenteiden liitokset	42
4.8	Korroosionesto	45
4.9	Konerakenteiden suunnittelu -kurssi.....	47
5.	POHDINNAT	49
5.1	Haastattelujen onnistuminen	49
5.2	Teemat.....	50
5.3	Ehdotus kurssin luentosisällöksi	51
	LÄHTEET.....	53

LIITE A: ERÄÄN HAASTATTELUN AINEISTO

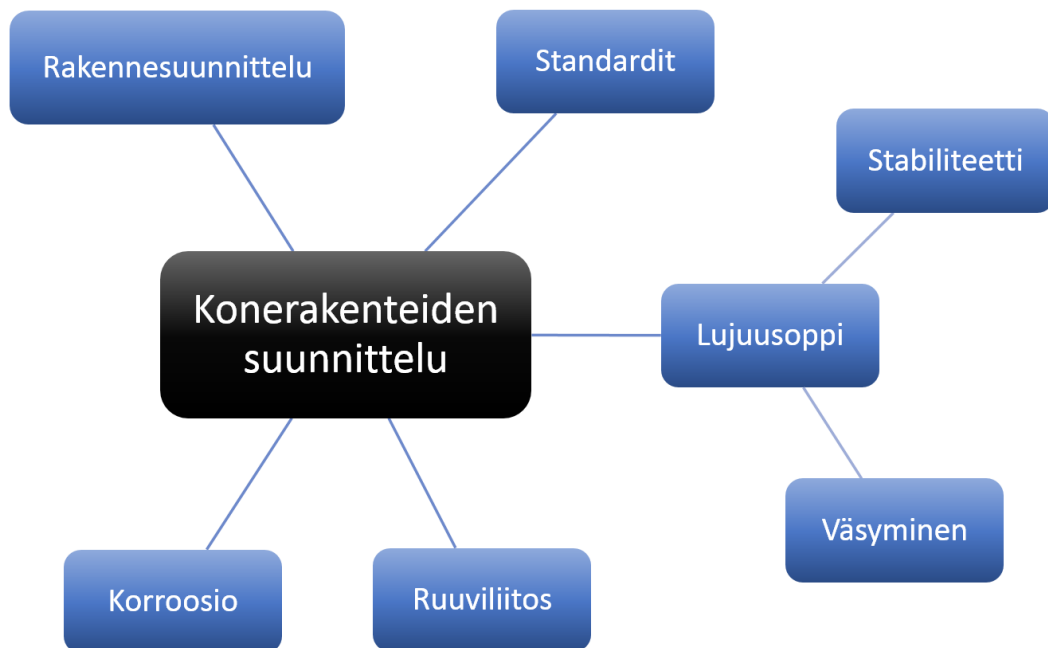
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Aihio	Tietyn muotoinen ja mittainen raakakappale, josta työstämällä saadaan haluttu osa
Aksiaalinen	Akselin suuntainen
Amplitudi	Värähtelyn suurin poikkeama tasapainotilasta. Värähtelyn ääripisteiden etäisyys toisistaan jaettuna kahdella.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer-aided Design)
Direktiivi	Euroopan unionin jäsenvaltioille suunnattu lainsäädäntöohje
Dynaaminen	Ajan mukana muuttuva
Dynamiikka	Mekaniikan osa-alue, joka tutkii voimien vaikutusta kappaleiden liikkumiseen
Elastinen materiaali	Materiaalin venymät riippuvat vallitsevasta jännitystilasta eli kappale palaa alkuperäiseen muotoonsa, kun jännitykset poistetaan. (Teräs käyttäytyy elastisesti, kunnes myötöraja saavutetaan)
FEM	Elementtimenetelmä; käytetään varsinkin lujuuslaskennoissa approksimoitujen tulosten saavuttamiseksi (Finite Element Method)
Hitsi	Hitsauksen lopputulos
Iterointi	Yleisnimitys menetelmille, joissa samoja työvaiheita toistetaan halutun lopputuloksen saavuttamiseksi
Jousivakio	Vakio, joka kertoo jousen jäykkyyden eli kuinka vahvasti se pyrkii palautumaan tasapainoasemaansa
Jännitysjakso	Jännitys-aikafunktion jakso.
Katkohitsi	Hitsi, joka muodostuu osahitseistä. Osahitsin jälkeen on tietty matka hitsaamatonta osuutta ennen seuraavaa osahitsiä.
Korroosio	Metallin ja ympäristön fysiokemiallinen vuorovaikutus, joka johtaa metallin ominaisuuksien muutoksiin ja usein heikentää sen käyttöominaisuuksia
Kuorma	Rakenteeseen vaikuttava paine tai voima
Lineaarinen	Matemaattinen suhde, jossa suureet ovat suoraan verrannollisia toisiinsa
Logaritminen asteikko	Ei-lineaarinen mitta-asteikko, jota käytetään usein, kun suureiden määrät ovat laajalta alueelta. Asteikon yksi askelväli tarkoittaa mitattavan suureen moninkertaistumista.
Lujuusoppi	Fysiikan ala, jossa tutkitaan kappaleiden käyttäytymistä kuormien vaikuttaessa niihin
MAG-hitsaus	Yleinen hitsausmenetelmä, jota käytetään terästen hitsauksessa. (MAG = Metal active gas)
Murtolujuus	Vetojännityksen suuruus sillä hetkellä, kun aines murtuu (katkeaa)
Myötöraja	Vetojännityksen suuruus sillä hetkellä, kun aineessa tapahtuu pysyvä muodonmuutos
Palkki	Jäykkä pitkäkäs rakenneosa. Palkit määritellään niiden profiilin, pituuden ja materiaalin mukaan.
Plastisuus	Ominaisuus, jossa voiman vaikutuksesta syntyy palautumattomia muodonmuutoksia

Profiili	Poikkileikkauksen muoto
Päittäisliitos	Hitsausliitos, jonka osien pinnat ovat hitsin alueella samassa tasossa tai toisiinsa nähden 135...180 asteen kulmassa
Railo	Hitsausta varten valmistettujen osien välinen tila
Riski	Vahingon esiintymistodennäköisyyden ja kyseisen vahingon vakavuuden yhdistelmä
Simulointi	Todellisen käyttäytymisen jäljittely (esimerkiksi tietokoneella).
Sinkitys	Metallin päällystäminen korroosiolta suojaavalla sinkkikerroksella
Statiikka	Mekaniikan osa-alue, joka tutkii tasapainotilassa olevia kappaleita ja niihin vaikuttavia kuormia
Staattinen	Muuttumaton, (paikallaan) pysyvä, tasapainossa oleva
Strukturoitu	Jäsennetty, rakennettu tarkasti
Sykli	Kuormituskerta; Rakenteen elinikää kuvataan usein sykleinä (ajan sijasta)
Taajuus	Toistuvan ilmiön tapahtumien määrä aikayksikköä kohti
Terminen leikkaus	Materiaalin leikkausta, jossa leikkaaminen tapahtuu lämmön tai palamisen avulla (esim. poltto- tai laserleikkaus)
Tribologia	Konetekniikan tutkimusalue, joka tarkastelee kosketuspintojen kitkaan, kulumiseen ja voiteluun liittyviä ilmiöitä
Viitekehys	Tutkimukseen liittyvä käsitteellinen ja ajattelua ohjaava tietty näkökulma, jäsenitys

1. JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää konerakenteisiin liittyviä työelämän suunnittelunäkökulmia. Työssä tarkastellaan myös, millaisia aihealueita konerakenteiden opetussisällössä tulisi käsitellä. Tutkimuksen ohessa oli tavoitteena kehittää Tampereen teknillisen yliopiston opintojaksoa *MEI-42000 Konerakenteiden suunnittelu*. Kyseinen opintojakso on osa konetekniikan diplomi-insinööritutkinnon syventäviä opintoja. Se on pakollinen kurssi koneensuunnittelua laajana opintokokonaisuutena lukeville opiskelijoille. Kurssilla käsiteltävien aihealueiden perusteella on muodostettu kuvassa 1.1 esitetty ajatuskartta, jonka pohjalta tutkimukseen lähdettiin.



Kuva 1.1 Lähtökohtana ollut ajatuskartta konerakenteiden opetusteemoista

Suunnittelunäkökulmien löytämiseksi kuvassa esitetyistä sekä mahdollisista muista eri aihealueista valittiin apukeinoksi **haastattelututkimus**. Sopivia henkilöitä haastattele- malla oli tavoitteena saada tietoa konerakenteiden suunnittelussa yleensä huomioon otettavista seikoista. Tutkimusongelmaksi muodostui:

Mitä aihealueita konerakenteiden opetussisältöön tulisi kuulua ja millaisia työelämän suunnittelunäkökohtia aihealueisiin liittyy.

Tutkimuksen kohteena olivat haastateltavien henkilöiden eri aihealueisiin liittyvät mielipiteet, jotka perustuivat heidän omaan työkokemukseensa. Haastattelututkimuksen

suunnittelussa hyödynnettiin pääasiassa Tarja Tiaisen kirjoittamaa raporttia ”Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa” [1].

Seuraavassa luvussa tarkastellaan konerakenteisiin liittyviä teemoja erityisesti suunnittelijan näkökulmasta. Aihealueiden yhteydessä on pyritty tuomaan esille soveltuvia standardeja sekä aiheisiin liittyvää kirjallisuutta. Työssä viitataan paljon Suomen Standardoimisliitto SFS ry:n julkaisemiin standardeihin. Lisäksi tärkeitä lähdeaineistoja olivat useiden eri asiantuntijoiden kirjoittama Koneenosien suunnittelu [2] sekä Rautaruukki Oyj:n suunnittelukäsikirjat teräsrakenneosille [3; 4]. Tutkimus alkoi kirjallisuus selvityksellä konerakenteiden suunnittelunäkökohdista ja sen perusteella muodostettiin haastatteluille teema- sekä kysymyspohja.

Haastattelujen myötä saatua aineistoa on hyödynnetty jälkeinpäin luvun 2 kirjoittamisessa. Esitetyt suunnittelunäkökohdat ovat siis muodostettu osittain keskustelujen pohjalta, kirjallisuuteen liittäen. Tavallaan työn tuloksia on siis jo näkyvissä ennen tutkimusmenetelmän esittelyä. Diplomityöraportin muodostamisessa esitetyllä tavalla pyrittiin helpottamaan lukijaa, sillä suunnittelunäkökohtiin liittyviä asioita on sujuvampi tarkastella yhdessä kokonaisuudessa. Tekstin yhteydessä (erityisesti luvussa 4) pyritään tuomaan esille, miltä osin haastatteluaineistoa on hyödynnetty luvun 2 viimeistelyssä.

Tämä työ rajautuu tarkastelemaan konerakenteiden suunnitteluun liittyviä työelämän näkökohtia nykyhetkellä (raportin kirjoitushetkellä) lähinnä hiljattain työelämään siirtyneiden henkilöiden mielipiteiden perusteella. Työssä ei pohdita esimerkiksi konerakenteiden suunnittelua tulevaisuudessa. Kurssiopetukseen liittyen työssä keskitytään konerakenteiden eri teemojen tarpeellisuuden arviointiin opetuksessa. Kurssien yleiset järjestelyt sekä opetusmenetelmät jäävät taka-alalle. Raportti on tarkoitettu apumateriaaliksi konerakenteiden opetussisällön kehittämiseen. Tässä työssä esiintyviin teemoihin liittyen on esimerkiksi Liisa Hassi kirjoittanut diplomityön ”*Teräsrakenteiden suunnittelu Eurokoodien mukaan*”, jossa käsitellään yhdenmukaisiin eurooppalaisiin standardeihin perustuvaa rakennesuunnittelua. Lisäksi haastattelututkimuksen käyttämistä opetuksen laadun selvittämiseen on hyödyntänyt Teemu Ronkka diplomityössään ”*Laatu opetuksessa: kvalitatiivinen haastattelututkimus TTKK:n koneosaston lämpötekniikan opiskelijoiden käsityksistä saamaastaan opetuksesta ja sen laatutekijöistä kurssi- ja laitostasolla v.1994*”.

2. KONERAKENTEIDEN SUUNNITTELUNÄKÖKOHTIA

Tässä luvussa esitellään konerakenteiden suunnitteluun liittyviä aihealueita. Asiat pyritään esittämään yleisellä tasolla, mutta osakokonaisuuksissa tuodaan esille myös yksityiskohtaisempia suunnittelijan näkökulmia. Aihealueissa käsiteltävät asiat perustuvat osin konerakenteiden suunnittelijoiden haastatteluihin. Tekstin lukijan on ajateltu olevan esimerkiksi Konerakenteiden suunnittelu -opintojakson aloittava opiskelija, joten esitiedot konetekniikasta saattavat olla tarpeen tekstin ymmärtämisessä.

2.1 Konerakenteiden suunnittelu

Koneensuunnittelijoiden haastatteluihin perustuen, on konerakenteita suunnitellessa otettava huomioon seuraavia näkökohtia:

- Toimivuus
- Turvallisuus (säädökset ja rajoitukset)
- Kustannukset ja valmistettavuus
- Ulkonäkö

Koneensuunnittelun tavoitteena on kone, joka toimii turvallisesti ja luotettavasti. Suunnittelijan tehtävänä on selvittää ja laskea vaikuttavat liikkeet, voimat sekä muutokset, ja määrittää niiden perusteella koneen osien koko, muoto sekä materiaalit. Robert L. Nortonin [5, s. 4] mukaan tämä on koneensuunnittelun perusolemus. Suunnittelun lähtökohdana on toimivuus, jolloin rakenteet suunnitellaan vastaamaan tuotteelle asetettuja toiminnallisia vaatimuksia. Toimivuuden takaamiseksi on huolehdittava esimerkiksi erilaisten nivelmekanismien käyttäytymisestä halutulla tavalla sekä huoltokohteiden luokse päästävydestä. Koneen on lisäksi täytettävä tietyt turvallisuudelle lainsäädännössä asetetut vaatimukset sekä muut rajoitukset, jotka voivat liittyä esimerkiksi koneen kuljetukseen. Kone on myös suunniteltava siten, että se pystytään valmistamaan käytössä olevin menetelmin. Tähän liittyen tulevat esille valmistuskustannukset, joita suunnitteluratkaisuilla pyritään minimoimaan. Näiden lisäksi suunnittelijan voi olla huomioitava myös rakenteiden ulkonäköön liittyvät seikat, jotka saattavat olla yhteydessä tuotteiden myyntiin esimerkiksi ostajien mielikuvien kautta.

Keskeisimpiä ja vaikeimpia ongelmia suunnittelijalle on ennustaa laitteen käyttäytyminen jo ennen kuin sitä on rakennettukaan. Ennakoimista voi toteuttaa hyödyntämällä matemaattisia, esimerkiksi lujuusopillisia, laskentamalleja. Niitä soveltamalla voidaan

arvioida rakenteen mekaanista käyttäytymistä oletetussa kuormitustilanteessa. [2, s. 9] Staattisessa rakenteessa, kuten rakennuksessa, kestävyuden varmuutta pystytään yleensä kasvattamaan suunnittelemalla rakenteesta järeämpi eli lisäämällä rakennemateriaalin massaa. *Dynaamisessa* konerakenteessa massan lisäyksellä liikkuviin osiin voi olla päinvastaisia vaikutuksia. Yksittäisen elementin kestävyys voi kasvaa, mutta liikkuvan massan suurentuessa saattaa vaikutus näkyä esimerkiksi koneen muissa rakenteissa. Koneensuunnittelu on tyypillisesti *iteratiivista*. Norton esittää, että suunnittelutehtävän ratkaisemisessa on aina aloitettava jostain ja mistä päätyykin aloittamaan, se todennäköisesti ei ole ”paras” lähtökohta. Iteroiminen mahdollistaa aiempaan palaamisen ja työn vaiheittaisen parantamisen, sekä lopulta onnistumisen. [5, s. 4-5, 10]

Tietotekniikan kehittyminen on käytännössä mullistanut insinöörisuunnittelun sekä -laskennan. Suuret ja monimutkaiset kokoonpanot voidaan esittää hyvin tarkasti virtuaalisina 3D-malleina. Lisäksi vaikeat ja paljon laskentaa vaativat tehtävät pystytään nykytietokoneilla ratkaisemaan minuuteissa. Nortonin [5, s. 12] mukaan nykyään onkin käytännössä mahdotonta tehdä suunnittelutyötä ilman tietokonetta. Kuvassa 2.1 esitetyt koneet ovat esimerkkejä tuotteista, joiden suunnittelua on toteutettu Pirkanmaalla.



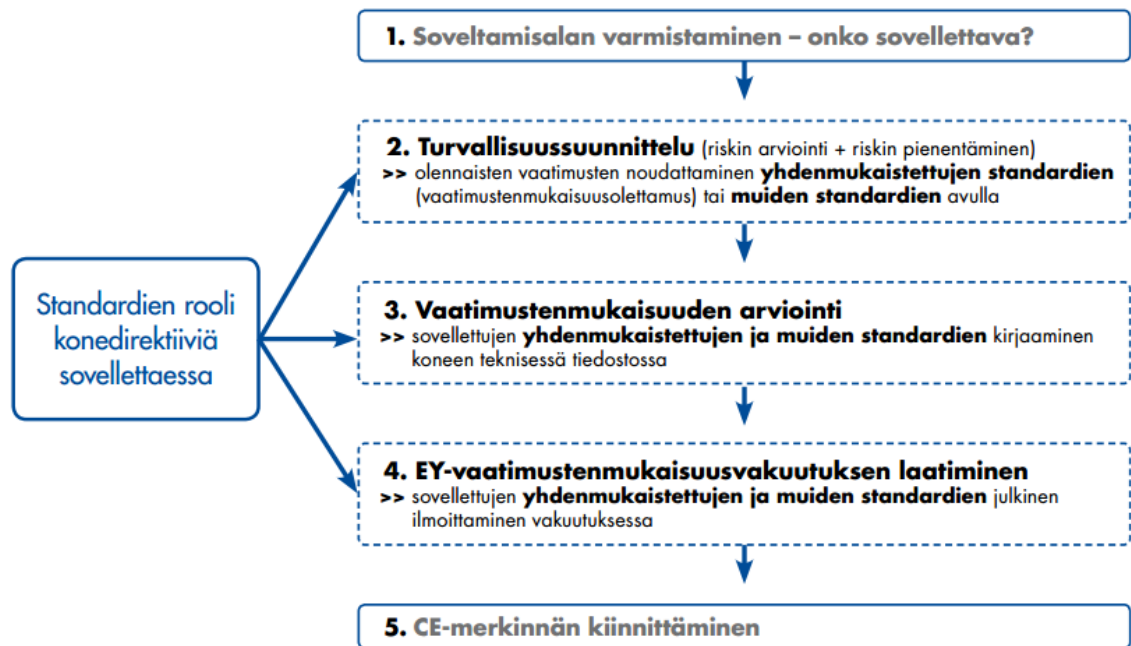
Kuva 2.1 Murskaus- ja seulontalaitos (Metso Minerals Oy) sekä kuormaaja (Avant Tecno Oy)

2.2 Suunnittelua ohjaavat standardit

Standardit tarjoavat suunnittelijalle työkaluja ja ratkaisuja koneen *turvallisuusvaatimusten* varmistamiseksi. Standardit valmistellaan yhteistyössä ja niiden tavoitteena on aina yhteisymmärrys eri osapuolten kesken. Standardin on oltava vapaasti saatavilla sekä kirjallisessa muodossa ollakseen yleisesti hyväksytty. Standardin voi hyväksyä vain siihen soveltuva elin, esimerkiksi viranomainen tai järjestö. Suomessa standardisointia ohjaa ja koordinoi Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Sen tehtävänä on huolehtia, että Suomessa on olemassa standardikokoelma, joka täyttää maan tarpeet sekä kansainvälisten ja eurooppalaisten sopimusten edellytykset. [6, s. 6-7, 22]

Standardit ovat luonteeltaan suosituksia ja niiden käyttö on vapaaehtoista. Kuitenkin lainsäädännössä hyödynnetään paljon standardeja, koska tällöin säädöksiin ei tarvitse

kirjoittaa teknisiä yksityiskohtia. Standardeihin viitataan yleensä esimerkkinä säädöksen vaatimukset täyttävästä ratkaisusta. [6, s. 15] Suomessa on tällä hetkellä voimassa vuonna 2006 laadittu Euroopan Unionin konedirektiivi, joka määrittelee koneiden turvallisuusvaatimukset [7]. Standardien roolia konedirektiivin soveltamisessa on esitetty kuvassa 2.2.



Kuva 2.2 Standardien rooli konedirektiiviä sovellettaessa [7, s. 4]

Konedirektiivi edellyttää, että koneen valmistajan (tai joissain tapauksissa muun tahon) on suoritettava koneen *turvallisuussuunnittelu* [7, s. 2]. Standardi EN ISO 12100 sisältää koneiden turvallisuussuunnittelun perusperiaatteet sekä -terminologian ja luo perustan kaikille muille koneturvallisuusstandardeille [8]. Standardin tarkoituksena on esittää suunnittelijoille yleiset puitteet sekä ohjeet päätöksentekoon koneita kehitettäessä, jotta koneista tulisi turvallisia käytössä. Osa turvallisuussuunnittelua ovat standardin esittämät *riskianalyysit*, joissa arvioidaan henkilöihin kohdistuvia turvallisuusriskejä. Riskin suuruuteen vaikuttavat mahdollisen vahingon vakavuus sekä esiintymistodennäköisyys. Jos riskitaso ei ole hyväksyttävissä, riskejä täytyy pienentää. Ensisijaisesti suunnittelun avulla pyritään poistamaan vaaroja sekä pienentämään riskejä. Mikäli riski on suunnittelun jälkeen edelleen liian korkea, pyritään sitä pienentämään esimerkiksi käyttäjien ohjeistuksilla (käyttöohjekirja, varoitustarrat). [9, s. 10, 30, 42]

Konedirektiivi edellyttää menettelyihin, joilla arvioidaan tuotteen vaatimustenmukaisuutta eli täyttääkö kone sille asetetut turvallisuusvaatimukset [10, s. 23]. Käsite *vaatimustenmukaisuusolettamus* linkittää konedirektiivin turvallisuusvaatimukset sekä yhdenmukaistetut (eli hyväksytyt) standardit toisiinsa. Yhdenmukaistetun standardin mukaisesti suunniteltu ja valmistettu kone täyttää konedirektiivin vaatimukset standardin kattamien olennaisten vaatimusten osalta. Tällöin koneen valmistajan ei tarvitse erik-

seen osoittaa vaatimusten täyttymistä. [11] Kuvassa 2.2 viimeisenä kohtana esitetty CE-merkintä on osoitus siitä, että tuote täyttää konedirektiivin edellyttämät vaatimukset. Vaatimustenmukaisella CE-merkityllä koneella on Euroopan talousalueella vapaa liikkumisoikeus. [10, s. 68, 91]

Turvallisuussuunnittelun lähtökohtana toimiva standardi EN ISO 12100 on koneturvallisuuden standardien hierarkiassa A-tyyppin standardi, jota voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. B-tyyppin standardit ovat turvallisuuden ryhmästandardeja, joissa käsitellään yhtä turvallisuusnäkökohtaa tai yhtä useissa erilaisissa koneissa käytettävää suojausteknistä laitetta. C-tyyppin standardeissa käsitellään tietyn koneen tai koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia. Poikkeustapauksissa C-tyyppin standardi on ensisijainen kohderyhmälleen. [9, s. 10] Esimerkiksi Konerakenteiden suunnittelu -opintojakson harjoitustyössä sovellettava standardi ”SFS-EN 13001 Nosturit. Yleissuunnittelu” on C-tyyppin standardi, joka tarjoaa yhden tavan nostureiden mekaniikan suunnitteluun ja teoreettiseen todentamiseen konedirektiivin vaatimusten täyttämiseksi [12, s. 8]. Koneensuunnittelijan yhtenä tehtävänä on löytää kulloinkin sovellettavat standardit, joten tässä työssä on pyritty tuomaan esille muutamia aihealueisiin liittyviä standardeja.

2.3 Teräsrakenteet

Ylivoimaisesti suurin koneenrakennuksen materiaalityyppi ovat rautametallit. *Teräs* on raudan ja hiilen seos, jossa hiiltä on alle 2 %. Varsinkin suurten työkoneiden runkorakenteet valmistetaan hyvin usein teräksestä. Henkilöautoissa teräksen ja raudan osuus on noin 65%. [2 s. 110; 13, s. 4, 114]

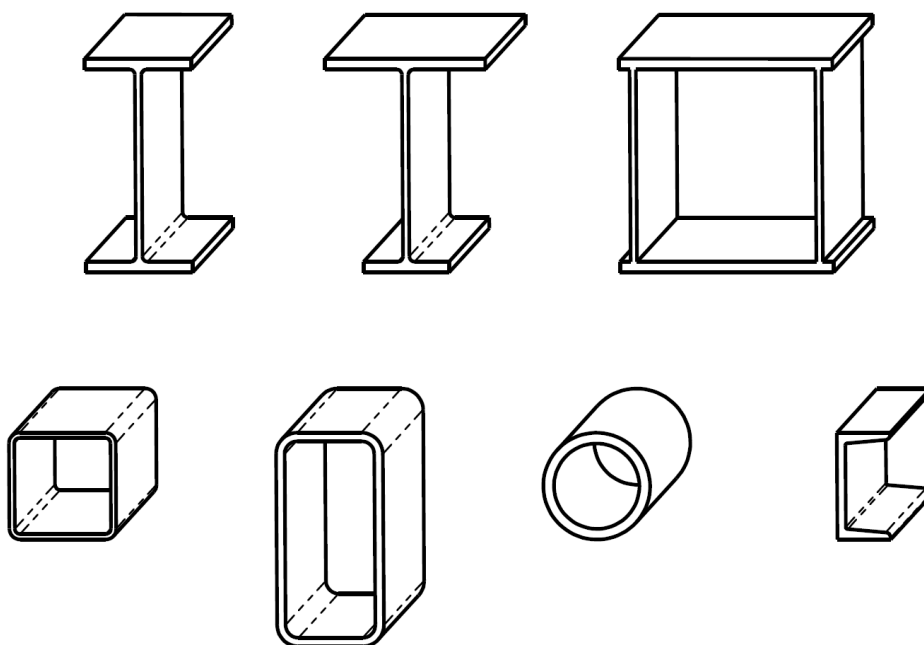
Lujuusteknisesti materiaalin tärkeimpiä ominaisuuksia on kuormituksen ja siirtymän välinen riippuvuus. Tämä voidaan selvittää standardin EN ISO 6892 esittämällä metallien vetokokeella, jonka tuloksena saadaan materiaalin lujuutta kuvaavat arvot: *myötöraja* sekä *murtolujuus*. Terästen ominaisuuksia ovat korkea lujuus sekä sitkeys. Sitkeää materiaalia kuormitettaessa tapahtuu myötö ennen murtumista, jolloin vauriotapauksissa riskit ovat todennäköisesti pienemmät. Esimerkiksi korroosio, pintakäsittely tai rakenteisiin kohdistuneet iskut saattavat kuitenkin aiheuttaa sen, että normaalisti sitkeät materiaalit (kuten teräs) käyttäytyvät hauraasti. [2, s. 16, 95, 110] Yleisimmät lujuusluokat eurooppalaisille rakenneteräksille ovat S235, S275 ja S355. [14] Esimerkiksi teräksen S235JR nimikkeessä:

- S kertoo, että kyseessä on rakenneteräs
- Luku 235 kuvaa materiaalin pienintä testein (vetokoe) todettua myötölujuutta
- Merkintä JR kuvaa testiolosuhteita, joissa teräksen lujuusarvot on määritetty.

Konealan yrityksessä työskentelevän henkilön haastatteluun perustuen hintaeroa mainittujen lujuusluokkien teräksillä ei Suomessa juurikaan ole, sillä esimerkiksi S355 lienee yleisemmin käytetty kuin S235. Vuonna 2006 julkaistun rakennustiedon artikkelin [15] mukaan teräslevyillä lujuusluokan nostaminen luokasta S235 luokkaan S355 toi lisähin-

taa noin 8 % laatulisän kautta. Artikkelissa kerrotaan, että trendi on ollut kuitenkin laskeva. Artikkelissa mainitaan lisäksi, että kantavien rakenteiden materiaaliksi suositellaan lujusluokkaa S355 kokonaistaloudellisista syistä. Korkeampaa lujutta käytettäessä, on tarvitun materiaalin määrä eli massa pienempi. Lujemmalle teräkselle voidaan esimerkiksi valita pienemmät levynvahvuudet, mikä vaikuttaa kokonaiskustannuksiin alentavasti. Ohuempiin levymateriaaleihin siirryttäessä tulee kuitenkin huomioida kasvava lommahdusriski, joka esitetään luvussa 2.5. Korkeampia teräksen lujusluokkia (kuin esitetyt) kannattaa harkita erityisesti hitsaamattomissa rakenneosissa. Hitsatuissa rakenteissa ei korkeammalla lujudella saavuteta välttämättä haluttua hyötyä, sillä dynaamisesti kuormitetun hitsatun rakenteen väsymislujuus (luvut 2.6 ja 2.7) on riippumaton teräksen lujudesta. [2, s. 112]

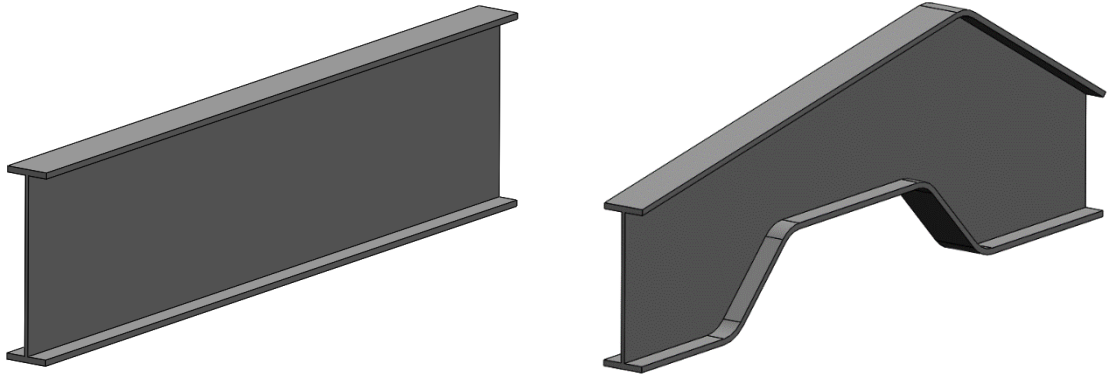
Teräsrakenteiden materiaaliyhdyt voivat olla esimerkiksi levyjä tai kuvassa 2.3 esitetyjä valmiita profiileja. Yläriivin (hitsatuista) profiilipalkeista vasemmalla esitetty poikkeileikkaukseltaan I-kirjainta muistuttava palkki on yleisesti koneenrakennuksessa käytetty. I-profiili muodostuu kahdesta vaakasuuntaisesta laippalevystä, joiden välissä on pystysuuntainen uumalevy. Keskellä esitettyä epäsymmetristä I-profiilia käytetään esimerkiksi nosturiratapalkkeina. [3, s. 11-13]



Kuva 2.3 Esimerkkejä palkkiprofiileista [mukailen 3; 4; 25, s. 277]

Kuvassa alarivillä on esitetty konerakenteissa yleisesti käytetyt putkiprofiilit: neliö, suorakaide sekä pyöreä. [4] Lisäksi oikeassa reunassa on esimerkki U-profiilin palkista. Erilaisten valmisprofiilien saatavuus voi vaihdella maantieteellisestä sijainnista riippuen. Konealan suunnitteluinsinöörin mukaan eri puolella maailmaa käytettävät palkkiprofiilit saattavat erota kotimaassa tarjolla olevista vaihtoehdoista. Varsinkin globaalissa yrityksessä tämä on otettava huomioon suunnittelutyössä.

Teräslevyä sitä vastoin on usein saatavilla saman vahvuisena ympäri maailman. Levyrakenteiden käyttäminen koneenrakennuksessa onkin hyvin yleistä sen edullisen hinnan sekä muotoiltavuuden takia. Kun levy leikataan automatisoidusti annetun mallin mukaisesti, on lopputulos samanlainen riippumatta valmistuspaikasta. Valmisprofiileihin verrattuna levystä suunnittelu tuo enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa rakenteen muotoiluun. Tätä on havainnollistettu kuvassa 2.4, jossa vasemmalla on perinteinen I-profiilipalkki ja oikealla taivutetuista laippalevyistä sekä muotoon leikatusta uumalevystä hitsattu (poikkileikkaukseltaan vaihteleva) palkki.



Kuva 2.4 I-profiilin palkki vakiopoikkileikkauksella ja vaihtelevalla poikkileikkauksella [mallinnettu SolidWorks-ohjelmistolla]

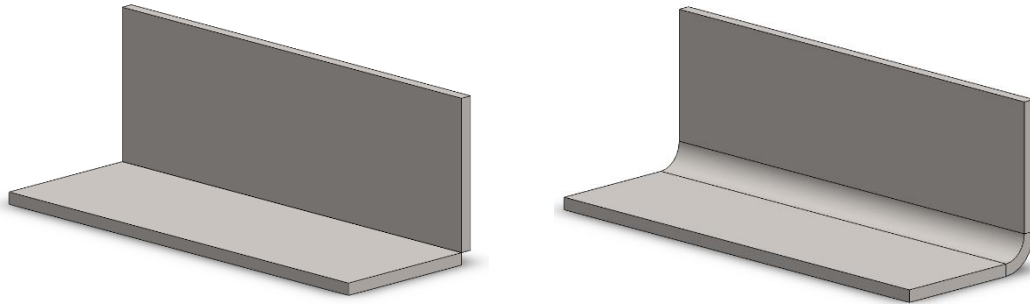
Valmista I-profiiliihiota on haastavaa leikata tarkkaan muotoon. Kun palkin laippa- sekä uumalevyt suunnitellaan itse, pystytään myös mahdolliset kiinnitysreiät tarvittaessa tuottamaan automaattisesti levyjen termisen leikkauksen yhteydessä. Reikien poraaminen erikseen valmiiseen I-profiiliin on työläämpää sekä kalliimpaa. Nämä asiat liittyvät rakenteen kustannusnäkökulmaan, jota tarkastellaan seuraavassa luvussa.

2.4 Kustannusten ja valmistettavuuden huomiointi

Konerakenteita suunniteltaessa on huomioitava *kustannukset*, jotka aiheutuvat esimerkiksi rakenteen valmistuksesta. Ne voivat rajoittaa suunnittelijan käytössä olevia mahdollisuuksia rakenteen toteuttamisen suhteen. Arvioiden mukaan suunnitteluvaiheessa määräytyy noin 70...80 % tuotteen valmistuskustannuksista. [16, s. 4] Oheisessa lisätauksessa on esitetty suunnittelijan vaikutusmahdollisuuksia kustannusten pienentämiseen. Lista perustuu työkseen koneensuunnittelua tekevien henkilöiden haastatteluihin.

1. Yksinkertainen ja kevyt rakenne. Osien ja hitsauksien minimointi.
2. Osien monikäyttöisyys sekä modulaarisuus (komponenttien vakiointi)
3. Materiaalin ja materiaalihiön valinta. Samojen aihioiden hyödyntäminen.
4. Valmistettavuuden huomiointi. Rakenteen laatuvaatimukset sekä toleranssit.
5. Kokoonpantavuuden huomiointi. Asennettavuus.
6. Kommunikointi tuotantohenkilöstön kanssa.
7. Huolellinen suunnittelu

Rakenteen osien määrä tulisi pyrkiä suunnittelemaan mahdollisimman pieneksi, jotta rakenne on yksinkertaisempi. Vähemmän osia tarkoittaa vähemmän työvaiheita eli valmistusajan nopeutumista sekä kustannusten laskua. Monimutkaisissa teräsrakenteissa materiaalin osuus valmistuskustannuksista on usein vain murto-osan työkustannuksiin verrattuna. [16, s. 6, 13] Kuvassa 2.5 vasemmalla esitetty esimerkkirakenne on hitsattu kahdesta erillisestä levystä (hitsisauma ei näy kuvassa). Kuvan oikeanpuoleisessa esimerkissä on saavutettu käytännössä sama lopputulos vain yhtä levyä taivuttamalla.



Kuva 2.5 Rakenne, joka on valmistettu kahdesta levystä hitsattuna tai yhdestä levystä taivutettuna. [mallinnettu SolidWorks-ohjelmistolla]

Hitsausliitoksia tulisi suunnitella rakenteeseen mahdollisimman vähän valmistuskustannusten minimoimiseksi. Kuvan esimerkeistä oikeanpuoleinen tapa on todennäköisesti parempi suunnitteluvalinta, sillä levyn taivutus on usein nopeampaa, edullisempaa sekä riskittömämpää kuin hitsaus. Esimerkiksi juuri rakenneosien taivutusmahdollisuuksia hyödyntämällä voi suunnittelija pienentää hitsausliitosten määrää rakenteissa. Rakenteet tulisi suunnitella lähtökohtaisesti myös mahdollisimman kevyeksi. Materiaalikustannusten lisäksi ylimääräinen massa vaikuttaa esimerkiksi tuotteen siirto- sekä kuljetuskustannuksiin sen elinkaaren aikana. [16, s. 6, 25] Haastatellun suunnitteluinsinöörin mukaan varsinkin mobiileissa eli liikkuvissa laitteissa (esimerkkejä kuvassa 2.1) on rakenteen massa suunnittelua merkittävästi rajoittava tekijä.

Rakenteissa tulisi hyödyntää samoja komponentteja mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin varastointi helpottuu ja osien käsittely nopeutuu. Jokaisen yksittäisen nimikkeen eli osan tiedollinen käsittely aiheuttaa kustannuksia. On päätettävä, kannattaako osat suunnitella sekä valmistaa itse vai onko edullisempaa käyttää alihankintaa. Erilaisten ostosien määrää tulisi myös minimoida, jotta yksikköhinta pysyisi pienempänä. Materiaalin valinnan lähtökohtana on edullisin vaihtoehto, joka ominaisuuksiltaan soveltuu rakenteeseen. Myös materiaalin saatavuus vaikuttaa. Rakenneosat olisi usein hyvä suunnitella samoista materiaaliyhioistä valmistettaviksi. Esimerkiksi ohutlevyissä on suotavaa käyttää paljon saman vahvuisia levyjä, jolloin voidaan tilata suurempia eriä samaa aihiokokoa. Suunnittelijan tulisi selvittää materiaaliyhioiden koko (esimerkiksi levyaihion äärimitat) toimittajalta, jotta osat pystytään suunnittelemaan niiden puitteissa. [16, s. 8, 12-13]

Ajoneuvoteollisuuden tuotesuunnittelijan mukaan tilausten eräkoolla on merkitystä valmistusmenetelmien valintaan. Mahdollisista vaihtoehtoisista valmistusmenetelmistä tulisi valita tehokkain sekä taloudellisin työmenetelmä toteuttaa laatuvaatimukset täytävä valmistus. [16, s. 6] Suunnittelijan tulisi lisäksi tiedostaa eri menetelmiin liittyvät reunaehdot, jotka rajoittavat suunnittelua. Liitosmenetelmistä hitsaus on teräsrakenteissa hyvin yleinen ja suunnittelija voi osaltaan vaikuttaa sen onnistumiseen. Hitsausliitoksen suunnittelunäkökulmaa on tarkasteltu luvussa 2.6.

Mitä tarkempia toleransseja eli vaatimuksia rakenteille asetetaan, sitä enemmän valmistuskustannukset nousevat. Toisaalta, jos puutteellisen toleroinnin takia kappaleen kokoonpano ei onnistukaan, ovat kustannukset aina suuremmat. Suunnittelija pystyy helpottamaan osaltaan kokoonpanotyötä suunnittelemalla osat aina oikein asemoituvaksi. Hankalia ovat esimerkiksi lähes symmetriset osat, joissa on suuri väärinasennuksen riski. [16, s. 48] Suunnittelijan on huomioitava lisäksi kokoonpanotyökalujen tilantarve. Esimerkiksi ruuviliitoksia suunniteltaessa on hyvä tiedostaa työkalun hylsyn vaatima tila. Voimalaitosteollisuuden suunnitteluinsinöörin mukaan tuotantohenkilöstön kanssa tulisi keskustella säännöllisesti sekä kysyä palautetta, millä tavoin he haluavat asioiden toteuttavan. Lisäksi eräs kokoonpanoon sekä käyttöön liittyvä suunnittelijan huomioitava seikka ovat koneen ja sen rakenteiden nostot. Konedirektiivi [10, s. 292] edellyttää koneiden täyttävien tietyt vaatimukset liittyen mahdollisiin nostotilanteista aiheutuviin vaaroihin. Tuotteen kokoonpanon nostoturvallisuudesta on kirjoittanut Matti Jääskö diplomityössään *Nostoturvallisuuden varmistaminen tuotekehitysprosessissa* [17].

Aiemmin esitetyn listan viimeisenä kohtana mainittiin hyvin olennainen kustannuksiin (sekä toimivuuteen ja turvallisuuteen) vaikuttava seikka: huolellinen suunnittelu. Inhimilliset virheet sekä epähuomiot aiheuttavat usein lisäkustannuksia. Esimerkiksi valmistuskustannuksiin liittyviä seikkoja on esitetty tarkemmin Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisussa *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen* [16].

2.5 Rakenteen kestävyys

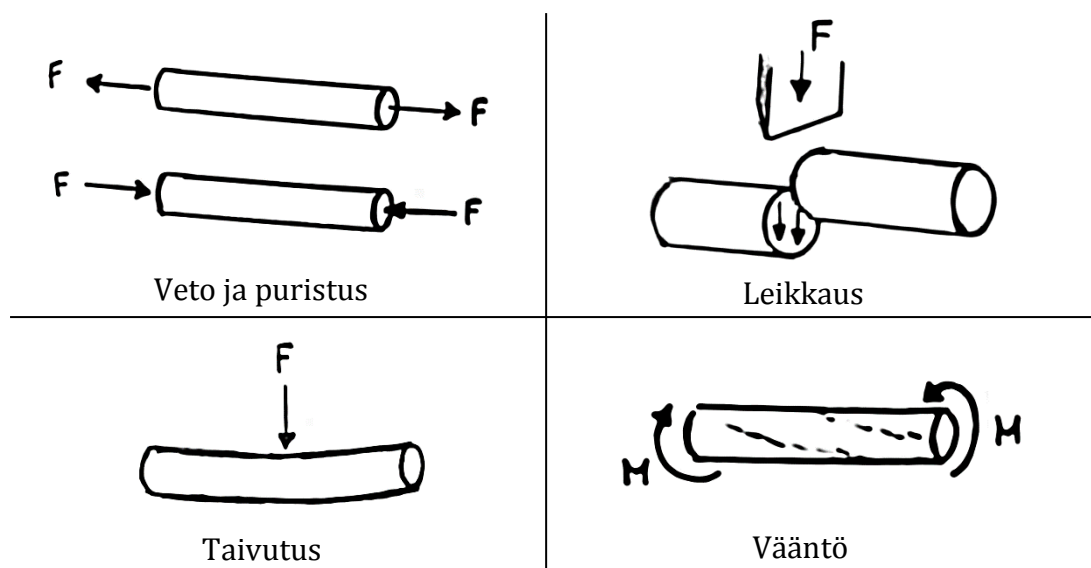
Konedirektiivi [10, s. 192] esittää (hieman yksinkertaistetusti) seuraavat vaatimukset:

- *Koneen eri osien ja liitosten on kestettävä niihin käytössä kohdistuvat kuormitukset.*
- *Käytettävien materiaalien on sovellettava työskentely-ympäristöön erityisesti niiden väsymisen, vanhenemisen, korroosion ja kulumisen osalta.*
- *Ohjeissa on ilmoitettava turvallisuuden kannalta tarpeelliset tarkastus- ja kunnossapitotoimenpiteet ja se, millaisin väliajoin ne on tehtävä.*
- *Jos murtumisen tai hajoamisen riski on edelleen olemassa toteutetuista toimenpiteistä huolimatta, kyseiset osat on asennettava, sijoitettava ja/tai suojattava siten, että sirpaleiden sinkoutuminen koneesta estyy ja vaaralliset tilanteet vältetään.*

Teräsrakenteiden kestävyysvaatimustenmukaisuuden täyttymiseksi voidaan soveltaa rakennustuotteiden suunnittelussa erityisesti käytettyä standardia EN 1993. [18, s. 2] Standardi tunnetaan myös nimellä Eurokoodi 3. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodi 3 antaa vaatimukset *teräsrakenteen* kestävyydelle, käytettävyydelle, säilyvyydelle sekä palonkestävyydelle. [19, s. 8] Eurokoodissa [20, s. 52-54] esitetään periaatteet rajatilamitoitukselle, jolloin tietyn tilan ylittämisen jälkeen rakenne ei enää täytä asianomaista mitoituskriteeriä. Mitoitus voi tapahtua murto- tai käyttörajatilan mukaan:

- *Murtorajatila liittyy rakenteen sortumiseen tai muuhun senkaltaiseen vaurioituvaurioitumiseen. Se vastaa yleensä rakenteen tai rakenneosan suurinta kestävyyttä. Kaikki ihmisten turvallisuuteen sekä rakenteiden varmuuteen liittyvät tilat ovat murtorajatiloja.*
- *Käyttörajatilan ylittämisen jälkeen rakenteelle tai rakenneosalle asetetut käyttökelppoisuusvaatimukset eivät enää täyty. (Esimerkiksi rakenteen tai rakenneosien toimintaan ja ulkonäköön sekä ihmisten mukavuuteen liittyvät tilat.)*

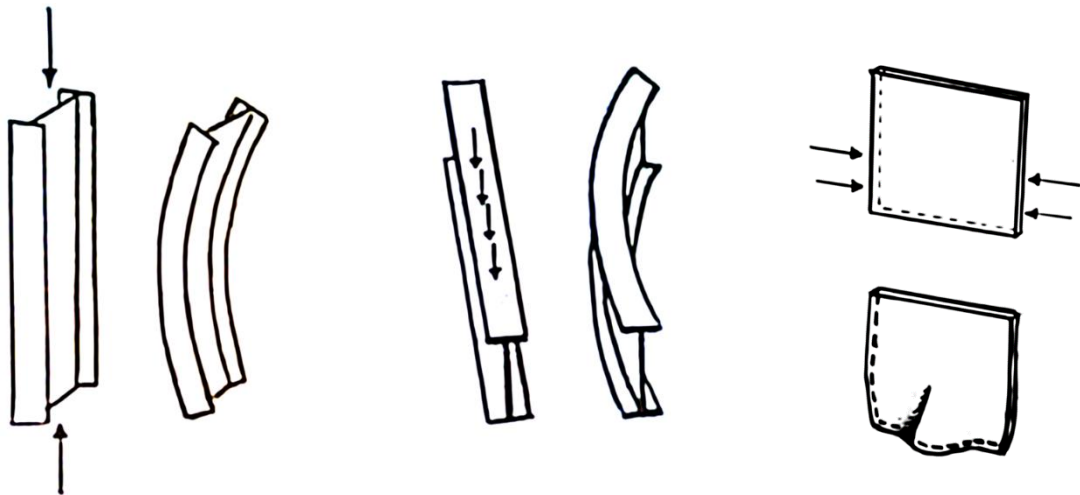
Eurokoodi 3 -standardin [19, s. 48] mukaiset murtorajatilat voivat olla esimerkiksi rakenneosien poikkileikkausten kestävyys, sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen tai liitosten kestävyys. Standardissa annetaan mitoituseriaatteet erilaisille kuormitustapauksille. Yksittäisen suoran palkin lujuusopilliset peruskuormitustapaukset on esitetty kuvan 2.6 piirroksissa.



Kuva 2.6 Suoran palkin peruskuormitustapaukset [Piirretty, mukailen 21]

Rakenteeseen vaikuttavat kuormitukset on oltava tiedossa, jotta tarvittavat kestävyyslaskelmat pystytään suorittamaan. Kuvassa ylhäällä vasemmalla on esitetty palkkiin vaikuttava aksiaalinen veto- sekä puristuskuormitus. Oikealla esitetyn leikkauskestävyyden tarkastelu tulee esille varsinkin tappien (ja ruuvien) yhteydessä. Teräsrakenteiden yhteydessä kuvassa 2.3 esitetyistä profiileista I-profiili on taloudellinen valinta sil-

loin, jos *poikkileikkaukseen* kohdistuu taivutusrasitus palkin vahvemmassa suunnassa eli uumalevyn suuntaisesti. Heikomman suunnan taivutusrasituksen kasvaessa suureksi tai poikkileikkauksen ollessa vääntökuormituksen alaisena on koteloprofiili parempi vaihtoehto. [3, s. 31] Varsinkin ohuempiin levymateriaaleihin siirryttäessä, on huomiota kiinnitettävä enemmän myös rakenteen stabiliteetti-ilmiöihin, kuten lommahdukseen. Kuvassa 2.7 on esitetty esimerkkejä rakenteen tasapainotilan häiriytymisestä niin, että rakenne nurjahtaa eri tavoin.



Kuva 2.7 Sauvan nurjahdus ja kiepahdus sekä levykentän lommahdus [Päärretty, mukailten 3, s. 108, 140]

Kuvassa vasemmalla puristettu sauva (I-palkki) menettää tasapainonsa ja nurjahtaa tässä tapauksessa heikomman akselinsa suhteen. Keskimmäisenä esitettyssä taivutustapauksessa sauvan puristettu laippa nurjahtaa sivusuunnassa eli tapahtuu kiepahdusilmiö. Tällöin sauva samalla kiertyy pituusakselinsa ympäri. Kiepahdusriski on suurempi hoikemmilla ja korkeammilla I-profiileilla. [3, s. 140] Kuvassa oikealla on esitetty levykentässä tapahtuva paikallinen nurjahdus eli lommahdus.

Standardissa Eurokoodi 3 [19] mitoituslaskenta perustuu tarkasteltavan poikkileikkauksen luokitukseen. Luokituksen perusteella tunnistetaan missä laajuudessa poikkileikkauksen *paikallinen lommahdus* rajoittaa poikkileikkauksen kestävyyttä sekä kiertymis-kykyä. Poikkileikkausluokka määräytyy puristetun osan leveys-paksuussuhteen, jännitystilän sekä myötörajan perusteella [19, s. 45-47]. Poikkileikkausluokkia on neljä ja saman rakenteen eri osat (esimerkiksi uuma ja laippa) voivat kuulua eri luokkiin. [3, s. 77] Vähiten suotuisimmassa poikkileikkausluokassa 4 osa puristetusta laipasta on tehontonta, mikä tarkoittaa, että laipassa on ylimääräistä terästä, joka ei kuitenkaan toimi poikkileikkauksen osana. Puristetuissa rakenteissa on suotavaa valita mitoituksen lähtökohdaksi vähintään poikkileikkausluokan 3 mukaiset mittasuhteet, jolloin saadaan poikkileikkauksen koko teräsmäärä teholliseen käyttöön, mutta paikallinen lommahdus ei pienennä poikkileikkauksen *taivutuskestävyyttä*. Tällöin myös mitoituslaskenta yksinkertaistuu. [3, s. 32] Yksikään IPE-palkki (eurooppalaisen standardin mukainen I-palkki) ei kuulu taivutuskuormituksessa luokkaan 4. [22] Hitsattujen levyrakenteiden

poikkileikkaukset valitaan usein taloudellisista syistä niin hoikiksi, että ne kuuluvat joko luokkaan 3 tai 4. [23, s. 40] Standardissa EN 1993-1-5 [24] esitetään suunnitteluvaatimuksia jäykisteellisille ja jäykisteettömille *levyrakenteille*. Esitetyt säännöt täydentävät standardin EN-1993-1-1 poikkileikkausluokille 1...4 esitettyjä sääntöjä. Lomahdus otetaan huomioon puristettujen osien tehollisten leveyksien perusteella muodostuvan tehollisen poikkileikkauksen avulla. Eurokoodin soveltamista palkkien mitoituksessa eri kuormitustilanteissa esitetään muun muassa Rautaruukki Oyj:n julkaisemissa EN 1993 -käsikirjoissa. Teoksissa [3; 4, s. 43] huomautetaan, että Eurokoodin suunnitteluohjeet saattavat vaikuttaa monimutkaisilta, mutta *”on hyvä muistaa, että suunnittelijan on aina sallittua tehdä sellaisia laskentaa helpottavia yksinkertaistuksia, jotka johtavat varmalle puolelle.”*

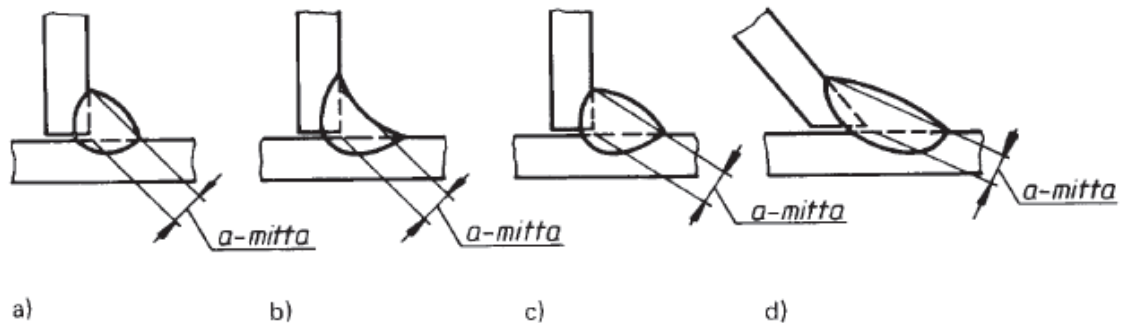
Lujuusopilliset laskentamallit ovat yksinkertaisimmillaan, mikäli rakenteen kuormitus on *staattista eli pysyy vakiona*. Usein staattisia laskentamalleja voidaan soveltaa hyvin tuloksin silloinkin, kun kuormitus ei ole täysin vakio. Mitoituksessa staattinen kuormitus mielletään tilanteeksi, jossa tutkittavan kohdan rasitukset ovat epäedullisimman käyttötilanteen mukaiset. [2, s. 14, 253] *Dynaamiseen eli ajan suhteen muuttuvaan* kuormitukseen liittyviä ilmiöitä, kuten väsymistä, koskevien rajatilojen tarkastelu liitetään rakenteen suunniteltuun käyttöikään [20, s. 52]. Väsymistarkastelu sekä staattinen kestävyystarkastelu ovat rinnakkaisia toisiaan täydentäviä lujuustarkasteluja ja ne ovat laskennallisesti aivan erilaisia. Väsymisilmiö on konerakenteissa yleisin vaurioitumistapa ja se liittyy hyvin vahvasti varsinkin hitsattujen rakenteiden suunnitteluun. [2, s. 85, 254, 276] Väsymistarkastelua käsitellään erikseen hitsausliitosten jälkeen luvussa 2.7.

2.6 Hitsausliitosten suunnittelu

Haastateltujen koneensuunnittelijoiden mukaan hitsausliitos on yleinen teräksisten konerakenteiden valmistuksessa käytettävä liitosmenetelmä. Hitsausliitosta suunniteltaessa on päätettävä liitoksen ja railon muoto sekä hitsin koko. Railokohdan sijoittuminen vaikuttaa hitsausasentoon, jolla on merkitystä valmistuskustannusten muodostumisessa. [2, s. 248] Liitoksen suunnittelussa on huomioitava myös hitsityökalujen vaatima tilantarve. Alla olevassa listassa esitetyt standardit tai niiden osat opastavat hitsausliitoksen suunnittelussa. Lisäksi Eurokoodi 3 soveltuvin osin opastaa sekä staattisesti että dynaamisesti kuormitettujen liitosten suunnittelussa sekä mitoituksessa.

- SFS 3052: Selittää hitsaussanastoon liittyvät yleistermit
- SFS-EN 1708: Antaa esimerkkejä yleisesti käytetyistä hyväksytyistä hitsausliitosten muodoista.
- SFS-EN ISO 9692: Esittää railomuodot ja niihin liittyvät hitsityypit, jotka soveltuvat terästen eri hitsausmenetelmille
- SFS 2373: Esittää hitsausliitosten suunnittelu- ja mitoitusohjeet staattisesti kuormitetuille teräsrakenteille

Käytetyin hitsityyppi levyrakenteiden liittämässä on pienahitsi. [25, s. 125] Pienahitsi tulee kysymykseen esimerkiksi liittoksessa, jossa liitososat muodostavat T-kirjaimen muodon. Pienahitsin mitoituslaskennassa käytettävä paksuus on *a*-mitta, jonka muodostuminen hitsin pinnanmuodon perusteella on esitetty kuvassa 2.8. Kuvan c-kohdassa esitetyn eripituiset kyljet omaavan pienahitsin käyttö on kuitenkin poikkeuksellista. Normaaleihin liittoksiin suositetaan tasakylkistä hitsiä. [2, s. 247]

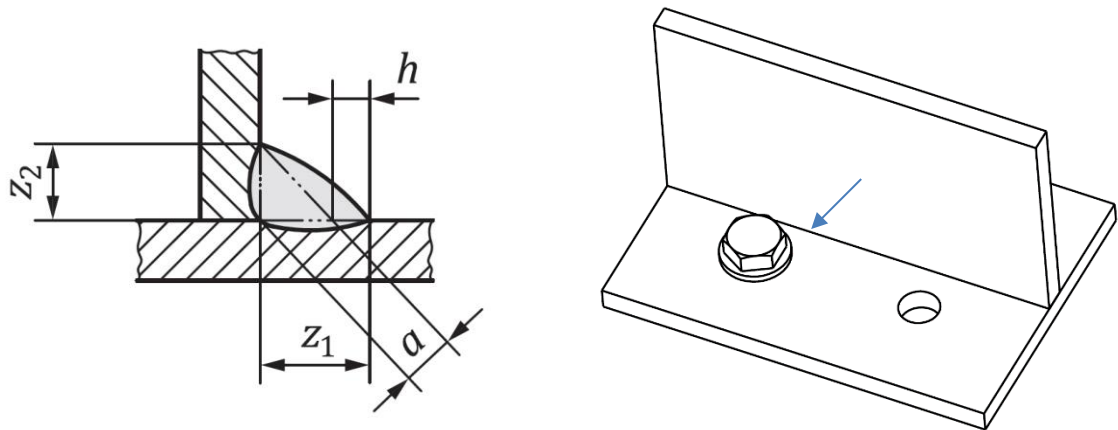


Kuva 2.8 Normaalin pienahitsin nimellisen *a*-mitan muodostuminen. [26, s. 7]

Suunnittelija merkitsee valmistuskuvaan hitsin koon (pienahitsillä *a*-mitta) esimerkiksi liitettävien osien paksuuden perusteella. Hitsin koko vaikuttaa tarvittavan hitsiaineen määrään ja sitä kautta myös hitsaustyön määrään eli valmistuskustannuksiin. Hitsipalko muodostuu, kun hitsataan yhden kerran työkappaleen päästä päähän. [27, s. 37] Yksi hitsi voi vaatia useita hitsipalkoja. Esimerkiksi palkojen määrän kasvaessa yhdestä kahteen, nousevat hitsauskustannukset kaksinkertaisiksi. Terästen hitsaukseen käytettävässä MAG-hitsausprosessissa suurin yhdellä palolla hitsattavan pienahitsin *a*-mitta on 4-5 mm riippuen hitsausasennosta. [25, s. 144-149] Standardin [26, s. 7] mukaan suunnittelussa pyritään mahdollisimman pieneen *a*-mittaan, joka on välillä 3...15 mm. Liian pienet hitsit jäähtyvät liian nopeasti, jolloin niiden mikrorakenne ei muodostu tarpeeksi sitkeäksi. Suuret *a*-mitat vaativat monipalkohitsausta, jolloin on huomioitava erityisesti myös hitsauksen lämpövaikutus sekä siitä seuraavat muodonmuutokset. Pääasiassa muodonmuutosten minimointi on valmistajan vastuulla, mutta suunnittelija voi edesauttaa muodonmuutosten ennaltaehkäisyä esimerkiksi sijoittamalla hitsirailot symmetrisesti rakenteen keskiakseliin nähden. [25 s. 357, 378] Lisäksi katkohaitsien käyttäminen vähentää muodonmuutoksia, mutta tällöin on huomioitava epäjatkuvuuskohtien vaikutus väsymiskestävyyteen sekä korroosioherkkyyteen.

Standardi SFS-EN ISO 5817 esittää hitsin laatua kuvaavat hitsiluokat. Hitsi voi kuulua joko B, C tai D-luokkaan, joista B-luokassa on tiukimmat vaatimukset. Konepajatuotannossa yleisimmin käytetty hitsiluokka on C, jonka ammattitaitoinen hitsaaja saavuttaa tavanomaisissa konepajaolosuhteissa. [25, s. 46] Hitsin toleranssi määräytyy hitsiluokan mukaan. Esimerkiksi pienahitsin koko ei välttämättä ole tasan nimellisen *a*-mittansa mukainen vaan se voi vaihdella toleranssin sisällä. Suunnittelijan on rakenteiden osien sijoittelussa otettava huomioon hitsin vaatima tilantarve. Standardin [28, s. 26] mukaan hitsiluokassa C tasakylkisen pienahitsin kateetin pituus voi olla kateetti-

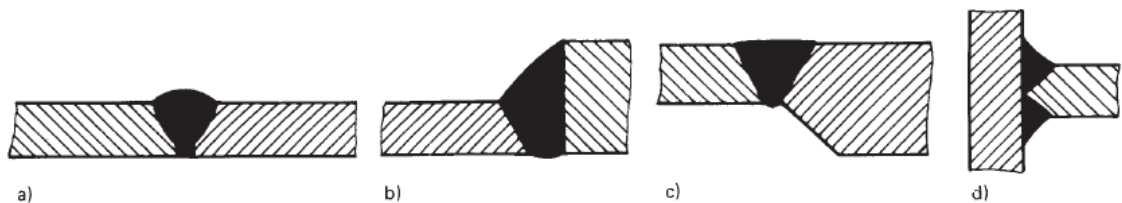
poikkeaman $h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$ verran nimellisarvoa suurempi. Tämä on esitetty kuvassa 2.9. Lisäksi kuvassa havainnollistetaan tilannetta, jossa rakenteen muu osa on sijoitettu liian lähelle hitsisaumaa (paikka osoitettu nuolella).



Kuva 2.9 Pienahitsin kateettipoikkeama [28, s. 26] sekä esimerkkirakenne, jossa hitsisauma on liian lähellä rakenteen muita osia [mallinnettu SolidWorks-ohjelmistolla]

Esimerkiksi C-hitsiluokan a3-pienahitsin kateetin z_1 vaatima tila voi olla suurimmillaan 6,7 mm. Kuvassa 2.9 on oikealla esitetty rakenne, jossa ruuvin vapaareiän sekä levyn väliin mahtuu teoriassa sauman hitsaamaan, mutta sijoitettaessa ruuviliitoksen osat paikalleen kokoonpanossa, ottaa ruuvin aluslevy kiinni hitsisaumaan. Tämä on epäedullista sekä ruuvi- että hitsausliitokselle. Tässä tapauksessa reikien siirtämisen vaihtoehtona on esimerkiksi läpihitsattava puoli-V-railo.

Hitsausliitoksen *staattinen mitoitus* perustuu liitoksen kantokykyyn eli murtokuormaan. Konerakenteissa rasituksia osasta toiseen välittävät liitokset suunnitellaan usein tasalujuiksi (esimerkiksi läpihitsatuksi), jolloin ne ovat vähintään yhtä kestäviä kuin liitettävä osa. [2, s. 249] Esimerkiksi kuvan 2.10 esittämien läpihitsattujen liitoksien kantokykyä ei tarvitse erikseen laskea, sillä hitsiaineen lujuus on vähintään sama kuin perusaineella. Tällöin mitoitus määräytyy rakenneosien lujuuden mukaan. [26, s. 4-5]



Kuva 2.10 Läpihitsattuja päittäisliitoksia sekä T-liitos [26, s. 5]

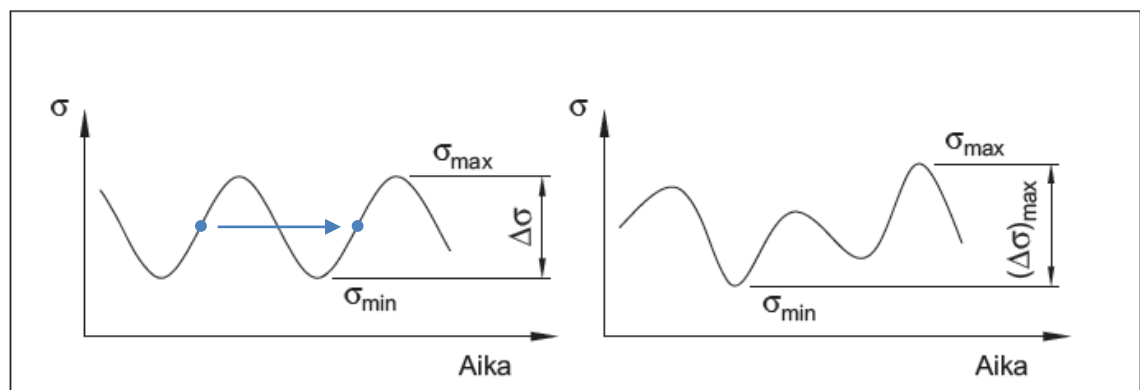
Kuvan kohdissa a...c on esitetty päittäisliitoksia ja d-kohdassa T-liitos. Liitoksen suunnitteluun vaikuttavat hitsille asetetut vaatimukset. Pienahitsi on usein taloudellinen vaihtoehto läpihitsattaviin liitoksiin verrattuna. Suunnittelijan tehtävä onkin tunnistaa, mitkä hitsit voidaan suunnitella heikommiksi kuin liitettävät rakenneosat, jolloin pystytään saavuttamaan kustannussäästöjä ylimääräistä hitsausta välttämällä. Yksinkertainen

staattisesti kuormitetun hitsausliitoksen mitoitustehtävä voi olla esimerkiksi nostokorvakkeen hitsien kantokyvyn laskenta. [2, s. 248, 254] Hitsausliitoksen *väsymiskestävyys* on tavallisesti pienempi kuin liitoskappaleiden perusaineen. Hitsaustyön laatu vaikuttaa merkittävästi rakenteen väsymiskestävyyteen. Aiemmin kuvassa 2.8 esitetyistä pienahitsin pinnanmuodoista väsymiskestävyydeltään paras on b-kohtan kourumainen hitsi, jossa liitoskappaleet yhdistävä pinta on kaikkein juohevin. [25, s. 46, 100] Rakenteen dynaamiset kuormitukset otetaan huomioon väsymistarkastelulla, jonka periaate on esitetty seuraavassa luvussa.

2.7 Väsymistarkastelu

Väsyminen on dynaamisen eli vaihtelevan kuormituksen aiheuttamaa tietyn ajan kuluessa tapahtuvaa vaurioitumista. Väsymisilmiö alkaa särön ydintymisellä yleensä johonkin kappaleen pinnan epäjatkuvuuskohtaan. Epäjatkuvuuskohtia voivat olla esimerkiksi hitsisaumat tai korroosion sekä iskujen aiheuttamat jäljet. Tyypillinen paikka särön ydintymiselle on hitsin ja perusaineen rajaviivalla. Kuormitettu väsymissärö kasvaa vähitellen, kunnes rakenne lopulta murtuu. Lopullinen murtuminen voi olla hyvinkin nopea ja johtua särön seurauksena jäljelle jääneen vähäisemmän poikkipinnan ylikuormittumisesta. Tutkimusten mukaan noin 80...90 % kaikista konevaurioista johtuu rakenteen väsymisestä. [2, s. 85] Rakenteiden väsymismitoitus eli kestoikäennuste perustuu käytännössä empiirisiin havaintoihin, kuten väsytykskokeisiin. Rakenteen kestoikä tarkoittaa murtumaan johtavien *jännitysvaihteluiden* lukumäärää. [2, s. 24, 95 ja 276-280; 3, s. 425-426]

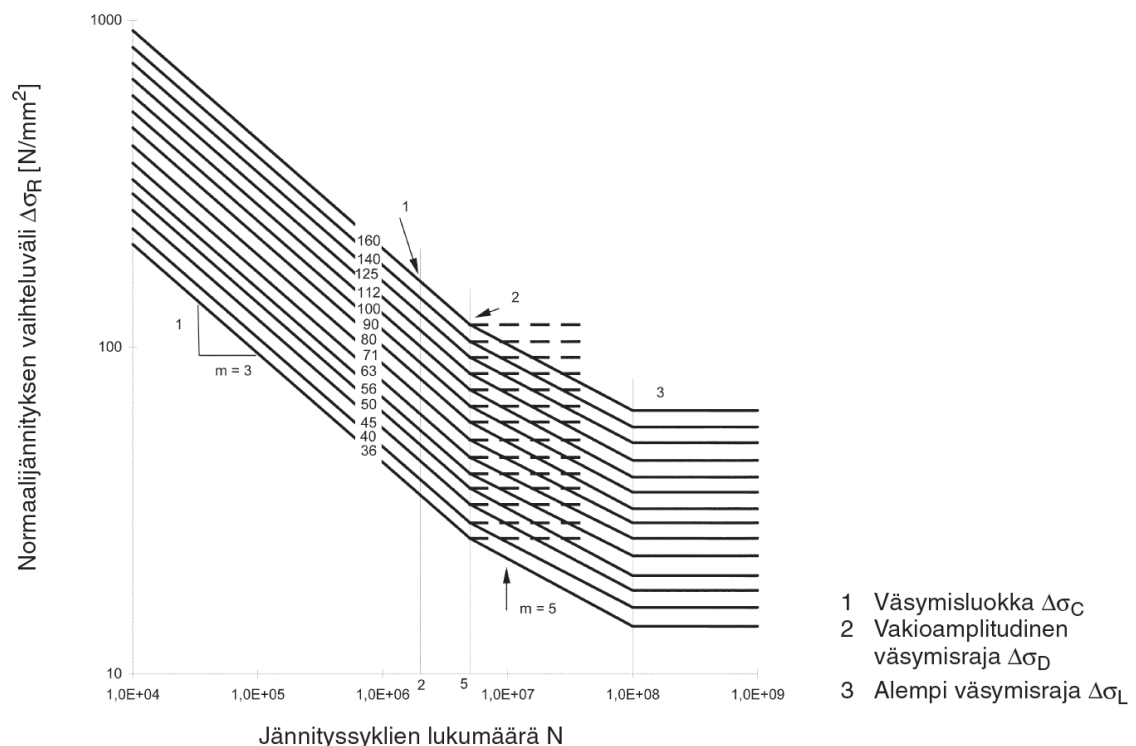
Jännitysvaihteluun liittyviä määritelmiä sekä metallien väsytykskokeiden periaatteet on esitetty suomalaisessa standardissa SFS 3099. Vaihtelevan kuormituksen rakenteeseen aiheuttama jännitysvaihtelu voi olla joko vakio tai muuttuva, kuten kuvassa 2.11 on esitetty.



Kuva 2.11 Vakio- ja muuttuva-amplitudisen kuormituksen aiheuttama jännitysvaihtelu [muokattu 3, s. 425]

Kuvan 2.11 kuvaajat esittävät kuormituksesta aiheutuvan jännityksen σ muuttumista ajan suhteen. Vasemmalla esitetty vakioamplitudinen kuormitus esiintyy esimerkiksi tasaisesti pyörivissä koneenosissa, kuten akseleissa. Sinisellä nuolella on kuvaajassa osoitettu yhden *jännitysjakson eli -syklin* pituutta. Vakioamplitudisen akselin tapauksessa yksi sykli vastaa yhtä kierrosta akselin ympäri. Todellinen kuormitus on kuitenkin lähes aina muuttuva-amplitudista eli tarkasteltavan rakenneyksityiskohdan jännitysvaihtelu muuttuu ajan suhteen, kuten oikeanpuoleisessa kuvaajassa. Väsymismitoitusta varten täytyykin kuormitus muuttua ensin käyttökelpoiseen muotoon. [3, s. 428] Muuttuva-amplitudisen kuormitusmallin muodostamiseen voidaan soveltaa esimerkiksi Eurokoodin 3 osan 1-9 liitettä A, jolloin jännitysvaihtelujen kertymän laskemiseksi käytetään esimerkiksi niin sanottua vesisäiliö-menetelmää [29, s.10]. Menetelmästä löytyy lisätietoa muun muassa Koneenosien suunnittelu -kirjasta [2, s. 291].

Eurokoodissa [29, s. 6] väsymisen arviointiin käytetyt menetelmät perustuvat väsytykokeiden tuloksena saattuihin *S-N-käyriin*, joissa kuvataan jännitysvaihteluvälin (Stress range) ja murtumiseen johtavien kuormituskertojen lukumäärän suhdetta [3, s. 430]. Kuvassa 2.12 on standardissa esitetty kuvaaja, jonka sisältämien S-N-käyrien avulla voidaan määrittää eri rakenneyksityiskohtien väsymislujuus.



Kuva 2.12 Väsymislujuuden käyrät normaalijännitysten vaihteluväleille [29, s. 15]

Kuvaajassa jännitysvaihtelu muodostuu normaalijännityksistä (hitseillä akselia vastaan kohtisuorista jännityksistä). Leikkausjännityksille on erilliset väsymislujuuden käyrät. Jännitysvaihteluvälin (pystyakseli) sekä kuormituskertojen lukumäärän (vaaka-akseli) asteikot ovat logaritmisia. Rakenteen yksityiskohdan väsymislujuus määräytyy *väsymis-*

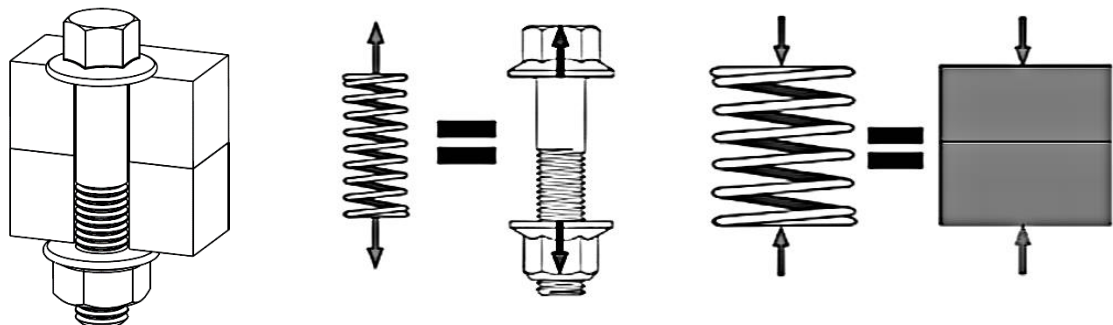
luokan mukaan. Väsymisloukka on ilmaistu kuvassa symbolilla $\Delta\sigma_c$ ja se vastaa väsymisloukkuutta jännityssykliden määrän ollessa 2 miljoonaa (nuolen 1 esittämä kohta). Jokainen käyrä vastaa yhtä väsymisloukkaa (36...160) ja väsymisen arviointiin valittava käyrä riippuu rakennetyiskohdasta. Korkeimpiin väsymisloukkiin päästään ainoastaan hitsaamattomilla rakenteilla. Kuvaajassa on nuolella 2 esitetty vakio- ja nuolella 3 muuttuva-amplitudisen kuormituksen väsymisrajaa. Eurokoodiin 3 perustuvan Rautaruukki Oyj:n rakennekäsikirjan [3, s. 432] mukaan jännitysvaihteluvälin ollessa väsymisrajan alapuolella rakenteen kestoikä voidaan olettaa äärettömäksi. Eurokoodia [29, s. 6] sovelletaan kuitenkin pääasiassa rakennustuotteisiin, joissa ei esiinny konerakenteille mahdollisia hyvin suuria kuormitustaajuuksia, joten konerakenteissa on harkittava Eurokoodin esittämien menetelmien soveltuvuus. Erilaisten rakennetyiskohtien väsymisloukkia on esitetty Eurokoodin 3 osan 1-9 taulukoissa 8.1-8.10. [3, s. 431; 29, s. 9, 19]

Kun jännityksen vaihteluväli on saatu selville, voidaan sitä verrata tarkasteltavan rakennekohdan väsymisloukkaa vastaavaan syklimäärään. Kun yhteen jännityssykliin kuluva aika on tiedossa, voidaan muodostaa arvio rakenteen kestoikästä esimerkiksi käyttötunteina. Mitoituksessa on muistettava ottaa huomioon rakenteelta vaaditut varmuuskerroimet. Väsymiskestävyyttä voidaan parantaa joko nostamalla kriittisen kohdan väsymisloukkaa (esimerkiksi vaihtamalla korkeampaan hitsiluokkaan) tai pienentämällä kohtaan vaikuttavaa jännitysvaihtelua (esimerkiksi juoheammalla muotoilulla).

2.8 Ruuviliitos

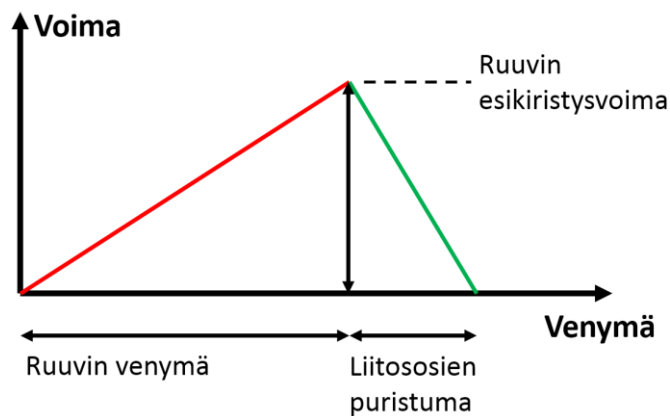
Ruuviliitos on konerakenteissa yleisin irrotettava liitos. [2, s.161] Ruuviliitoksen taustalla oleva teoria on hyvä tiedostaa, sillä ero hyvin kiristetyn sekä löysän liitoksen kestävydessä voi olla miljoonia kuormitussyklejä [30]. Suunnittelija voi myös osaltaan vaikuttaa ruuviliitoksen luotettavuuteen. Tasakärkistä, kaksi osaa toisiinsa mutterin avulla liittävä ruuvia kutsutaan usein pultiksi.

Kuvitellaan kuvassa 2.13 vasemmalla esitetty tilanne, jossa kaksi levyosaa ovat pultin ja hennosti kierretyn mutterin välissä.



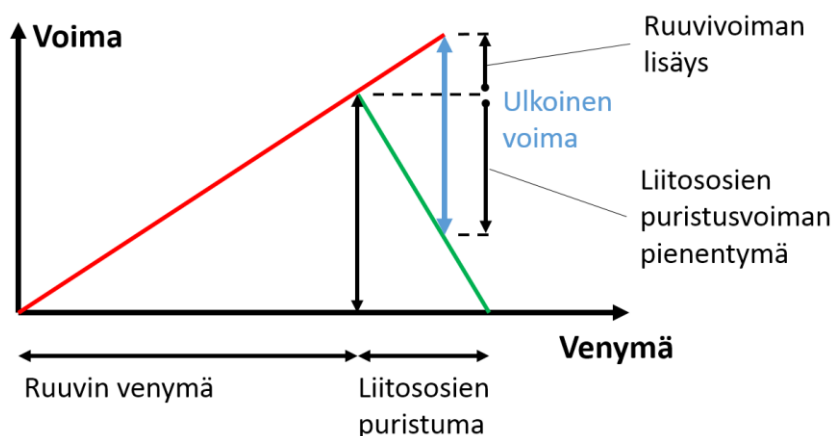
Kuva 2.13 Ruuviliitoksen teorian havainnollistaminen; liitosta kiristettäessä ruuvi venyy (kuin jousi) ja liitososat kokoonpuristuvat [muokattu 31]

Kun liitosta nyt kiristetään käyttäen enemmän voimaa, on seurauksena, että elastinen (teräksestä valmistettu) pultti venyy jousen kaltaisesti. Tätä on havainnollistettu kuvassa 2.13 keskellä. Samalla myös liitoscappaleet kokoonpuristuvat, jolloin ne käyttäytyvät puristuvan jousen tavoin. Esikiristetty pultti sekä liitoscappaleet muodostavat yhdistetyn jousisysteemin, jolloin pultissa vaikuttava vetokuormitus on tasapainossa liitososissa vaikuttavan puristuskauormituksen kanssa. Lineaarisesti käyttäytyvän symmetrisen pulttiliitoksen havainnollistamiseksi on laadittu kuvassa 2.14 esitetty kuvaaja. Siinä punaisen suoran kulmakerroin vastaa ruuvien, ja vihreä alustan jousivakiota. [2, s. 197; 30; 31]



Kuva 2.14 Kuvaaja ruuviliitoksen havainnollistamiseksi [mukaillen, 30]

Ruuvien esikiristysvoima vastaa liitososia puristavaa voimaa, jolloin muodostuu kuvaajan esittämä kolmio. Kun lisätään kuvaajaan liitokseen vaikuttava ulkoinen aksiaalivoima, saadaan kuvan 2.15 esittämä esikiristetyn ruuviliitoksen kuormitus-venymä-piirros. [2, s. 197; 30]



Kuva 2.15 Esikiristetyn ruuviliitoksen kuormitus-venymä-piirros [mukaillen, 30]

Kuvaajasta voidaan nyt havainnoida, että esikiristysvoiman aikaansaama puristusvoima liitoscappaleissa vähenee ja vain osa ulkoisesta kuormasta vaikuttaa pulttiin. Ruuviin aiheutunut lisävoima on sitä pienempi, mitä suurempi on alustan ja ruuvien jousivakioiden suhde. Kuvassa tämä näkyy niin, että ruuvien venymä on suuri verrattuna liitososien

puristumaan. Varsinkin väsyttävän kuormituksen alainen ruuviliitos kannattaa suunnitella niin, että suhde tulisi suureksi. Tällöin siis ruuvin jousivakio suunnitellaan pieneksi. Esimerkiksi, mitä pidempi ruuvi on, sitä pienempi on ruuvin jousivakio. [2, s. 197-198] Tästä syystä joissain liitoksissa käytetään esimerkiksi venymäholkkeja, joiden avulla saadaan ruuville lisää pituutta.

Jos ulkoinen voima on niin suuri, että kuvan 2.15 kuvaajassa esitetty sininen viiva osuu suoraan vaaka-akselille, liitososien kokoonpuristuma häviää kokonaan. Tällöin ruuvin kiristykseen aiheuttama kitka on riittämätön ja liitososat erkanevat toisistaan, jolloin ruuviin kohdistuu ei-lineaarisia kuormituksia, kuten leikkausta. [30] Konerakenteissa pyritään välttämään leikkaukseen joutuvia liitoksia, koska niissä tapahtuvia siirtymiä on vaikea ennustaa etukäteen ja usein seurauksena on koneen toiminnan häiriytyminen. Rakennuspuolella sen sijaan monissa kantavissa teräsrakenteissa sallitaan ruuviliitosten yhteydessä myös jonkin verran plastisia muodonmuutoksia sekä liitososien välistä liukumista. [2, s.225]

Ruuviliitoksen olisi säilytettävä riittävä kireys koko suunnitellun elinikänsä ajan. Perusehtona ruuviliitokselle on, että esikiristysvoimasta sekä ulkoisen voiman aiheuttamasta lisävoimasta syntyvä vetojännitys ei saa nousta ruuvin myötörajalle missään kuormitusolosuhteissa. Lisäksi ruuvin kannan ja alustan tai mutterin ja alustan välinen pintapaine ei saa ylittää kyseessä olevan materiaalin rajapintapainetta. Koska pintapaine riippuu keskenään koskettavien pintojen yhteisestä alasta, voidaan pintapainetta pienentää suurentamalla kosketuspintaa-alaa. [2, s.235] Yleinen tähän käytetty menetelmä on aluslevyjen käyttö ruuvin kannan tai mutterin ja liitospinnan välissä, jolloin ruuvin kiristäminen myös helpottuu. [2, s. 178] Eurokoodin 3 osan 1-8 Suomen kansallisessa liitteessä *suositellaan* käytettävän vain ruuvin lujuusluokkia 8.8 (yleisin) ja 10.9. [18, s. 96] Ruuvin lujuusluokkamerkintä 8.8 tarkoittaa, että ruuvin vetomurtolujuuden nimellisarvo on 800 MPa ja myötörajan nimellisarvo on $0.8 * 800 \text{ MPa} = 640 \text{ MPa}$. Yleisimmin kiinnitystarvikkeiden pintakäsittelymenetelmänä konerakenteissa on sähkösinkitys. [2, s. 183] Yli lujuusluokan 10.9 olevia kiinnitystarvikkeita ei suositella sähkösinkittävän vetyhaurausriskin takia, jossa pinnoitusprosessissa kehittyvä vety voi haurastuttaa metallin rakennetta ennakoimattomasti. [32, s. 15] Haastatellun mekaniikkasuunnittelijan mukaan esimerkiksi lujuusluokan 12.9 kiinnikkeille voi olla tarpeen tarkastella muita saatavilla olevia pinnoitusvaihtoehtoja, mikäli kyseistä lujuusluokkaa halutaan käyttää. Rakenteiden korroosionestoa käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

Riittävän kitkan säilyttäminen ruuviliitoksessa on kiinnipysymisen perusedellytys. Yleisin syy tehollisen kitkan vähenemiseen ja mutterin avautumiseen on liitoksen osien värähtely. Konerakenteissa käytetään paljon esimerkiksi aukikiertymistä vastustavia lukkomuttereita. Lisäksi aukikiertymistä voidaan estää lisäämällä kitkaa liitettävien osien välillä. Arto Verhon [2, s. 240] mukaan parhaita tapoja liitoksen varmistamiseen ovat suuri esikiristys, joustava (pitkä) luja ruuvi, kierteen liimaus sekä hammastettujen mut-

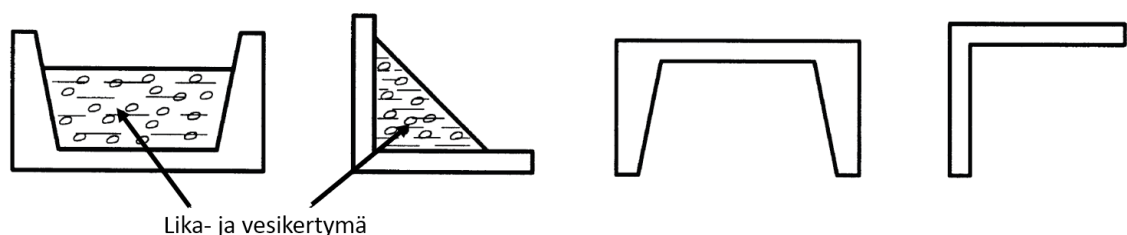
terien ja ruuvien käyttö. Erityisen tärkeää on ruuviliitoksen *oikeanlainen esikiristys*. Kiristysmomentti ei saisi olla liian pieni, muttei myöskään liian suuri. Verhon [2, s. 234] mukaan tavanomaisessa konepajakäytännössä käsivaraiskireyteen esimerkiksi lenkkiavaimella kiristettäessä lujuusluokan 8.8 ruuveista tulee likimäärin oikein kiristetyksi vain M12-kokoinen ruuvi. Pienemmillä ruuveilla on tapana tulla liian tiukkaan kiristetyiksi ja suuret jäävät usein liian löysälle. Tämän vuoksi on hyvä suosia M12-kokoisia (8.8) ruuveja tilanteissa, joissa esimerkiksi asiakas joutuu huollon yhteydessä kiristämään ruuveja ilman kiristysmomenttia mittaavia työkaluja. Kiristysmomentit esikiristetyksen sallitun maksimiarvon saavuttamiseksi lujuusluokkien 8.8, 10.9 ja 12.9 ruuveille on esitetty esimerkiksi standardin SFS-EN 13001-3-1 liitteessä B [12].

2.9 Korroosionesto

Suunnittelijan on huomioitava rakenteen korroosion kestävyydelle sekä ulkonäölle asetetut vaatimukset, jotka vaikuttavat myös rakenteen mitoitukseen sekä muotoiluun. [16, s. 51] Pintakäsittelymenetelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi rakenteen suunniteltu käyttöikä sekä käyttöympäristö. Yleinen korroosionestomenetelmä teräsrakenteille on suojamaalaus, jota käsittelee standardi SFS-EN ISO 12944. Standardin osassa 3 tarkastellaan rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia ja sen mukaan *korroosioneston suunnitteluperusteet* sisältävät muun muassa seuraavaa [33]:

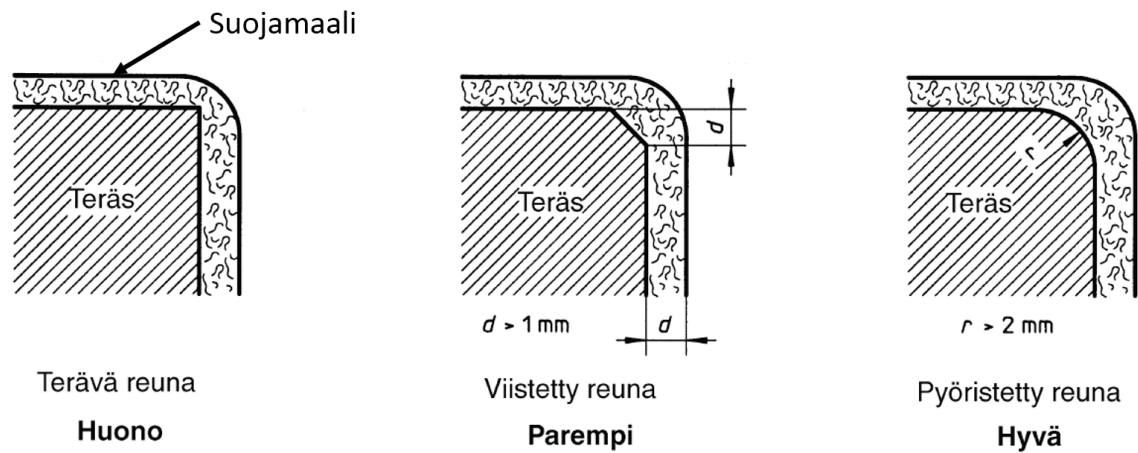
- *Teräsrakenteiden korroosiorasituksille altistuvia pintoja tulisi olla vähän.*
- *Rakenteessa tulisi olla mahdollisimman vähän epäsäännöllisyyksiä (esim. limityksiä, kulmia, reunoja).*
- *Liitokset olisi suositeltavaa tehdä mieluummin hitsaamalla kuin pulttaamalla, jotta saavutettaisiin tasaisempi kokonaispinta.*
- *Epäjatkuvia hitsejä tulisi käyttää vain kohteissa, joissa korroosiovaara on merkityksellinen.*

Käytännössä rakenteen kaikki liittymäkohdat tulisi siis hitsata kokonaan ympäri parhaan korroosiokestävyyden saavuttamiseksi. Haastatellun suunnitteluinsinöörin mukaan hitsaamattomien saumojen yhteydessä on käytetty esimerkiksi tiivistysmassaa täyttämään rakenteen epäjatkuvuuskohtia ennen suojamaalausta. Rakenteellisetkin valinnat vaikuttavat korroosionkestävyyteen. Esimerkiksi kuvassa 2.16 on standardin [33] esittämiä suunnittelukeinoja lika- ja vesikertymien välttämiseksi.



Kuva 2.16 Kertymien välttäminen suunnittelukeinoin [muokattu 33, s. 22]

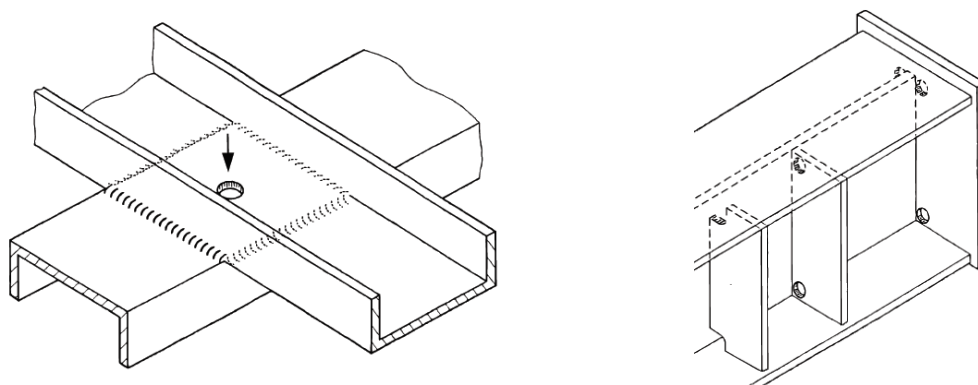
Suunnittelijan tulisi välttää sellaisia pinnan muotoja, joihin voi kertyä esimerkiksi vettä ja likaa, sillä seurauksena on korroosiorasituksen kasvua. Kuvan 2.17 esimerkissä sen sijaan on havainnollistettu terävien kulmien vaikutusta pintakäsittelyn korroosiosuojaan.



Kuva 2.17 Terävien reunojen välttäminen standardin mukaisesti [muokattu 33, s. 26]

Pyöristetyt reunat ovat suotavia, koska suojapinnoite levittyy niihin tasaisesti ja riittävän paksuna kerroksena. Korroosionestoa vastaan suositellaankin kaikkia valmistusprosesseissa syntyneitä teräviä reunoja pyöristettäväksi tai viistettäväksi. [33, s. 10]

Haastatteluiden mukaan suojamaalauksen lisäksi toinen käytetty menetelmä korroosion hidastamiseksi on sinkkipinnoite, joka suojaa terästä estekerroksena sekä galvaanisesti. Galvaanisessa suojauksessa kahdesta metallista epäjalompi syöpyy, esimerkiksi tässä tilanteessa sinkki ”uhrautuu” suojaten teräsrakennetta korroosiolta. Sinkkipinnoitteita käsitellään standardissa SFS-EN ISO 14713. Sinkitysmenetelmiä ovat esimerkiksi sähkö- ja kuumasinkitys, joista sähkösinkitys sopii erityisesti pienille osille. Yleisin sinkitysmenetelmä on kuumasinkitys, jossa esikäsitelty teräsrakenne upotetaan sulaan sinkkiin ja rakenteelle muodostuu sinkkipinnoite. [34, s. 8; 35] Kuumasinkittävän rakenteen tulee olla suunniteltu niin, että sinkkikylvyn jälkeen ylimääräinen sinkki pääsee valumaan vapaasti pois rakenteen pinnoilta esimerkiksi reikien ja aukkojen kautta. Kuumasinkitystä varten muotoiltuja rakenteita on esitetty kuvassa 2.18.



Kuva 2.18 Rakenteisiin suunniteltuja reikiä kuumasinkityksen sulametallivirtauksia varten [32, s. 24, 26]

Kuumasinkittävän rakenteen ei tule sisältää taskuja tai onkaloita, joihin sinkki voisi kertyä. Suljettuihin onkaloihin (esimerkiksi tasopintojen väliin) kertyneen sinkin vaikutuksesta muodostuneet voimat voivat aiheuttaa jopa räjähdyksiä, jotka aiheuttavat vaarallanteita pintakäsittelyn suorittajille. Tämän ehkäisemiseksi on kuvan vasemmassa esimerkissä porattu reikä rakenteen läpi. Pintojen muodosta riippuen, voi olla tarpeen porata useampi reikä. Oikeanpuoleisessa esimerkissä on suunniteltu taskumaiseen rakenteeseen aukko, josta sulametallivirtaus pääsee kulkemaan. [32, s. 24, 26] Suunnittelijan tulisi perehtyä esimerkiksi standardin suunnitteluohjeisiin kuumasinkittyjä rakenteita suunnitellessaan.

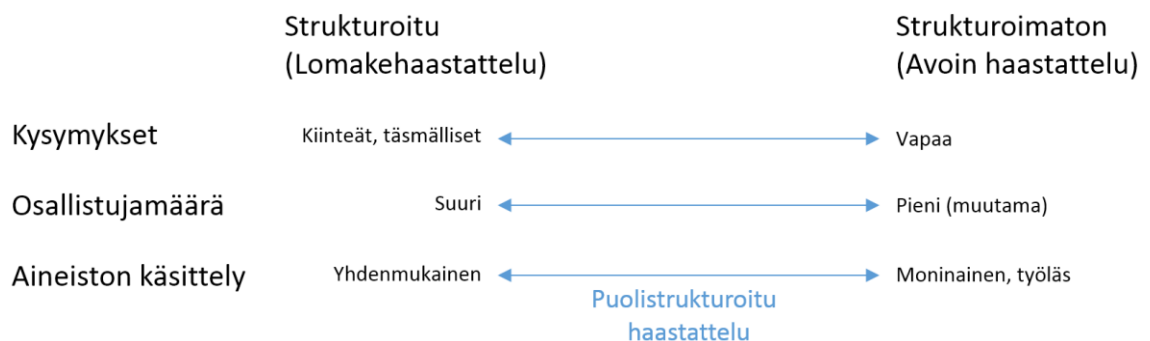
Haastattelun mukaan sinkitys voi olla suojamaalausta taloudellisempi vaihtoehto kuin maalaus esimerkiksi silloin, jos on paljon pieniä yksittäisiä rakenneosia. Voi olla esimerkiksi valmistuksellisesti helpompaa upottaa joukko osia kuumasinkityspataan kuin ruiskumaalata jokainen yksitellen. On kuitenkin huomioitava myös ulkonäköseikat, joihin suojamaalauksen suosio osittain perustuu.

3. TUTKIMUSMENETELMÄ

Työn tavoitteena oli konerakenteiden opetussisällön kehittäminen tuomalla esille erityisesti työelämään liittyviä suunnittelunäkökulmia. Aluksi tuli miettiä, kuinka tavoite voidaan saavuttaa. Arkielämän sosiaalisessa kanssakäymisessä *kysyminen* on ensisijainen ratkaisu tiedonpuutteeseen. [36, s. 9] Kun kysytään sopivasti valituilta henkilöiltä määriteltyyn ongelmaan liittyviä kysymyksiä, syntyy aineistoa, jota pystytään analysoimaan. Analysoinnin perusteella tehdyistä johtopäätöksistä voidaan saada apua varsinaisen tavoitteen saavuttamiseksi. Nämä ovat haastattelututkimusprosessin vaiheita. [1, s. 8] Tämänkin työn tavoite pyrittiin saavuttamaan hyödyntäen haastatteluiden myötä kertynyttä aineistoa. Tarja Tiaisen [1, s. 5] mukaan haastattelututkimuksen tavoitteena on saavuttaa tietoa todellisuudesta. Tässä työssä sen ajatellaan tarkoittavan, että valituilla haastateltavilla on hyvä käsitys siitä, mitä konerakenteiden suunnittelu työelämässä vaatii.

3.1 Haastattelutyypit

Rakenteellisesti haastattelutyyppeiden ääripäissä ovat lomakehaastattelu sekä avoin haastattelu. Lomakehaastattelun kysymykset esitetään valmiiksi määritellystä kysymysluettelosta määrättyssä järjestyksessä. Avoimessa haastattelussa kysymykset muodostuvat haastattelun aikana lähinnä haastateltavan vastausten perusteella. Haastattelutyyppeiden ääripäiden piirteitä on esitetty kuvassa 3.1. [1, s. 2; 37, s. 44-47]



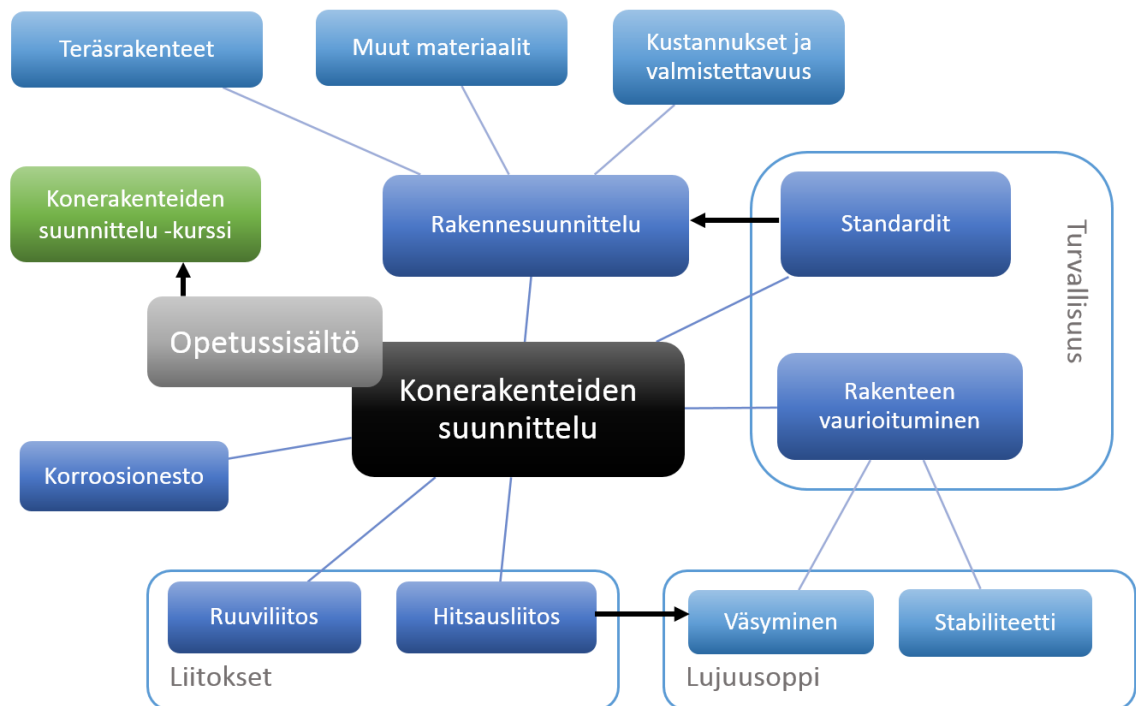
Kuva 3.1 Haastattelutyyppeiden ääripäiden piirteitä [mukaillen 1, s. 2]

Ääripäiden välissä on molempien tyyppien piirteitä sisältävä *puolistrukturoitu haastattelu*. Tällöin jokin haastattelun näkökohta on lyöty lukkoon, mutta ei kaikkia. Esimerkiksi kysymykset voivat olla kaikille haastateltaville samat, mutta haastattelija voi vaihdella kysymysten muotoa sekä järjestystä. Haastateltavat saavat vastata kysymyksiin omin sanoin. [37, s. 47]

Kaikissa haastatteluissa käytettiin samaa osittain strukturoitua aihealuepohjaa, mutta haastatteluihin sisältyi myös vapaata keskustelua eri *teemoista*. Haastatteluissa olikin niin sanotun teemahaastattelun piirteitä, jossa edetään valmiiksi määrättyjen teemojen mukaisesti. Samat konerakenteiden suunnitteluun liittyvät teemat käytiin läpi kaikkien osallistujien kanssa. Muodostetut suosituskysymykset esitettiin jokaiselle haastateltavalle melko samalla tavalla, joten haastattelut olivat hieman strukturoidumpia kuin teemahaastattelulle on yleensä tyypillistä.

3.2 Haastattelun teemat

Haastattelun teemat muodostettiin Konerakenteiden suunnittelu -kurssin nykyisistä luentoaiheiden perusteella sekä muista koneensuunnitteluun liittyvistä aihealueista, jotka tulivat ilmi kirjallisuuskatsauksen aikana. Teemat on esitetty kuvan 3.2 kaaviossa¹. Kaavio toimii haastattelujen viitekehysenä ja sen avulla muodostettiin pohja haastatteluille.



Kuva 3.2 Haastattelujen viitekehys

Teoriaan pohjautuvassa aineistonkeruussa käytetään valmista käsitteellistä mallia haastattelujen perustana, kuten tässä työssä. [1, s. 4] Viitekehys (kuvassa) sekä haastattelu-kysymyspohja muotoutuivat kuitenkin lopulliseen muotoonsa vasta haastattelujen aikana. Varsinkin ensimmäisten keskustelujen perusteella syntyi uusia näkökulmia, joista haluttiin keskustella myös seuraavien haastateltavien kanssa. Hirsjärven ja Hurmeen [37, s. 72] mukaan esihaastattelut ovat tärkeä osa teemahaastattelua. Esihaastattelut har-

¹ Vertaa kuvassa 1.1 esitettyyn alustavaan ajatuskarttaan

jaannuttavat haastattelijat varsinaisia haastatteluja varten ja niiden jälkeen haastattelu-runkoa voidaan vielä muuttaa. Tässä työssä yksinkertaistuksen vuoksi kaikki haastatte-lut on käsitelty samanarvoisesti, mutta käytännössä kahdessa ensimmäisessä haastatte-lussa oli esihaastattelun piirteitä. Esimerkiksi rakennesuunnittelun alla viitekehyksessä on aihealue *muut materiaalit* (kuin teräs), johon liittyvät kysymykset muotoutuivat vasta ensimmäisen haastattelun aikana.

3.3 Haastateltavien valinta

Haastateltavien valinnan merkitys korostuu teemahaastattelussa, koska osallistujamäärä on melko pieni. Osallistujien määrä on käytännössä tutkijan harkinnan varassa. Haastat-telut voidaan lopettaa esimerkiksi *saturaatiopisteeseen*, joka tässä yhteydessä tarkoittaa määrää, jonka saavuttaessa uudet haastattelut eivät enää anna mitään olennaisesti uutta tietoa. Saturaatiopisteen määrittäminen on kuitenkin haastavaa, sillä aineistoa pystytään tarkastelemaan jatkuvasti uusista näkökulmista. Laadullisissa tutkimuksissa haastatelta-vien määrä näyttäisi tavallisesti olevan noin 15. [37, s. 58-60] Opinnäytetyön luonteen huomioiden, tavoitteeksi asetettiin noin puolet tästä määrästä, jottei aineisto kasvaisi turhan laajaksi. Minimääränä pidettiin kuitenkin vähintään 6 haastateltavaa.

Osallistujiksi valittiin sellaisia henkilöitä, joilta arveltiin parhaiten saatavan aineistoa tutkimusongelman ratkaisemiseen. Haastattelututkimukseen lähdettyessä, ensimmäisenä ajatuksena oli haastatella pitkään koneensuunnittelun parissa työskennelleitä suunnitte-luinsinöörejä sekä projektipäälliköitä. Haastattelupohjaa luonnostellessa päädyttiin kui-tenkin haastattelemaan henkilöitä, joille työn ohessa kehitettävä Konerakenteiden suun-nittelu -kurssi oli ennestään tuttu. Tällöin oli sujuvampaa keskustella myös kurssin si-sältöön liittyvistä asioista. Haastattelun suosituskysymykset muotoutuivat niin, että nii-hin vastaaminen edellytti työkokemusta konealan yrityksestä sekä konerakenteiden suunnittelusta. Tutkimukseen osallistuvien henkilöiden valinnalle muodostui lopulta kaksi kriteeriä, jotka olivat:

1. On kokemusta konerakenteiden suunnittelusta työelämässä
2. On suorittanut opintojakson Konerakenteiden suunnittelu (tai vastaavan)

Koska valintakriteerinä oli erityisesti työkokemus, etsittiin haastateltavia lähinnä jo valmistuneiden diplomi-insinöörien joukosta. Valinnassa oli kuitenkin huomioitava, että mitä kauemmin kurssin suorittamisesta oli kulunut, sitä vähemmän kurssin käytännöistä muistettiin. Pyrittiin siihen, että haastateltavan henkilön kurssisuorituksesta ei ollut ku-lunut kovin montaa vuotta. Hirsjärven ja Hurmeen [37, s. 72] mukaan tuttavien ei tulisi haastatella. Tässä tutkimuksessa osallistujia etsittiin kuitenkin ensisijaisesti tuttuvien henkilöiden joukosta. Perustelut valinnalle sekä haastatteluiden toteutuma on esitetty luvussa 3.5.

3.4 Haastattelutilanne ja kysymykset

Haastattelutilanteet pyrittiin pitämään mahdollisimman rentoina kahvittelun äärellä. Mahdollisuuksien mukaan haastattelupaikkana olivat kotiolot tai mahdollisimman häiriötön ravintolaympäristö. Haastattelut sovittiin hyvissä ajoin etukäteen. Haastattelupäivien sekä -kellonaikojen valinnassa huomioitiin, että tutkijalla sekä haastatteluun osallistujalla oli riittävästi aikaa. Keskustelut alkoivat osallistujan taustatietoja koskevilla kysymyksillä, joihin oli helppo vastata täsmällisillä vastauksilla. Tämän jälkeen käytiin yksitellen läpi eri teemat ja sekä niihin liittyviä kysymyksiä. Lisäksi haastattelu sisälsi kysymyksiä, joissa pyydettiin arvioimaan eri aihealueita sen mukaan, kuinka tarpeellisenä konerakenteiden opetuksessa ne koettiin. Näillä kysymyksillä (esitetty haastattelu-pohjassa *kursivoituna*) viitattiin nimenomaan Konerakenteiden suunnittelu -kurssiin, jonka haastateltavat olivat suorittaneet. Arvioinnin helpottamiseksi oli muodostettu numeerinen asteikko 1...5, joka esitettiin osallistujille seuraavasti:

- 1) Ei tarvitse käsitellä
- 2) Voitaisiin mainita, mutta ei tarvitse käsitellä syvemmin
- 3) On hyvä tiedostaa; voisi olla ainakin osa luentoa
- 4) Tärkeä aihepiiri; voisi olla oma luentonsa
- 5) Erittäin tärkeä käsitellä syventyen omana luentonaan tai luentoinaan

Haastattelun aihealueet suosituskysymyksineen on esitetty seuraavassa listassa:

Taustatiedot

- Ammatti ja työnkuvaus
- Aineopinnot ja valmistuminen Tampereen teknillisestä yliopistosta
- Kolme hyödyllisintä (suoritettua) kurssia työelämää ajatellen
- Tuleeko mieleesi jokin koneensuunnitteluun liittyvä asia tai aihealue, joka jäi opiskeluaikanasasi kursseilla (lähes) kokonaan perehtymättä?

Konerakenteiden suunnittelu -kurssi

- Oma suoritus
- Mieleen jäänyttä, hyvää tai kehitettävää
- Kurssin harjoitustyö
- Kuinka kurssin arvosanan tulisi muodostua? (Prosentuaaliset osuudet: harjoitustehävät, harjoitustyö ja/vai tentti)

Työ

- Työkokemus koneensuunnitteluun liittyvistä tehtävistä
- Työkokemus kokoonpanosta tai valmistuksesta (konealan ns. haalarihommista)
- Suunnitteluun käytetyt ohjelmistot
- Tiedonhaku ja kirjallisuuden käyttö suunnittelun yhteydessä

Standardit

- Suunnittelutöissä käytetyt standardit
- Standardiehdotukset (Eurocode 3?)
- *Kuinka tarpeellisena näet standardeihin perehtymisen opetussisällössä?*

Teräsrakenteiden suunnittelu

- Suunnitteluneuvot ensimmäistä teräsrakennettaan suunnittelevalle henkilölle
- Suunnittelutöissä tai rakenteissa käytetyt teräsmateriaalihiot (esim. ohutlevyjä vai profiilipalkkeja? Millaisiin käyttökohteisiin?)
- Palkki- tai levyrakenteet
- Valurakenteet
- Suunnittelussa käytetyt muut materiaalit (kuin teräs) ja käyttökohteet
- *Kurssi keskittyy vain teräsrakenteisiin. Kuinka tarpeellisena näet muiden materiaalien (alumiini, komposiitti) rakennesuunnitteluun perehtymisen opetussisällössä?*

Kustannukset ja valmistettavuus

- Suunnittelun vaikutus valmistus- ja kokoonpanokustannuksiin
- Esimerkkirakenne, jossa suunnittelija ei ollut osannut ottaa huomioon kaikkia vaikuttavia tekijöitä
- Valmistuksesta tai kokoonpanosta aiheutuvia rajoitteita omissa suunnittelutöissä
- Valmistusmenetelmät, jotka opiskelijan erityisesti hyvä tiedostaa konerakenteiden suunnittelua ajatellen
- *Kuinka tarpeellisena näet valmistusmenetelmien (suunnittelun näkökulmasta) läpikäymistä opetussisällössä?*

Rakenteen vaurioituminen

- Vauriotapauksista
- *Kuinka tarpeellisena näet lujuusopin asioiden kertauksen opetussisällössä?*
- Kokemus rakenteen stabiliteetin menetyksestä
- *Kuinka tarpeellisena näet rakenteen stabiliteetin mitoituslaskennan käsittelyn opetussisällössä?*

Hitsausliitokset ja väsyminen

- Hitsausliitoksen suunnittelu konerakenteiden opetuksessa
- Hitsausliitoksen suunnittelunäkökohdat
- Hitsaus ja väsyminen yleisesti
- *Kuinka tarpeellisena näet hitsausliitoksen suunnittelun käsittelyn opetussisällössä?*
- *Kuinka tarpeellisena näet rakenteen väsymislaskennan käsittelyn opetussisällössä?*

Ruuviliitokset

- Ruuviliitoksen suunnittelunäkökohdat
- Ruuviliitoksen pitävyys (tai liitoksen löystyminen)

- Ruuviliitokset yleisesti
- *Kuinka tarpeellisena näet ruuviliitosten käsittelyn opetussisällössä?*
- Muut liitokset (esim. niitti- ja niveltappiliitos)

Korroosionesto

- Suunniteltujen rakenteiden pintakäsittely
- Suunnittelijan huomioitava pintakäsittelyyn ja korroosioon liittyen
- Korroosionesto yleisesti
- *Kuinka tarpeellisena näet korroosioneston käsittelyn opetussisällössä?*

Loppukysymykset

- Konerakenteiden suunnitteluun liittyvä aihealue, jota ei käyty läpi ollenkaan haastattelussa
- Lähteitä (esim. verkkomateriaalia, kirjallisuutta) liittyen aihealueisiin, jotka olisivat mahdollista opiskelumateriaalia
- Muuta sanottavaa (esim. kurssia ajatellen)

Kysymysten järjestys sekä muotoilu vaihtelivat hieman riippuen haastattelusta. Haastattelun jälkeen annettiin osallistuneelle henkilölle haastattelupohja sekä kehoitettiin ottamaan yhteyttä, mikäli myöhemmin tulisi mieleen jotain haastattelutilanteessa mainitsematta jäänyttä.

3.5 Haastatteluiden toteutuma

Tutkimukseen osallistui kuusi hiljattain valmistunutta konetekniikan diplomi-insinööriä sekä yksi diplomityöaihetta etsivä opiskelija. Minimitavoite haastateltavien määrälle ylitettiin siis yhdellä. Osallistujat löytyivät ystäväpiiristä sekä ehdotusten kautta ja olivat haastattelijalle ennestään tuttuja henkilöitä. Jokainen heistä oli vakituisessa työsuhteessa sekä hieman erilaisissa koneensuunnittelutehtävissä. Haastattelut tapahtuivat aikavälillä 6.6.2016 – 1.9.2016 ja ensimmäinen niistä suoritettiin siinä vaiheessa, kun kirjallisuusselvitys oli suurimmalta osin valmis. Keskustelut sisälsivät useita eri teemoja ja haastattelut olivat melko pitkiä kestäen yli tunnin. Ennestään tuttujen henkilöiden valinta oli todennäköisesti järkevää haastattelujen *sujuvuuden kannalta*. Keskusteluissa edettiin rauhallisesti ja osallistujat pystyivät kertomaan mielipiteistään rennosti ilman ylimääräisiä jännitteitä. **Haastateltavan miellettiin asemoituvan tutkimuksen osaksi, joka omalta osaltaan halusi edesauttaa tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista.** Tunteuttomien henkilöiden kohdalla haastattelu olisi saatettu nähdä jonkinlaisena pakollisena velvoitteena, joka halutaan vain suorittaa pois alta. Tämä ei tietenkään tarkoita, että aineisto olisi yhtään vähempiarvoista – ehkä jopa päinvastoin. Haastattelun osapuolten läheinen suhde mahdollistaa kuitenkin sen, että *haastateltavan aloitteesta* voi saada kokonaan uudenlaisen näkökulman haastattelun aikana, mikä tässä tutkimuksessa oli aivan suotavaa. [38, s. 159] Pirjo Nikanderin [38, s. 242] mukaan haastattelua on ene-

nevässä määrin lähestytty vuorovaikutustilanteena, jossa haastattelun osallistujat yhdessä tuottavat haastatteluaineiston. Tällöin ”aineiston keräämisen sijaan puhutaan aineiston generoinnista”. Toisaalta huonona puolena olivat erityisesti tuttujen henkilöiden oletukset haastattelijan lähtötiedoista, minkä takia asiat saattoivat jäädä perustelematta tarpeeksi hyvin. Taulukossa 3.1 on esitetty haastatteluihin osallistuneiden henkilöiden taustatiedot.

Taulukko 3.1 Haastateltavien taustatiedot

	Ammatti ja ydinosaaminen	Koneensuunnittelu-työkokemus	Valmistuminen	Aineopinnot	Kurssin suoritus
1	Kehitysinsinööri Murskaimet	4 vuotta	2014	Konstruktiotekniikka Hydraulitekniikka	2012
2	Suunnitteluinsinööri Voimalaitoskattiloiden painerunko	4 vuotta	2015	Konstruktiotekniikka Tuotantotekniikka	2012
3	Suunnitteluinsinööri Poralaitehydrauliikka	2 vuotta	2015	Konstruktiotekniikka Hydraulitekniikka	2013
4	Tuotesuunnittelija Liikenneajoneuvot	5 vuotta	2015	Konstruktiotekniikka Tuotantotekniikka (L) Hydrauliikka (L)	2013
5	Suunnitteluinsinööri Työkonehydrauliikka	2 vuotta	2015	Konstruktiotekniikka Tuotantotekniikka (L) Hydrauliikka (L)	2013
6	Mekaniikkasuunnittelija Teräsrakenteet	2 vuotta	Opiskelu kesken	Koneensuunnittelu ja tuotekehitys	2015
7	Tuotekehitysinsinööri Liikkuvien työkoneiden mekaniikka	3 vuotta	2013	Konstruktiotekniikka Tuotantotekniikka	2012

Osallistujista viisi henkilöä olivat olleet rakenteiden mekaniikkasuunnitteluun liittyvissä tehtävissä ja kahden henkilön työtehtävät liittyivät enemmän koneen hydraulikan suunnitteluun. Käytännössä jokainen henkilö on ollut töissä koneensuunnittelutehtävissä jo opiskeluaikanaan. Osa mainituista työkokemusvuosista voi olla tuntityötä, jolloin tehdään esimerkiksi vain muutamana päivän viikossa töitä opiskelun ohella. Tätä ei ole taulukossa erikseen eritelty. Usein työ muuttuu kokopäiväiseksi diplomityön aloituksen yhteydessä. Kolmella haastateltavista oli lisäksi työkokemusta myös kokoonpanotehtävistä eli konealan ”haalarihommista”. Aineopinnotsarakeessa merkintä (L) tarkoittaa lyhyttä opintokokonaisuutta. Osallistujista yksi henkilö oli suorittanut Koneerakenteiden suunnittelu -kurssin viimeisimmän toteutuskerran mukaisena. Muut olivat suorittaneet kurssin joko vuonna 2012 tai 2013.

Haastattelutilanteet kestivät reilusta tunnista lähes kahteen tuntiin. Ensimmäisen haastattelun kesto oli kaikkein pisin. Kolmessa ensimmäisessä haastattelussa ei ollut häiriötekijöitä, koska haastattelut toteutettiin haastateltavan tai haastattelijan kotona. Neljäs haastattelu toteutettiin ympäristössä, jossa oli läsnä myös muita ihmisiä samassa huoneessa kuuntelemassa, mikä vaikutti haastattelutilanteeseen. Tällöin haastattelun tempo

oli keskimäärin hieman nopeampi. Tämän vaikutus aineiston laatuun ei kuitenkaan arveltu olevan kovin suuri, sillä haastattelu tapahtui kokonaisuutena sujuvasti ilman ulkopuolisten kommentteja. Viimeiset kolme haastattelua suoritettiin ravintolassa, jossa pöytä valittiin mahdollisimman rauhallisesta kulmauksesta. Nämä haastattelut olivat hyvin häiriöttömiä ja vain muutaman kerran haastattelu keskeytyi esimerkiksi tarjoilijan kysyessä jotain. Haastattelutilanteita on kuvattu taulukossa 3.2.

Taulukko 3.2 Haastattelutilanteet

	Paikka	Tilanne	Ajankohta
1	Kotiloissa	Häiriötön	Kesäkuu 2016
2	Kotiloissa	Häiriötön	Kesäkuu 2016
3	Kotiloissa	Häiriötön	Kesäkuu 2016
4	Kesämökillä	Häiriöllinen (Useita henkilöitä läsnä)	Kesäkuu 2016
5	Ravintolassa	Lähes häiriötön (Tarjoilijan keskeytykset)	Heinäkuu 2016
6	Ravintolassa	Lähes häiriötön (Tarjoilijan keskeytykset)	Heinäkuu 2016
7	Ravintolassa	Lähes häiriötön (Tarjoilijan keskeytykset)	Syyskuu 2016

Pääpiirteittäin haastattelun kulku oli samanlainen jokaisessa haastattelussa. Koska haastattelu oli hieman teemahaastattelua strukturoidumpi, haastateltavan vastaukset kirjattiin ylös vain kynällä ja paperilla. Tällöin ei voitu jälkepäin tarkastaa, liittyikö johonkin seikkaan vuorovaikutuksellisia vivahteita, esimerkiksi innokkuutta tai epärointiä. Lisäksi on hankala arvioida esimerkiksi sitä, johdattelivatko kysymysten mahdollisesti erilaiset muotoilut vastausten suuntaa. Koska keskusteluja ei nauhoitettu, haastattelun *vuorovaikutuksen* kulkua ei siis käytännössä pystytä analysoimaan. [36, s. 15]. Liitteessä A on esitetty esimerkkinä haastattelun 1 kerryttämä aineisto. Aineistosta nähdään, että kaikkien kysymysten järjestys ei ole sama kuin luvun 3.4 viimeistellyssä haastattelupohjassa.

4. TULOKSET

Tässä luvussa esitetään haastattelun aineistoa ja sen analysointia. Suuri osa aineistosta on pyritty jäsentelemään taulukoihin helposti tarkasteltavaan muotoon. Haastattelun kommentit on esitetty pääosin hieman yksinkertaistetussa muodossa, mutta ilmausten alkuperäinen tarkoitus pysyy muuttumattomana.

Haastattelun alussa taustatietojen yhteydessä kysyttiin kolmea työelämän kannalta hyödyllisimmäksi koettua kurssia. Lisäksi tiedusteltiin koneensuunnitteluun liittyviä aihealueita tai asioita, jotka jäivät (lähes) kokonaan läpikäymättä suoritetuilla kursseilla. Aineisto on koottu taulukkoon 4.1. Osa opintojaksojen nimityksistä on muutettu vastaamaan nykyisin käytettyjä kurssinimityksiä.

Taulukko 4.1 Hyödyllisimmiksi koetut kurssit, sekä aihealueet/asiat, jotka jäivät lähes kokonaan läpikäymättä suoritetuilla kursseilla

Hyödyllisimmät kolme kurssia	Aihealue tai asia, joka jäi käymättä suoritetuilla kursseilla
CAD jatkokurssi Elementtimenetelmän perusteet Ohjelmoinnin peruskurssi	Vanhan "designin" hyödyntäminen uutta suunnitellessa.
Koneenpiirustus ja CAD perusteet CAD jatkokurssi Mekaniikka	Hitsausliitokset ja muut valmistustekniikat (levyn särmäys), tolerointi sekä pinnankarheudet
Hydrauliteknikka Mobilehydrauliikka Hydraulikäyttöisen koneen suunnittelu	Tuotetiedonhallinta, ohjausjärjestelmät sekä hitsausliitokset
Tuotekehitys Koneenpiirustus ja CAD perusteet Laatu- ja mittaustekniikat	-
Koneenosien suunnittelu Hydrauliteknikka Mobilehydrauliikka	Voitelut ja hitsausliitokset
Tehonsiirtolaitteiden mitoitus Modulointi Mekaniikka	Tuotetiedonhallinta
Koneenosain jatkokurssi Tuotantotekniikan jatkokurssi Mekaniikka	Koneiden sähköjärjestelmien suunnittelu

Hyödyllisimmiksi koetut kurssit riippuivat haastateltavan työtehtävistä. Koneiden hydraulikan suunnitteluun enemmän keskittyneet henkilöt kokivat hydraulikkakurssit merkittävimiksi. Tuotantotekniikkaan liittyviä kursseja sen sijaan mainittiin kahden tuotekehitykseen suuntautuneen henkilön haastatteluissa. Tutkimuksen ohessa kehitet-

tävää opintojaksoa ei sen sijaan mainittu kertaakaan. Haastateltavat toisaalta tiesivät keskustelujen olevan yhteydessä kyseisen kurssin kehittämiseen, joten se saatettiin myös jättää tarkoituksella mainitsematta tässä yhteydessä.

Taulukon toisessa sarakkeessa esitetyt asiat liittyvät sen sijaan henkilön kurssivalintoihin. Opiskelija suorittaa valitsemansa opintokokonaisuuspaketin, jolloin myöhemmin merkittäväksi koettu aihealue voi jäädä valittujen kurssien ulkopuolelle. Esimerkiksi valmistusmenetelmät ja -tarkkuudet voivat sisältyä omien opintojen ulkopuolelle jääneen kurssin sisältöön. Mikäli aihealue liittyy olennaisesti suoritettujen kurssien piiriin ja koetaan silti jääneen (lähes) kokonaan läpikäymättä, on huomio kiinnitettävä kurssien opetussisältöön. Jos esimerkiksi aihealueen *voitelu* koetaan jääneen hyvin vähälle opetukselle, on kiinnitettävä huomiota tribologian kurssien sisältöön. Tässä yhteydessä onkin hyvä nostaa esille taulukossa useampaan kertaan esiintyvä *hitsausliitokset*. Rakenteiden liitostavat ovat olennainen osa konerakenteiden suunnittelua, jolloin huomio kiinnittyy konerakenteiden opetussisältöön. Mielenkiintoinen aihealue on myös esille tullut *tuotetiedonhallinta*, sillä se on tärkeä osa työelämän koneensuunnittelua. Kaikki suunnitellut osat talletetaan erilaisiin järjestelmiin, jotta niitä voidaan tarkastella ja hyödyntää myös jälkepäin. Taulukossakin esitetty maininta ”vanhan designin (suunnitteluratkaisun) hyödyntäminen uutta suunnitellessa” liittyy osaltaan tuotetiedonhallintajärjestelmiin. Aiempaa suunnittelutuotosta voidaan hyödyntää vain, mikäli se on löydettyävissä. Suunnittelija voi osaltaan huomioida tämän esimerkiksi rakenteen nimeämisessä.

4.1 Työkaluja suunnitteluun ja opiskeluun

Osallistujien työkokemus koneensuunnitteluun liittyvistä tehtävistä esitettiin taulukon 3.1 yhteydessä. Suunnittelutöissä osien ja rakenteiden mallintamiseen sekä visualisointiin käytettyjä ohjelmistoja olivat *NX*, *SolidWorks*, *AutoCAD*, *Vertex*, *Catia* sekä *PDMS*. Muita mainittuja ohjelmistoja olivat *Ansys* ja *Altair* rakenteellisia analyyseja varten sekä *TeamCenter* ja *SmarTeam* tuotetiedonhallintaan. Lisäksi mainittiin myös matemaattisen laskennan työkalu *Mathcad* sekä *Office*-työkalut. Suunnittelutyön yhteydessä tietoa oli haettu erityisesti yrityksen sisältä, internetistä sekä standardeista. Esimerkiksi toimittajien sivuilta voi löytyä valmiita laskutyökaluja sekä komponenttien malleja. Kysyttäessä kirjallisuuden käyttämisestä suunnittelun ohessa, viisi haastateltavaa mainitsivat Aimo Peren *Koneenpiirustus 1 & 2* -kirjan. Kirja koettiin merkittävänä lähdeaineena kattavasti käsiteltyjen valmistuspiirustusohjeiden ansiosta. Muita suunnittelun yhteydessä hyödynnettyjä teoksia olivat tässäkin työssä lähteenä esiintynyt *Koneenosien suunnittelu* sekä esimerkiksi mekaniikan ja hydraulikan kursseilla käytetyt oppikirjat. Kahdessa haastattelussa tulivat esille myös suoritettujen kurssien luento- sekä harjoitustyömateriaalin hyödyntäminen. Parhaimmillaan kurssimateriaalit siis tarjoavat apua vielä kurssin jälkeenkin työelämässä. Mielenkiintoinen huomio tässä yhteydessä liittyi myös käytössä olevan tiedon *hyödyntämättä jättämiseen* opiskeluaikana. Erään haastateltavan sanoin:

”Vasta opinnäytetöitä tehdessä oikeastaan tajuaa käytössä olevan lähdekirjallisuuden määrän.”

Mahdollisesti vasta diplomityötä tehdessä etsitään erityisesti kirjallisia lähteitä työn tueksi. Yksittäisiin opintojaksoihin ei usein syvennyttä samalla tavoin, jolloin hyvä lähdeaineisto voi jäädä hyödyntämättä. Haastatteluissa loppukysymysten yhteydessä kysyttiin erikseen mahdollisia lähdeaineistoja opiskelun tueksi. Mainittuja lähteitä² olivat:

- Verkkolähteet
 - Youtube
 - Bolt Science - A Tutorial on the Basics of Bolted Joints (30)
 - Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen (16)
- Koneenosien suunnittelu (2)
- Machine Design (5)
- Koneenpiirustus 1 & 2 (Pere, Aimo)
- Hydrauliteknikka (Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius M.)
- Tribologia: kitka, kuluminen ja voitelu (Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P)
- An Introduction to Modern Vehicle Design (Happian-Smith, Julian)

Internet-ympäristö on nopea ja helppo tapa etsiä tietoa, mutta esitettyyn asiaan tulee suhtautua varauksella varsinkin, jos tiedon alkuperää ei tunneta. Youtube-videopalvelusta löytyy videoita esimerkiksi koneiden ja niiden osien toiminnasta sekä valmistusmenetelmistä. Erään haastateltavan mukaan yleisesti koneensuunnitteluun liittyviä harjoitustöitä varten *”jos kirjahyllystä löytyvät Koneenosien suunnittelu, Hydrauliteknikka sekä Tribologia: kitka, kuluminen ja voitelu, niin kyllä pärjää.”*

4.2 Standardit suunnittelussa sekä opetuksessa

Erilaisia standardeja on hyvin paljon. Kulloinkin sovellettavat standardit riippuvat suunniteltavan koneen vaatimuksista. Haastatteluissa mainittiin esimerkiksi vesiputkikattiloiden tai porauslaitteiden suunnitteluun sovellettavia standardeja. Konerakenteiden opetuksessa olisi hyvä keskittyä standardeihin yleisemmällä tasolla. Muutama haastateltavista oli tarkastellut työnsä ohessa esimerkiksi koneturvallisuuden perusstandardia EN ISO 12100, jota voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin. Lisäksi mainittiin muutamia tiettyyn turvallisuusnäkökulmaan keskittyviä B- tyyppin standardeja. Rakenteiden suunnitteluun liittyvä Eurokoodi (osat 3 ja 9) tuli myös esille, mutta sen tarkastelu oli ollut lähinnä satunnaista selailua. Usein suunnittelua ohjaavat esimerkiksi yleisiin standardeihin perustuvat yritysten sisäiset suunnitteluohjeet.

Haastatteluissa (yhtä lukuun ottamatta) kysyttiin standardiehdotuksia konerakenteiden opetuksisältöön. Vastaukset sekä haastateltavan arviointi aihealueen käsittelystä yleises-

² Suluissa esitetty numero viittaa tämän työn lähdeluettelossa esiintyvään lähteeseen, jota on hyödynnetty luvun 2 kirjoittamisessa.

ti konerakenteiden opetussisällössä on esitetty taulukossa 4.2. Asteikko 1...5 esitettiin luvussa 3.4.

Taulukko 4.2 Standardiehdotukset konerakenteiden opetussisältöön sekä mielipiteet yleisesti standardien käsittelyn tarpeellisuudesta

Standardiehdotukset	Standardit yleisesti
Riskianalyysi	3
Eurokoodi	4
Hitsaus, koneturvallisuus, rakenteen kestävyys	4
Koneturvallisuus, Eurokoodi, laatustandardit	4
-	4
Eurokoodi 3	4
Eurokoodi 3 ja riskianalyysi	4

Standardeihin perehtyminen yleisesti koettiin konerakenteiden opetukseen sopivaksi aihealueeksi. Standardeja on kuitenkin niin paljon, että tarkemmin käsiteltävien standardien valintaan tulisi kiinnittää huomioita. Haastatteluissa tuli esille, että opiskelijan kiinnostus soveltaa standardeja voi lopahtaa liialliseen aineiston määrään. Ehdotettiin keskittymistä vain muutamaiin yleisimpiin standardeihin. Standardiehdotuksien perusteella voidaan nostaa esille aiemmin mainittu koneturvallisuuden perustandardi, joka sisältää riskien arvioinnin (riskianalyysit). Myös Eurokoodi nähtiin opetussisältöön soveltuvaksi standardiksi. Yksikään haastateltava ei pitänyt Eurokoodiin 3 perehtymistä turhana, mutta asiasta oli kuitenkin erilaisia näkemyksiä. Viisi haastateltavista piti perehtymistä vähintäänkin hyödyllisenä. Opetussisältöön ehdotettiin myös yksittäisten haastateltavien toimesta hitsaus- sekä laatustandardeja sen kummemmin niitä kuitenkaan määrittelemättä.

4.3 Vinkkejä suunnittelutehtäviin

Haastateltavilta kysyttiin, millaisia neuvoja he antaisivat henkilölle, joka on suunnittelemassa ensimmäistä teräsrakennettaan. Lisäksi yleisiä vinkkejä tuli esille haastattelujen eri vaiheissa. Esille tulleista asioista on koostettu lista, joka on esitetty seuraavan sivun taulukossa 4.3.

Taulukko 4.3 Keskusteluissa esille tulleita yleisiä suunnitteluvinkkejä

Yleiset suunnitteluvinkit	Suunnittelunäkökohta, johon neuvo liittyy
Selvitä suunnittelutehtävän lähtötiedot kattavasti.	Ennakointi, huolellisuus
Luonnostele rauhassa paperille. Älä hätiköi.	Ideointi, huolellisuus
Ajattele toiminnallisuutta.	Toimivuus
Huomioi tilavaraukset ja huollettavuus. Käyttäjän ja suunnittelun rajapinta.	Toimivuus
Mieti muutama erilainen vaihtoehto ja arvioi niitä kokeneemman suunnittelijan kanssa.	Ideointi, toimivuus
Hyödynnä historiaa, mutta suhtaudu siihen kriittisesti.	Tiedonhaku
Kysy neuvoa työkavereilta.	Tiedonhaku
Suunnittele mukautuvat mallit, koska vaatimukset muuttuvat usein matkan varrella.	Ennakointi, sopeutuminen
Pohdi riskejä.	Turvallisuus
Mieti kuormitustilannetta. Älä heitä levynvahvuuksia arvauksena, vaan pyri vähän laskemaan lujutta.	Turvallisuus, kustannukset
Myös suunnittelija pystyy nopeasti tekemään FEM-tarkastelun pienille rakenteille	Ennakointi, turvallisuus
Mitoita loppuun asti (3D-mallien sketchit) ja laita kuviin tarvittava määrä mittoja.	Huolellisuus
Ota huomioon valmistuksen rajoitteet sekä epätarkkuudet.	Valmistettavuus
Mieti kustannuksia.	Kustannukset
Kokemus opettaa...	Kehittyminen (virheistä oppiminen)

Haastatteluissa tuli esille, että vaatimukset muuttuvat usein matkan varrella. Suunnittelutehtävään liittyvät lähtötiedot tulisi selvittää kattavasti, jottei suunnitella väärin tai vajaiden ennakkotietojen pohjalta. Koneensuunnittelijan on sopeuduttava mahdollisesti muuttuviin tilanteisiin. Tätä pystyy ennakoimaan suunnittelemalla helposti muokattavat (alustavat) mallit ja välttämään liian yksityiskohtaisia rakenteita turhan aikaisin. Käytännön esimerkkinä voidaan mainita ruuvien sijoittelu rakenteisiin. Mikäli pultit kerran sijoitellaan malliin paikoilleen, mutta malli tämän jälkeen muuttuu merkittävästi, joudutaan sijoittelu tekemään todennäköisesti uudestaan.

Aikaisempia suunnitteluratkaisuja kannattaa tarkastella ja hyödyntää. Suunnittelijan käsillä oleva työ voi olla jo toteutettu yrityksen historian aikana, mutta ratkaisu on vain unohtunut järjestelmän syövereihin. Tässä korostuu suunnittelijan taito hakea tietoa yrityksen tiedonhallintajärjestelmistä. Suunnittelijan on kuitenkin hyvä selvittää, miksi jokin asia on muuttunut historian aikana, jottei samoja virheitä toisteta uudelleen. Vanhoihin suunnitteluratkaisuihin olisikin suhtauduttava sopivalla varauksella. Työkavereilta kysyminen on usein oiva tapa saada selvyyttä asioihin.

Tilan puute on yleinen haaste varsinkin liikkuvien koneiden rakenteita suunnitteleville. Esimerkiksi koneen äärimitoille tai massalle annetaan usein reunaehtoja, joiden sisällä suunnittelijan on tehtävä ratkaisuja. Lisäksi on huomioitava loppukäyttäjän näkökulma, kuten riittävät tilavaraukset koneen huoltoa varten. Suunnittelijan olisi hyvä pohtia erilaisia riskejä, kuten virheellistä käyttöä, jo suunnittelun yhteydessä. Erään haastateltavan sanoin *”tavallaan jokainen suunnittelija suorittaa riskinarviointia päässään arvioidessaan työnsä toimivuutta ja turvallisuutta.”* Kun kirjaa mietittyttäviä asioita ylös, voi jo ennalta valmistautua konedirektiivin mahdollisesti edellyttämiin riskianalyysiin. Vaikka rakenteen FEM-laskenta ei olisikaan suunnittelijan tehtävä, voivat yksinkertaistetut käsin laskennat sekä kestävyysmallit ohjata alustavien rakennevahvuuksien määrittämisessä. Tarkastelut rajoittuvat usein staattisiin kuormitustilanteisiin, mutta niiden avulla saadaan suuntaa antavaa tietoa jännitysten keskittymistä.

On hyvä muistaa, että varsinkin alkuvaiheessa tulee tehtyä myös virheitä johtuen kokemattomuudesta. Tärkeää olisikin oppia virheistään, jottei niitä tule toistettua. On hyvä kysyä palautetta tehdystä työstä, mikäli sitä ei erikseen anneta. Joskus asioihin palataan jälkeenpäin, joten on muistettava myös dokumentoinnin tärkeys. Useat suunnitteluvinkit liittyivät myös erityisesti kustannusten huomioimiseen suunnittelussa. Kustannusnäkökulmaa sekä valmistukseen liittyvää aineistoa on käsitelty erikseen luvussa 4.6. Taulukon 4.3 aineistoa luokittelemalla pystyttiin muodostamaan henkilön työtaitoihin liittyvä lista asioita:

- Ideointi
- Tiedonhaku
- Ennakointi
- Huolellisuus
- Sopeutuminen
- Kehittyminen

4.4 Aihiot ja materiaalit

Haastateltavilta kysyttiin suunnittelussa yleisimmin käytetyistä teräsmateriaali-aihioista. Lisäksi keskusteltiin myös muiden materiaalien käytöstä sekä käyttökohteista konerakenteissa. Teemaan liittyvää haastatteluaineistoa sekä arvio muiden materiaalien (kuin

teräksen) käsittelyn tarpeellisuudesta konerakenteiden opetussisällössä on esitetty taulukossa 4.4.

Taulukko 4.4 Käytetyimmät materiaali-aihiot sekä muut materiaalit (kuin teräs)

Yleisimmät käytetyt materiaali-aihiot	Muut materiaalit (kuin rakenneteräs)?	Muut materiaalit
Pääasiassa levyä. Murskaimet valurakenteita. Huoltotason suojakaide pyöreä putki.	Alumiinia huoltotasoissa ja suojamateriaalina. Kumia suojamateriaalina	4
Levyjä ja IPE-palkkeja. Myös L-profiileja. Eniten käytetään putkea (kattilan seinät).	Ruostumatonta terästä, kun rakenneteräs syöpyisi. Rikkihapposäiliö on lasikuitua.	2,5
Rakenteet pääasiassa levyistä hitsattuja. Syöttölaitepalkki I-profiili.	Hydraulilohkot valuterästä tai tietyn painetason alapuolella alumiinia (kevyemmät ja halvemmat).	4
Liikenneajoneuvojen korisuunnittelussa paljon ohutlevyä.	Pintarakenteet/katteet/kotelorakenteita hiili- ja lasikuidusta sekä muovista. Hiilikuitua myös kantavissa rakenteissa.	4
Rungot palkeista. Muuten rakenteet pääasiassa kantatuista ja hitsatuista levyistä.	Liittimet ruostumatonta terästä (olosuhteista riippuen). Jotkin katteet komposiittia keveyden takia.	2
Levyä. Levystä hitsataan palkkeja.	Alumiiniset tikkaat sekä huoltotaso. Kulutuskestävästä muovista prosessivirtauksen hidaste (halpa ja kevyt).	3
Pääasiassa ohutlevyjä. Profilipalkkeja ei ollenkaan. Ainoastaan turvakaari putkea.	Kuorirakenteet muovia.	2

Jokaisessa haastattelussa tuli esille levyn käyttäminen rakenteissa. Varsinkin liikkuvien koneiden (kuva 2.1) rakennesuunnittelu tapahtuu pääasiassa levyistä. Haastatteluiden perusteella konerakenteiden opetuksessa tulisi keskittyä siis erityisesti levyrakenteiden suunnitteluun. Valmiista profiileista esimerkiksi putkea oli käytetty laitteissa suojakaiteena tai turvakaarena. Yleisesti voitaneen sanoa, että palkkeja, kuten I-profiilia, käytetään enemmän suurempiin rakenteisiin siirryttäessä. Esimerkiksi rakennuspuolella palkit ovat hyvin yleisiä. Eräs mielenkiintoinen seikka levyjen ja palkkien käyttämiseen liittyen tuli ilmi ensimmäisessä haastattelussa:

”Globaalissa yrityksessä koneen valmistus voi tapahtua eri puolilla maailmaa. Tällöin erilaisten palkkiprofiilien saatavuus voi vaihdella maakohtaisesti. Levyä on kuitenkin saatavissa kaikkialla.”

Mielipiteet muiden materiaalien (kuin teräksen) käsittelystä konerakenteiden opetussisällössä olivat kaksijakoiset. Tämän kyselyn perusteella ei siis voida päätellä kannattai-

siko aihealue liittyy Konerakenteiden suunnittelu -kurssille. Mikäli muiden materiaalien käsittely kuitenkin liitettäisiin opetukseen, voisi alumiini erityisesti sopia tarkastelun kohteeksi. Haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että kevyempien materiaalien käyttö korostuu, kun yritetään minimoida massaa. Lisäksi eräässä haastattelussa todettiin, että: ”Energialous sekä kevyempien konerakenteiden käyttö korostuu tulevaisuudessa.” Tämä on näkynyt esimerkiksi sähköautojen yleistymisenä. Autoteollisuudessa komposiitit ovat keskustelun mukaan merkittävä rakennemateriaali.

4.5 Valmistuskustannukset ja -menetelmät

Haastattelujen mukaan suunnittelijan valintoja rajoittavat yleensä merkittävästi rakenteen valmistuskustannukset. Yritykset pyrkivät jatkuvasti tuomaan valmistuskustannuksia alaspäin, jotta tuotteet pysyisivät kilpailukykyisinä. Taulukko 4.5 esittää haastattelujen kustannusteemaan liittyvää aineistoa.

Taulukko 4.5 Kustannus- ja valmistettavuusteeman aineistoa

Valmistuskustannusten huomiointia suunnittelussa	Olellisimmat tiedostettavat valmistusmenetelmät	Valmistusmenetelmät
Huomioi hitsisauman tilantarve sekä työkalun vaatima tila esimerkiksi ruuvien kiristämisessä. Ei koneistuksia, jos mahdollista. Reiät mieluummin polttoleikkaamalla kuin poraamalla. Käytä mahdollisuuksien mukaan saman vahvuisia materiaaleja.	Hitsaus, levyn taivutus, koneistus, (valukappaleet)	4
Yksinkertainen on yleensä paras. Kysy valmistuksen mielipidettä ja palautetta säännöllisesti. Vähän osia ja hitsauksia. Ei väärinasennuksen mahdollisuutta.	Koneistus. Eri valmistustekniikoiden tarkkuudet. Levynäyttö.	3,5
Suunnittele huolellisesti. Vältä turhan tiukkoja valmistusvaatimuksia. Käytä samoja osia. Komponenttien vakiointi.	Hitsaus, (erilaiset kierteet)	4
Suunnittele yksikertaista ja kevyttä. Monikäyttöisyys/modulaarisuus. Osien valmistuksen eräkoolla on merkitystä valmistusmenetelmän valintaan. Huomioi konepajojen valmistuslaatu. Tavoite suunnitella mahdollisimman vähän hitsiä.	Liitosmenetelmät. Levyn ja putkiprofiilien muokkaus. (Kuitumateriaalien ja muovien valmistus)	3,5
Ei liian kovia valmistusvaatimuksia. Hitsisaumojen sijoittelu vaikuttaa hitsattavuuteen.	Vaihtoehtoisten menetelmien kustannuseron tiedostaminen	3
Materiaalin ja aihion valinta. Tiedosta aihiookoon rajoitukset. Tee levystä. Mieluummin polttoleike kuin sahaus.	Leikkausmenetelmät	2
Suunnittele rakenteet oman tuotannon reunaehtoihin.	Hitsaus. ”Muut asiat oppii työn ohessa.”	2

Kustannusnäkökulmaa esitettiin luvussa 2.4. Kirjoitus perustui paljolti taulukossa esitettyyn haastatteluaineistoon. Esillä olivat kuitenkin vain valmistukseen ja kokoonpanoon liittyvät kustannukset. Muista kustannuslähteistä, kuten suunnitteluun kuuluvista työtunneista tai jälkeempään rakenteisiin tehtävistä korjauksista, ei keskusteltu. Suunnittelun huolellisuus kuitenkin tuli esille. Muutokset ovat käytännössä aina halvempia toteuttaa suunnittelijan virtuaaliseen malliin, kuin jo tuotannossa tai käytössä oleviin rakenteisiin.

Haastatteluissa esitettiin kysymys *valmistusmenetelmien* käsittelystä konerakenteiden opetussisällössä. Yleisempi kustannuksiin liittyvä näkökulma muodostui vasta haastattelujen aikana. Kysymys pidettiin kuitenkin samanlaisena kaikille haastateltaville, jotta numeroarvioita voidaan edes teoriassa vertailla toisiinsa. Valmistusmenetelmien sisällyttämisestä konerakenteiden opetussisältöön oli eriäviä mielipiteitä. Haastatteluissa tuli esille, että valmistusmenetelmiä käsitellään kuitenkin tuotantotekniikan kursseilla. Tällöin opetuksen kohdistuminen olennaisimpiin menetelmiin riippuu valmistustekniikoita käsittelevien kurssien opetussisällöistä. Tässä yhteydessä on hyvä huomioda, että kuu- den haastateltavan opiskeluaikana Tampereen teknillisessä yliopistossa konetekniikka sekä tuotantotekniikka olivat kaksi erillistä toisistaan riippumatonta opintokokonaisuutta. Tällöin koneensuunnitteluun syventyessä esimerkiksi valmistustekniikat saattoivat jäädä kokonaan perehtymättä. Nykyisissä tutkintorakenteissa kone- ja tuotantotekniikka ovat samaa opintokokonaisuutta, mikä vähentää tarvetta perehtyä valmistusmenetelmiin konerakenteiden yhteydessä. Haastattelijan näkemyksen mukaan aihealue koettiin eneminkin kurssin oheismateriaaliksi.

Varsinkin hitsaus³ sekä levyn muokkaamisen liittyvät menetelmät koettiin hyödyllisiksi tiedostaa. Lisäksi tuli esille muita valmistusmenetelmiä, joiden osaamisesta olisi hyötyä erityisesti juuri henkilön omiin työtehtäviin liittyen. Taulukossa nämä asiat on esitetty sulkumerkein. Aineiston perusteella suunnittelijan olisi hyvä huomioda valmistusmenetelmän valinnassa ainakin:

- Reunaehdot (rajoitukset)
- Laatu (tarkkuus)
- Kustannukset

4.6 Rakenteen kestävyysasiat

Rakenteen kestävyteen liittyvät asiat käsiteltiin haastatteluissa oikeastaan kolmessa osassa. Stabiiliteetin menetykseen liittyvistä asioista keskusteltiin yleensä teräsrakenteiden yhteydessä ja väsymisilmiöstä hitsausliitosten ohessa. Lisäksi keskusteltiin yleisesti rakenteen vaurioitumiseen johtaneista tapahtumista. Kysyttäessä lujuusopin kertauksen sisällyttämisestä kurssiin, jakautuivat mielipiteet laidasta laitaan. Vastauksiin vaikutti mahdollisesti haastateltavan lujuusopin osaaminen eli se, koettiinko kertauksen tarvetta.

³ Tässä yhteydessä hitsausta valmistusmenetelmänä ei tule sekoittaa hitsausliitoksen suunnitteluun. Liitosten suunnittelunäkökohtia käsiteltiin erikseen.

Pääosin lujuusopin kertaus koettiin kuitenkin etukäteen tiedostettavana aihealueena, sillä se on myös Konerakenteiden suunnittelun -kurssin esitietovaatimuksena. Stabi-
liteetti- sekä väsymisilmiöitä käsitellään lujuusopin perusteissa melko lyhyesti, joten nii-
den ei haastatteluissa ajateltu sisältyvän muun lujuusopin kertauksen piiriin. Niistä ky-
sytettiin erikseen. Taulukossa 4.6 on esitetty lujuusoppiin liittyvää aineistoa sekä käsitte-
lyn tarpeellisuutta konerakenteiden opetuksessa numeroarviona.

Taulukko 4.6 Lujuusopillisten asioiden käsittelyn tarpeellisuus

Kommentteja	Lujuusopin kertaus	Stabi- liteetti	Väsyminen
Tukirivan korkeuden lisäyksen vaikutus potenssiin 3 (poikkileik- kauksen neliömomentti). Lujuuslaskenta on mahdollista tilata alihankintana.	3	3,5	3
Väsymisestä: Kattilarakenteissa (tulipesät) lähinnä otettava huo- mioon vain lämpötilan muutoksesta aiheutuva väsyminen (läm- pölaajeneminen).	3	3	3
Lujuus/keveysoptimointi olennainen (esim. palkkiprofiilit.) Nur- jahdus huomioitava sylinterin männänvarsille	5	5	4
Suunnittelijan on vaikea ennakoida kaikki mahdolliset vaurioitu- mistavat etukäteen	3,5	3	4-
Laskennat tekevät usein muut. Suunnittelija tekee yhteistyötä lujuuslaskijoiden kanssa, joten on hyvä tiedostaa asioita.	2	4-	3,5
Levyn saa helposti jäykistettyä kanttaamalla yhden reunan. Huo- mioi väsymiselle herkät muodot (esim. terävät kulmat). Pyöristyk- set ja jouhevuus hyviä.	1	3	4
Sylintereissä nurjahdus rajoittava reunaehto. Nurjahduksen sattu- essa asioita tapahtuu nopeasti.	2	3	3,5

Rakenteiden lujuusasioista keskustellessa jäi erityisesti mieleen, että tarvittavat lujuus-
laskennat suorittavat usein muut kuin mekaniikkasuunnittelijat. Tällöin suunnittelija
pystyy keskittymään enemmän toiminnallisuuteen sekä rakenteiden mekaniikkaan ja
komponenttien sijoitteluun. Rakenteiden suunnittelijan on kuitenkin suotavaa tiedostaa
kestävyyteen liittyviä asioita, koska tällöin esimerkiksi yhteistyö lujuuslaskijoiden kans-
sa helpottuu. Lisäksi pystytään suunnittelemaan suoraviivaisemmin parempia sekä kes-
täviä ratkaisuja. Tietämättömyys voi johtaa turhan raskaisiin eli ylimitoitettuihin raken-
teisiin. Koska massa on usein rajoittava tekijä varsinkin liikkuville koneille, korostuu
lujuuden ja keveyden optimointi.

Kuten luvussa 2.1 esitettiin, suunnittelijan vaikeimpia ongelmia on ennustaa laitteen käyttäytyminen jo ennen sen valmistusta. Jos ja kun vaurio kuitenkin ilmenee, voi se olla seurausta muustakin kuin suunnittelun virheestä. Esimerkiksi tuotantovaiheessa voi esiintyä materiaali-, valmistus tai asennusvirheitä. Haastatteluissa esiin tuli vauriolähteinä erityisesti valmistuksen huolimattomuus sekä epätarkkuudet. Lisäksi vaurion taustalla saattavat olla esimerkiksi käyttäjän virheet, kuten huollon laiminlyönti tai rakenteen siirtelyn (logistiikan) aikana tapahtuva vaurioituminen. Eräässä haastattelussa esitettiin mielenkiintoinen huomio liittyen rakenteiden massaan:

”Putken ulkohalkaisija ja seinämävahvuus riippuvat jonkin standardin toleransseista. Joissain tapauksissa putken seinämä voi olla käytännössä 12% paksumpi kuin nimellisarvo. Kun 3D-malli on nimellismittojen mukainen, voi ohjelmistolla rakenteelle laskettu massa tulla liian pieneksi (esim. 12% pienempi kuin oikeasti).”

Konerakenteiden vaurioitumisesta keskusteltaessa tulivat esille erityisesti väsymisvauriot, joita myös luvussa 2 korostettiin. Tässä yhteydessä mainittiin muun muassa rakenteen muotojen vaikutus jännityksiin. Väsymisvaurion taustalla voi olla esimerkiksi keinoa hitsaustyötä. Jotta voidaan varmistua rakenteen kestävydestä väsyttävässä kuormituksessa, täytyy esimerkiksi hitsaukselle asetettujen vaatimusten täytyä. Eräs mielenkiintoinen huomio oli, että *”Liikkuvissa koneissa jotain väsyä ajan myötä pakostakin.”* Mikäli kaikki rakenteet suunniteltaisiin niin, että ne kestävät esimerkiksi 100% varmuudella kaiken väsyttävän kuormituksen, olisi lopputuloksena painava, kallis sekä kilpailukyvytön kone. Osarakenteen suunnitteleminen järeämmäksi ja raskaammaksi voi vaikuttaa merkittävästi muihin sitä kannatteleviin rakenteisiin, joita tämän myötä joutuu myös vahventamaan. Eurokoodin mukaan *”kantavat rakenneosat suunnitellaan väsymisen suhteen siten, että saavutetaan hyväksyttävissä oleva todennäköisyys sille, että niiden käyttäytyminen on tyydyttävä koko niiden suunnitellun käyttöajan ajan”.* [29, s. 10]

Muutamassa haastattelussa ehdotettiin tiivistettyä oheismateriaalipakettia lujuusopin asioista. Tällöin kertauksen tarpeessa olevat henkilöt voisivat palauttaa mieleen helposti erityisesti konerakenteita koskevaa lujuusoppia. Stabiliateettiasiat sekä väsyminen koettiin sopivaksi aihealueeksi käsitellä opetussisällössä, varsinkin mikäli tarkastelu suoritetaan standardeja soveltaen.

4.7 Rakenteiden liitokset

Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin, että yleisimmät liitostavat konerakenteissa ovat hitsausliitos sekä ruuviliitos. Myös haastattelut vahvistivat käsityksen kyseisten liitostapojen yleisyydestä. Molemmista liitotavoista keskusteltiin erikseen ja pyrittiin tuomaan esille suunnittelussa huomioonotettavia seikkoja. Näiden teemojen haastatteluainestoa on hyödynnetty tiedonhaussa sekä tarkasteltu kirjallisuuteen liittäen luvuissa 2.6 ja 2.8. Aineistosta on tuotu esille näkökohdat, joita mainituissa luvuissa tarkasteltiin. Taulukko

4.7 esittää hitsausliitosten ja taulukko 4.8 ruuviliitosten suunnitteluun liittyvää aineistoa sekä numeroarvioinnit aiheiden käsittelyn tarpeellisuudesta.

Taulukko 4.7 Hitsausliitosten suunnittelu -teeman aineistoa

Hitsausliitoksen suunnittelu: kommentit ja huomiot	Hitsausliitosten suunnittelu
Pienahitsin toleranssi riippuu hitsausluokasta (esimerkiksi a4-piena voi olla ennemminkin a3-a5 välillä).	3
Huomioi hitsityökalut ja hitsausasento. Jos kotelorakenteen sivut hitsataan yhteen, kuinka levyt tulisi sijoittaa toisiinsa nähden (liitoskohta) hitsauksen helpottamiseksi.	4
Hitsaukseen liittyviin standardit kiinnostavat ja niihin voisi perehtyä. Jos hitsataan 2 putkea yhteen, onko vaikutusta sisällä olevaan virtaukseen?	3
Hitsausliitoksen suunnittelussa huomioi ainepaksuudet sekä hitsin kuormitus ja syklimäärät. Ajoneuvoissa paljon myös pistehitsausta. Huom. uudet nykYTEKNIIKAT (esim. kitkahitsaus).	4
Huomioi, että mahtuu hitsaamaan. Hitsaus yleensä: Ei rasitetuissa paikoissa "ei ole niin justia" ja kriittisissä rakenteissa konsultoi asiantuntijoita (lujuuslaskentaa).	4
Huomio hitsausasento ja ulkonäköseikat. Ympärihitsin jälkeen väreily näkyi maalatussa levysä, mutta katkohitsillä ei tullut muodonmuutosta. Nyrkkisääntö pienahitsin a-mitalle.	4,5
Huomio liitoksen toimivuus ja toteuttavuus. Mahdollisimman paljon tulisi olla robotilla hitsattavissa. Robotti "tykkää" pienahitsistä. Huom. lämpövaikutus: liika lämmöntuonti (esim. hitsaus kahdelta puolelta) pilaa suurlujuusteräksillä lujuuden.	4

Hitsausliitoksen suunnitteluun liittyen esitettiin myös useita kustannusnäkökulmaan liittyviä huomioita, kuten *"tulisi suunnitella mahdollisimman vähän hitsiä"*. Luvussa 2.6 esitetyt suunnittelunäkökohdat kirjoitettiin lähes kokonaan haastatteluihin perustuen. Aineistosta esiin nousseista näkökulmista vahvennetut esiintyivät myös luvussa 2:

- **Hitsausstandardit**
- Hitsaustekniikat
- Hitsityökalut
- Robottihitsaus
- **Hitsausasento**
- **Hitsattavien levyjen sijoittelu**
- **Ainepaksuudet**
- **Hitsin toleranssi**
- **Lämpövaikutus**
- **Muodonmuutokset**
- **Hitsin väsyminen**

Näkökulmista hitsaukseen liittyviä tekniikoita sekä työkaluja ei tässä työssä käsitelty. Edellisessä luvussa esitettiin jo maininta liittyen rakenteen muotoiluun ja sen vaikutuksesta kestävytyteen. Myös hitsausliitosten yhteydessä esille tulivat rakenteen ulkonäköön liittyvät asiat hitsausliitoksen aiheuttamiin muodonmuutoksiin liittyen. Mielenkiintoinen maininta liittyi myös erääseen käytössä olevaan pienahitsin ”nyrkkisääntöön”, jossa hitsin a-mitta määräytyy liitettävien levyjen vahvuuden mukaan. Esimerkiksi standardi SFS-EN 13001-3-1 esittää, että pienahitsin tehollinen paksuus on rajoitettu maksimissaan arvoon $0,7 \times t$, jossa t on ohuemman levyn vahvuus [12, s. 116].

Kaikki haastateltavat kokivat hitsausliitosten suunnittelun soveltuvan konerakenteiden opetussisältöön. Samoin ruuviliitos oli myös selkeästi aihealue, joka koettiin olennaiseksi opetusaihealueeksi. Yksi henkilö kuitenkin arvioi, että aihealueesta on olemassa niin paljon kirjallisuutta, että aiheen käsittelyn voisi jättää oheismateriaaliksi. Tosin haastattelussa tuli myös yleisesti ilmi, että kirjallisuus voi olla hieman vanhentunutta eikä kovin selkeästi ilmaistua.

Taulukko 4.8 Ruuviliitosten suunnittelu -teeman aineistoa

Ruuviliitoksen suunnittelu: kommentit ja huomiot	Ruuviliitosten suunnittelu
Huomioi ruuviliitokseen vaikuttava ulkoinen voima. Käytä tarpeeksi pitkää ruuvia (venymäpituutta kompensoimaan maalipintoja) ja tarpeeksi kovaa aluslaattaa. Ruuviliitos on jousi (kts. linkki pulttiteoriaan).	4
(Ei ole tullut suunniteltua kriittisiä pulttiliitoksia) Millä perusteella määräytyy ruuvien vapaa-reikien koko?	4
Huomioi pultin lujuusluokka. Liitoksen pitävyyteen auttaa ruuvilukite (liima) ja lukituslevypari. Huomioi kiristysmomentit.	4
Mitoita niin, että kestä: pulttien määrä ja koko. Huomioi pultin venymä ja väsyminen.	4
Hitsausmutterit hyvin yleinen käytetty menetelmä rakenteissa, kun laitetaan ruuveja paikkoihin, joissa liitoksen toiselle puolelle ei ole helppoa pääsyä.	2,5
Tarpeeksi pitkä pultti, jotta lukkiutuu. (Eräs suositus: 2/3 pultin halkaisijan pituus mutterista ulos). Holkeilla pultille venymäpituutta. On oltava aluslevyjä, mutta ei liikaa. (Useampi laatta heikentää kiinnipysyvyyttä)	4
Perusmitoitus: liitos ei aukea ja ruuvit eivät katkea. Esikiristys vaikuttaa väsymislujuuteen. Ruuvien määrä auttaa liitoksen aukeamista vastaan.	4,5

Taulukosta 4.8 poimittiin seuraavia näkökulmia (vahvennettuja tarkasteltiin myös luvussa 2.8):

- **Ruuviliitoksen teoria**
- **Ulkoisen voima**
- **Ruuvin pituus**
- **Aluslaatat**
- Vapaareiät
- **Lujuusluokka**
- **Lukituksen varmistaminen**
- Mitoitus
- **Esikiristys**

Ruuviliitoksen (ja muiden rakenteiden) mitoitusta ei työn puitteissa käsitelty. Lisäksi vapaareikien käsittely jäi pois, sillä standardoidut vapaareiät esittävä standardi SFS 3898 ISO 273 on kumottu. Mielenkiintoinen pointti aineistosta oli varsinkin *hitsausmutterien käyttäminen rakenteissa, joissa liitoksen toiselle puolelle ei ole pääsyä*. Hitsausmuttereiden käytöstä sekä muista kiinnitystavoista on kirjoittanut esimerkiksi Elli Kiiski opinnäytetyössään *Tela-alustaisten porauslaitteiden rungon kiinnitysratkaisuiden selvitys*. Muista konerakenteissa paljon esiintyvistä liitoksista haastatteluissa mainittiin erityisesti niveltappiliitokset. Lisäksi esille tulivat myös sovitteet, joissa liitos muodostetaan painamalla väkisin (puristusliitos).

4.8 Korroosionesto

Korroosionesto -teeman haastatteluaineistoa hyödynnettiin merkittävästi luvun 2.9 näkökulmien muodostamisessa. Aineisto on esitetty taulukossa 4.9, jossa on myös mielipiteet aihealueen tarpeellisuudesta konerakenteiden opetussisällössä.

Taulukko 4.9 Korroosioneston teeman aineistoa (huom. jatkuu seuraavalle sivulle)

Suunnittelemissi osien pintakäsittely	Pintakäsittely: suunnitteluhuomiot	Korroosionesto
Maalaus, sähkö- ja kuumasinkitys	Kuumasinkityksessä tarvittavat aukot. Sähkösinkitys hyvä pienille osille. Koloja on vaikea maalata: mieluiten suljettuja rakenteita. Varteenotettavat materiaaliveitohdot: Alumiini ja ruostumaton teräs hyvin korroosiota kestäviä.	3
Kylmät palkit ja ilmakeinavat maalataan. Yli 300 °C joutuvia rakenteita ei pintakäsitellä	Yksinkertaiset muodot, jonne maali menee helposti. Ei koloja, joihin voi syntyä liikkertymiä tai vesi jäädä lillumaan.	2,5
Maalaus. Mustanitraus terälohkoille, jotka muuten meinaavat ruostua.	Huomio olosuhteet, korkea suolapitoisuus (meri, kaivos) komponenttien materiaalin sekä pintakäsittelyn valinnassa. Kaivoksissa liittimet ruostumatonta terästä	3

Uputusmaalaukset koreille. Joitain runkoja kuumasinkittää (riip-puen kohteesta).	Ei taskuja, joihin syntyy kertymiä. Kuumasinkityksessä rakenteeseen syntyy jännityksiä (mutkalle kiertymistä ym.) Pintakäsittely vaikuttaa kappaleen dimensioihin. (esim. reikä pienee maalattaessa)	3
Maalaus	Huomioitava kohteet, joissa maali ei kestä/riitä. (Ruostumaton teräs / haponkestävät komponentit). Yrityksillä yleensä omat tietyt tavat, joiden mukaan suunnittelijan tulisi valita käytettävät pintakäsittelymenetelmät.	2
Maalaus. Kuuma ja -sähkösinkitys. Delta-pinnoitus (12.9 pultteihin: yhtä hyvä kuin sinkitys, mutta ei aiheuta vetyhaurautta)	Kuumasinkityksessä räjähdysvaara onkaloiden takia. Värimaailma huomioitava: ”ei kannata tilata näkyvää punaista osaa, mikäli kone on muuten kokonaan valkoinen”. Opetuksessa voisi tarkastella esikäsittelyä (esim. polttoleikatuille osille) ja mekaanista puhdistusta	2
Pulverimaalaus	Kaikkea ei voi tehdä ruostumattomasta materiaalista. Pintakäsittelyyn liittyvät asiat opitaan kyllä töiden ohessa.	2

Haastateltavien omissa tehtävissä esillä olleiden osien ja rakenteiden pintakäsittelymenetelmät on esitetty taulukon vasemmassa sarakkeessa. Maalaus eri muodoissa tuli esille kaikissa haastattelussa. Näkökohdat, jotka aineistosta luvun 2.9 kirjoitusta varten poimittiin, ovat listassa vahvennettuna:

- **Maalausta varten huomioitavaa**
- **Sinkitystä varten huomioitavaa**
- **Kertymien välttäminen suunnitteluratkaisuilla**
- **Olosuhteiden huomiointi**
- Vaikutus kappaleen dimensioihin
- Vaihtoehtoiset materiaalit
- Värimaailma
- Yritysten toimintatavat

Eräissä haastattelussa tuli esille, että ”yrityksillä on yleensä omat tietyt tavat, joiden mukaan suunnittelijan tulisi valita käytettävät pintakäsittelymenetelmät.” Toisaalta, mikäli suunnittelijalla ei ole käsitystä esimerkiksi sinkittävän kappaleen suunnittelussa huomioonotettavista asioista, voi kappale pintakäsittelyvaiheessa vaurioitua. Myös pintakäsittelyteeman yhteydessä tulivat esille ulkonäköseikat, kun eräs haastateltava toi ilmi, että jotkin ostokomponentit voivat olla täysin koneen värimaailmaan sopimattomia.

Aihealueesta keskusteltiin haastattelujen loppuvaiheessa, jolloin oli kulunut jo noin tunti, joten haastateltavat mahdollisesti vastailivat hieman nopeammin (vähemmän pohtimatta) kuin alkuvaiheessa haastattelua.

4.9 Konerakenteiden suunnittelu -kurssi

Työn ohessa kehityksen kohteena olleesta Konerakenteiden suunnittelu -opintojaksosta kysyttäessä havaittiin, että kurssiasiat unohtuvat hyvin paljon jo muutamassa vuodessa. Yleisvaikutelmaksi jäi, että ainoastaan edellisenä lukuvuonna kurssin suorittanut henkilö pystyi sen kummemmin miettimättä kertomaan mielipiteitään kurssin hyvistä sekä huonoista puolista. Haastattelupohja keskittyy kuitenkin työelämän suunnittelunäkökohtiin, joten kurssiin liittyvät asiat olivat toissijaisia. Kurssista mieleen jääneitä asioita olivat lähinnä harjoitustyö sekä sen yhteydessä suoritettu 3D-mallintaminen sekä erityisesti rakenteen kestävyuden simulointi. Harjoitustyö sai positiivista palautetta riippumatta kurssin suoritusvuodesta. Yleisesti ottaen kurssin sisältö koettiin hyödylliseksi työelämää ajatellen. Kurssiin toteutukseen liittyen toivottiin, että luennoilla käsiteltäisiin riittävästi käytännön esimerkkejä, kuten koneen rakenteiden mitoituslaskentaa. Lisäksi luennoilla opittujen asioiden ja esimerkkien pohjalta tulisi saada sopivat valmiudet harjoitustyön tekemistä varten. Mikäli luennot ja harjoitustyö ovat kaksi tavallaan aivan erillistä kokonaisuutta, muodostuu harjoitustyö liian työlääksi.

Osallistujia pyydettiin kertomaan myös, mistä tekijöistä kurssin arvosanan tulisi muodostua. Kolme mahdollista arvosanaan vaikuttavaa tekijää olivat tentti, harjoitustyö sekä (verkkoympäristössä palautettavat) harjoitustehtävät. Ehdotukset kurssiarvosanaan vaikuttavista tekijöistä on esitetty kootusti taulukossa 4.10.

Taulukko 4.10 Ehdotukset kurssiarvosanaan vaikuttavista tekijöistä

	Tentti	Harjoitustyö	Harjoitustehtävät
1	33 %	33 %	33 %
2	-	50 %	50 %
3	40 %	60 %	Tenttipisteitä
4	33 %	33 %	33 %
5	25 %	25 % + 25 % + 25 %	-
6	-	75 %	25 %
7	100 %	Tenttipisteitä	Tentin edellytys

Kuudessa haastattelussa harjoitustyö sai suurimman tai vähintään yhtä suuren painoarvon kuin muut tekijät. Kukaan haastateltavista ei kuitenkaan esittänyt, että kurssin arvosana muodostuisi pelkästään harjoitustyöstä. Erään haastateltavan (taulukossa kohta 5) mielestä kurssilla olisi suotavaa olla useita pienempiä harjoitustöitä, jolloin harjoitustehtävät voisi jättää kokonaan pois. Viidessä haastattelussa seitsemästä tentin koettiin kuuluvan kurssille. Yhden haastateltavan (kohta 7) mielestä tentin vaikutus arvosanaan tuli olla täydet 100 % ja edellytyksenä tenttiin pääsemiselle olisi tietty määrä suoritettuja harjoitustehtäviä. Tässä mallissa harjoitustyön pisteet lisätään tenttipisteisiin, joten parhaimpaan kurssiarvosanaan ei kuitenkaan vaadita välttämättä täydellistä onnistumista

tentissä. Tentin kuullessa opintojaksoon olisi perehdyttävä laajemmin kurssilla esitettävään materiaaliin, koska tällöin vastausten suora etsiminen pelkästään harjoitustehtäviin ei riittäisi. Lisäksi muodostuisi opiskelumateriaalia mahdolliseen tenttiarkistoon. Kaiken kaikkiaan arvosanan muodostumiselle ei näytä tämän aineiston perusteella olevan yhtä ja oikeaa tapaa. On henkilöstä riippuvaa, millainen kurssijärjestely koetaan parhaimpana.

Kyselyjen numeroarvioitavien kohtien tuloksista lasketut keskiarvot on esitetty taulukossa 4.11. Vertaamalla keskiarvoja toisiinsa saadaan hieman suuntaa-antavaa arviota siitä, kuinka tärkeänä eri aihealueet koetaan konerakenteiden opetuksessa *toisiinsa nähden*. Numeroarvo itsessään ei kuvaa luotettavaa asteikon mukaista tulosta, koska haastateltavat saattavat tulkita asteikkoa eri tavoin ja haastateltavien määrä on pieni.

Taulukko 4.11 Keskiarvot numeroarvioista sekä asteikko

	\bar{x}
Standardit	3,9
Muut materiaalit (kuin teräs)	3,1
Valmistusmenetelmät	3,1
Lujuusopin perusteiden kertaus	2,8
Stabiliteetin menetys	3,5
Rakenteen väsyminen	3,5
Hitsausliitosten suunnittelu	3,8
Ruuviliitokset	3,9
Korroosionesto	2,5

1. Ei tarvitse käsitellä
2. Voitaisiin mainita, mutta ei tarvitse käsitellä syvemmin
3. On hyvä tiedostaa; voisi olla ainakin osa luentoa
4. Tärkeä aihepiiri; voisi olla oma luentonsa
5. Erittäin tärkeä käsitellä syventyen omana luentonaan tai luentoinaan

Korkeimmat numeroarvioinnit on esitetty taulukossa vihreällä ja pienimmät oranssilla pohjalla. Korkeimman pistearvon keskiarvojen vertailussa saivat standardeihin perehtyminen sekä ruuviliitokset. Myös hitsausliitosten suunnittelun voidaan katsoa olevan tarkastelussa yhtä merkittäväksi koettu aihealue. Korroosioesto oli aihealueista se, jota pidettiin kaikkein vähiten merkittävänä konerakenteiden opetussisällössä. Tätä taulukkoa on hyödynnetty myöhemmin muodostettaessa ehdotus Konerakenteiden suunnittelu-kurssin luentosisällön järjestämiseksi luvussa 5.3.

5. POHDINNAT

Tässä luvussa pohditaan muun muassa haastattelujen sekä aineiston analyysin onnistumista. Kuten aiemmin esitettiin, tämä diplomityöraportti on muodostettu niin, että tutkimuksen eri vaiheissa syntyneitä näkökulmia on esitetty heti työn alussa luvussa 2. Esimerkiksi vasta haastattelujen jälkeen muodostui lopullinen luvussa 2.1 esitetty näkemys, jossa suunnittelijalla on 4 näkökohtaa huomioitavanaan. Haasteena tässä on esittää, mitkä näkökohdat tulivat kirjallisuudesta esille jo ennen haastatteluja, ja mitkä vasta haastatteluaineiston perusteella. Vaihtoehtoisesti olisi voinut tarkastella tutkijan itse (ennen haastatteluja) kirjallisuudesta löytämiä näkökulmia sekä haastateltujen henkilöiden esille nostamia asioita erikseen. Suunnittelunäkökohdista haluttiin kuitenkin muodostaa selkeä yhtenäinen kokonaisuus ulkopuoliselle lukijalle. Aineiston analyysiin tässä työssä liittyy muitakin luvussa 4 esitettyjä tulkintoja, joten sen vuoksi raportin koettiin olevan sopivaa muodostaa esitetyllä tavoin. Esimerkiksi opiskeluun sekä kurssiopeutukseen liittyvät asiat olivat aivan oma kokonaisuutensa. Yksi vaihtoehto olisi ollut myös jättää kurssiasiat täysin haastattelujen ulkopuolelle. Tällöin haastateltavien valinnalle asetettu kurssin suorittamisen kriteeri ei olisi ollut rajoituksena. Olisi voitu haastatella myös kauemmin konerakenteiden parissa työskennelleitä henkilöitä ja suunnittelunäkökulmat olisivat tällöin perustuneet pidempään työkokemukseen.

5.1 Haastattelujen onnistuminen

Seitsemän haastattelun tuottama aineisto oli riittoisa tähän tutkimukseen, joten tutkijan arvio haastattelujen määrästä oli ihan sopiva. Konerakenteiden suunnitteluun liittyviä näkökohtia kuitenkin löytyy todennäköisesti jatkuvasti lisää haastateltaessa erilaisten koneiden kanssa tekemisissä olevia henkilöitä. Tässäkin tutkimuksessa myös viimeinen haastattelu tuotti uusia näkökulmia sekä mielenkiintoisia huomioita. Tämän haastattelu-tutkimuksen luvussa 3.3 esitettyä saturaatiopistettä ei siis saavutettu. Ensimmäiset haastattelut suoritettiin hiomattomalla haastattelupohjalla sekä ilman tutkijan aikaisempaa kokemusta, joten haastattelijaa harjaannuttavat esihaastattelut olisivat voineet olla paikallaan. Tällöin kuitenkin ensimmäisten haastattelujen hyvin mielenkiintoinen aineisto olisi jäänyt hyödyntämättä. Mahdollisimman monien suunnittelunäkökulmien löytämiseksi hyödynnettiin jokaisen haastattelun aineisto tasavertaisesti.

Nauhoitusten puuttuminen laskee haastatteluaineiston arvoa, koska tällöin aineisto on tutkijan tulkinta- ja kirjaustaitojen varassa jo haastatteluvaiheessa. Esimerkiksi muuttaman ilmaisun joutui puhtaaksi kirjoitetusta aineistosta jättämään pois sen takia, koska ei ollut täyttä varmuutta haastateltavan tarkoituksesta. Toisaalta osallistuneet henkilöt oli-

vat haastattelijalle ennestään tuttuja, joten oli helppo pyytää selvennystä aineistoon myös jälkeinpäin. Tuttuja haastateltaessa tulos voi kuitenkin olla yksiääninen eli tuloksessa kuuluu vain marginaalisen samanmielisen joukon ääni. [1, s. 5, 19] On myös huomattava, että tutkimukseen osallistuneet henkilöt olivat suunnitelleet pääasiassa teräsrakenteista ja melko suuria konerakenteita (esimerkiksi raskaita työkoneita). Kaiken kaikkiaan haastattelijan kokemattomuus näkyi haastattelujen suunnittelussa sekä läpiviennissä. Toisaalta haastattelijan esitiedot aihepiireistä tuntuivat riittäneen hyvin haastattelujen suorittamiseen. Työn luonteen huomioiden, onnistuttiin haastatteluissa tuomaan esille merkittävä määrä tutkimusongelman selvittämisessä avustavaa aineistoa.

5.2 Teemat

Konerakenteiden liitokset olisi voinut käsitellä haastatteluissa yleisemmällä tasolla ilman oletusta (muun muassa kirjallisuusselvityksen perusteella syntyneestä käsityksestä) ruuvi- ja hitsausliitoksen yleisyydestä. Haastateltavan olisi voinut antaa itse kertoa yrityksessään käytetyistä menetelmistä. Toisaalta jälkeinpäin haastattelujen perusteella voitaneen sanoa, että keskustelut olisivat joka tapauksessa keskittyneet kyseisiin liitoksiin. Haastatteluaineisto tuki haastattelijan ennakkokäsitystä siitä, että hitsaus- sekä ruuviliitos ovat käytetyimmät liitostyypit konerakenteissa.

Keskustelujen aikana esitetyt numeroarvioin vastattavat kysymykset esitettiin yksitellen teemojen yhteydessä. Todennäköisesti parempi tapa olisi ollut antaa haastateltaville kysymykset erillisellä kaavakkeella haastattelujen jälkeen. Tällöin haastateltavat olisivat nähneet kokonaisuuden ja aihealueita olisi ollut helppo verrata toisiinsa mielipiteiden muodostamista varten. Lisäksi havaittiin, että nämä kysymykset olisi kannattanut esittää haastateltaville vasta kaikkien haastattelujen jälkeen. Tällöin kysymyksissä esiintyvät aihealueet olisi voitu muodostaa haastatteluanalyysin perusteella. Esimerkiksi osallistujilta kysyttiin vain valmistusmenetelmien käsittelyn tarpeellisuutta opetussisällössä. Yleisempi kustannus- sekä valmistettavuusnäkökulma muodostui vasta haastattelujen aikana, kuten luvussa 4.5 esitettiin.

Mielenkiintoinen aineistosta esiin noussut näkökulma oli suunnitellun asian ulkonäkö. Kyseisestä näkökulmasta ei keskusteltu käytännössä lainkaan haastatteluissa. Suunnittelijan voisi olla hyvä tiedostaa yleisiä koneen muotoiluun liittyviä seikkoja, kuten väsymisherkät muodot. Herää kysymys, voisiko esimerkiksi konerakenteiden opetuksessa ottaa esille myös muotoilua. Olisi ollut mielenkiintoista selvittää, kuinka yrityksissä muuten muotoilu otetaan huomioon. Onko työpaikalla esimerkiksi teollista muotoilijaa, joka antaa näkemyksensä suunniteltaviin rakenteisiin. Toisaalta haastattelut olivat melko pitkiä, joten ei olisi ollut enää oikein mahdollistakaan sisällyttää enempää keskustelunaiheita. Aineistosta esiin nousseita muita näkökohtia, joita ei työssä tarkemmin käsitelty olivat muun muassa kevyet materiaalit sekä tulevaisuuden koneensuunnittelu ja siihen liittyvä pohdinta (esimerkiksi uudet valmistustekniikat).

5.3 Ehdotus kurssin luentosisällöksi

Haastattelujen tuloksiin perustuen muodostettiin ehdotus Konerakenteiden suunnittelu -kurssin luentosisällöksi:

Aloitusluento. Standardit	<ul style="list-style-type: none"> •Kurssin sisällön esittely •Suunnittelua ohjaavat standardit (SFS-EN ISO 12100)
Rakennesuunnittelu teräksestä	<ul style="list-style-type: none"> •Yleistä rakennesuunnittelusta, CAD, teräs materiaalina •Levy- ja palkkirakenteet, kustannus- ja valmistettavuusnäkökulmat
Rakenteen kestävyys	<ul style="list-style-type: none"> •Lujuusoppi: peruskuormitukset, stabiliteetin menetys ja väsyminen •Vauriotapaukset, vauriolähteet
Stabiliteetin menetys	<ul style="list-style-type: none"> •Nurjahdus, lommahdus ja kiepahdus •Standardin mukainen mitoitus
Hitsausliitokset	<ul style="list-style-type: none"> •Hitsausliitosten suunnittelunäkökohtia •Hitsausstandardit, pienahitsin staattinen kestävyys
Väsyminen	<ul style="list-style-type: none"> •Rakenteen väsymistarkastelumenetelmät •Standardin mukainen mitoitus
Ruuviliitokset	<ul style="list-style-type: none"> •Ruuviliitoksen suunnittelunäkökohtia •Ruuviliitoksen mitoitus
Korroosionesto. Kevyet materiaalit	<ul style="list-style-type: none"> •Pintakäsittelyn suunnittelunäkökohtia •Ruostumaton teräs, alumiini sekä muut (komposiitit)
Vierailuluento / Kertaus	<ul style="list-style-type: none"> •Koneensuunnittelu työelämässä (yrityksessä) •Konerakenteiden suunnittelu tulevaisuudessa? (3D-tulostus)

Kuva 5.1 Ehdotus kurssin luentosisällöksi

Alkuluennolla voisi esitellä tässäkin työssä mainittuja lähdeteoksia, joita voi hyödyntää esimerkiksi harjoitustyön tekemisessä. Tiedonhaun merkitys oli esillä myös haastatteluissa. Samalla luennolla voisi esitellä kaikkien koneiden turvallisuusasioihin sovellettavaa standardia SFS-EN ISO 12100. Standardit saivat merkittävän painoarvon haastatteluissa, mutta yksittäisenä aihealueena niiden esittely voi olla melko pikaista. Standardit tulevat kuitenkin esille muiden luentojen yhteydessä standardeja sovellettaessa esimerkiksi rakenteiden mitoituksessa. Standardin Eurokoodi 3 voisi tuoda esille varsinkin rakenteen kestävyuden yhteydessä. Standardit ohjaavat suunnittelua, joten on sopivaa esitellä ne kurssin alkuvaiheessa.

Seuraava luento voisi koostua yleisistä suunnitteluasioista, kuten CAD-ohjelmistojen merkityksestä koneensuunnittelussa. Luennolla sopisi esitellä yleiset koneenrakennuksessa käytetyt teräslaadut sekä materiaalihiot, erityisesti levyrakenteet. Samalla voisi tuoda esille suunnittelijan työhön liittyvää kustannus- sekä valmistettavuusnäkökulmaa.

Asiaa ei tulisi kuitenkaan esittää liian suunnittelua ohjaavasti, jotta opiskelijan mieli pysyisi avoimena myös mahdollisille *uusille vaihtoehtoisille valmistustekniikoille*.

Tässä ehdotuksessa on rakenteen kestävyyttä käsittelevä luento, jossa voitaisiin esitellä Eurokoodin mukaiset murto- sekä käyttörajatilat. Lisäksi luento voisi sisältää esimerkiksi koneiden vauriotapauksista sekä eri vaurioitumisilmiöiden esittelyä. Mikäli kurssilla halutaan kerrata lujuusoppia, se sopisi tämän luennon yhteyteen. Lujuusopillisista seikoista stabiliteetin menetys sekä väsymisilmiö voisivat olla omat luentonsa, jolloin voitaisiin keskittyä rakenteen kestävyuden varmentamiseen standardin edellyttämällä tavalla.

Hitsausliitosten suunnittelun koettiin työn perusteella olevan oman luentonsa arvoinen. Luennolla voisi tarkastella esimerkiksi työssä esitettyjä suunnittelunäkökohtia sekä pienahitsin staattisen mitoituksen periaatteet. Väsymisilmiö liittyy varsinkin hitsausliitoksiin, joten hitsausliitokset voisi käsitellä ennen väsymismitoitusta. Ruuviliitokset ja niiden mitoitus voitaisiin käsitellä omana luentonaan. Liitostavat voidaan jakaa kiinteisiin sekä irrotettaviin liitoksiin, joten jaon mukaisesti luennoilla voitaisiin käsitellä muitakin liitoksia. Irrotettavat niveltappiliitokset sopisivat esimerkiksi ruuviliitosten yhteyteen. Kaikkea ei kuitenkaan pysty luentoajan puitteissa käsittelemään, joten on hyvä syventyä enemmän vain yleisimpiin menetelmiin.

Korroosionesto koettiin kaikkein vähiten merkittäväksi haastatteluissa esillä olleista aihealueista, joten se voitaisiin jättää esimerkiksi kokonaan oheismateriaaliksi. Mikäli aihealue halutaan pitää luento-opetuksessa, on loogista käsitellä pintakäsittelyt loppuvaiheessa (rakenteiden suunnittelun jälkeen). Pintakäsittelyn yhteydessä voisi käsitellä korroosiota hyvin kestäviä materiaaleja, kuten ruostumatonta terästä ja alumiinia. Sekavuuden välttämiseksi voisi olla suotavaa keskittyä kuitenkin pelkästään teräsrakenteiden mitoittamiseen tällä kurssilla. Tällöin muiden materiaalien läpikäyminen jäisi lähinnä esittelyn tasolle (esimerkiksi hinta- ja kestävyysero). Eräessä haastattelussa mainittiin, että ”*tulevaisuudessa* kevyiden konerakenteiden käyttö korostuu”. Yksi mahdollisuus olisi järjestää erillinen luento kevyille konerakenteille, kuten alumiinille sekä komposiiteille ja ottaa luennolle mukaan esimerkiksi myös tulevaisuuden näkymät. Valmistusmenetelmistä erityisesti 3D-tulostus on ollut huomattavasti esillä viime aikoina. On mahdollisesti vain ajan kysymys, ennen kuin se yleistyy koneenosien valmistuksessa.

Haastatteluiden myötä havaittiin, että yrityksissä työskentelevillä henkilöillä on hyviä sekä mielenkiintoisia huomioita kurssilla käsiteltäviin asioihin. Kurssille voisi sopia konealan yrityksen edustajan vierailuluento, jossa käsiteltäisiin koneen rakennesuunnittelua käytännössä. Tarvittaessa tämän luennon voisi myös käyttää asioiden kertaukseen. Koska kaikkea ei välttämättä ehdi käymään aikaresurssien puitteissa, on yhtenä ratkaisuna haastatteluissakin useasti esille tulleet tiivistetyt oheismateriaalipaketit, joihin opiskelijat voisivat halutessaan perehtyä itsenäisesti.

LÄHTEET

- [1] Tiainen, T. Haastattelu tietojenkäsittelytieteen tutkimuksessa. Tampere 2014, Informaatiotieteiden yksikkö, Tampereen yliopisto.
- [2] Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V. & Söderström, W. Koneenosien suunnittelu. 4. painos. Porvoo 2003, WS Bookwell Oy. 796 s.
- [3] Ongelin, P. & Valkonen, I. Hitsatut profiilit. EN 1993 -käsikirja. Uudistettu 3. painos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2010, Rautaruukki Oyj. Saatavissa http://software.ruukki.com/Handbooks+and+Guides/Ruukki-Hitsatut-Profiilit-Kasikirja-2010_PDF-versio.pdf
- [4] Ongelin, P. & Valkonen, I. Rakenneputket. EN 1993 -käsikirja. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu 2012, Rautaruukki Oyj. Saatavissa https://software.ruukki.com/Ruukki-Rakenneputket-Kasikirja-2012_PDF-versio.pdf
- [5] Norton, R.L. Machine Design - An Integrated Approach. 3rd edition. Upper Saddle River, USA 2006, Pearson Education, Inc. 983 s.
- [6] SFS-käsikirja 1. Standardit ja standardisointi 2013. 8. uudistettu painos. Helsinki 2012, Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 40 p. Saatavissa http://www.sfs.fi/files/83/KK_1_2015_muokattu.pdf
- [7] Koneturvallisuuden standardit. 2015, Suomen Standardoimisliitto SFS ry. Saatavissa <http://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusesite2015web.pdf>
- [8] Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Tärkeimmät standardit. [WWW]. [viitattu 9.7.2016]. Saatavissa http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/standardisointi/01-06-00.php
- [9] SFS-EN ISO 12100. 2010 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 171 s.
- [10] Fraser, I. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. 2. painos. 2010, Euroopan komissio, yritys- ja teollisuustoiminta. 391 s. Saatavissa <http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/9202/attachments/1/translations/fi/renditions/pdf>
- [11] Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry. Vaatimustenmukaisuusolettamus. [WWW]. [viitattu 9.7.2016]. Saatavissa http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/standardisointi/02-01-00.php
- [12] SFS-EN 13001-3-1 + A1. 2013. Nosturit. Yleissuunnittelu. Osa 3-1: Teräsrakenteiden rajatilat ja kelpoisuuden osoittaminen. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 200 s.

- [13] Teräskirja. 9. painos. Metallinjalostajat ry. 2014, Bookwell Oy. 114 s. Saatavissa <http://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/julkaisut/teraskirja>
- [14] AZO materials. Structural Steel - S235, S275, S355 [WWW] [viitattu 3.6.2016]. Saatavissa <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022>
- [15] Teräsrakennetuotteet ja suositeltavat teräslajit. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.6.2016]. Saatavissa <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010406.pdf>
- [16] Piironen, Tomi. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. 2013, Savonia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- [17] Jääskö, Matti. 2015. Diplomityö: Nostoturvallisuuden varmistaminen tuotekehitys-prosessissa. Tampereen teknillinen yliopisto, Teknisten tieteiden tiedekunta. Teollisuustalouden laitos.
- [18] Hassi, Liisa. 2008. Diplomityö: Teräsrakenteiden suunnittelu Eurokoodien mukaan. Tampereen teknillinen yliopisto.
- [19] SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 99 s.
- [20] SFS-EN 1990 + A1 + AC. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 184 s.
- [21] Outinen, H., Salmi, T. & Vulli, P. Lujuusopin perusteet. Tampere 2007, Klingendahl Paino Oy. 464 s.
- [22] Järvenpää, Veli-Matti. Konerakenteet - luento 3. 2011, Tampereen teknillinen yliopisto
- [23] Kaitila, Olli. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki 2010, Teräsrakenneyhdistys ry. 183 s.
- [24] SFS-EN 1993-1-5. 2006. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-5: Levyrakenteet. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 57 s.
- [25] Lepola, P. & Makkonen, M. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. 1.-3. painos. Helsinki 2008, Werner Söderström Osakeyhtiö. 429 s.
- [26] SFS 2373. 1980. Hitsaus. Staattisesti kuormitettujen teräsrakenteiden hitsausliitosten mitoitus ja lujuuslaskenta. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto SFS. 38 s.
- [27] SFS 3052. 1995. Hitsaussanasto. Yleistermi. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 122 s.
- [28] SFS-EN ISO 5817. 2014 Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto. 60 s.

- [29] SFS-EN 1993-1-9. 2005. Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Väsyminen. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 41 s.
- [30] Bolt Science. A Tutorial on the Basics of Bolted Joints. [WWW]. [viitattu 7.8]. Saatavissa <http://boltscience.com/pages/basics1.htm>
- [31] Eccles, Bill. Bolt Science. The basics of bolted joints. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.8] Saatavissa <http://boltscience.com/pages/the-basics-of-bolted-joints.pdf>
- [32] Würth -suunnitteluopas. [verkkodokumentti]. [viitattu 19.9.2016]. Saatavissa <http://www.wurthelektronik.fi/site/media/pdf/we/kuvasto/suunnitteluopas06.pdf>
- [33] SFS-EN ISO 12944-3. 1998. Maalit ja lakat: Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3. Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto.
- [34] SFS-EN ISO 14713-2 Sinkkipinnoitteet. Ohjeet ja suositukset rauta- ja teräsrakenteiden korroosionestoon. Osa 2: Kuumasinkitys. Vahvistettu 2010. Suomen Standardoimisliitto SFS, Helsinki. 29 s.
- [35] Teräsrakenneyhdistys. Sinkitys. [WWW]. [viitattu 8.10.2016]. Saatavissa <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/toiminta/try-pintakasittelyjaosto/sinkitys/>
- [36] Ruusuvuori, J & Tiittula, L. Haastattelu – tutkimus, tilanteet ja vuorovaikutus. 2. painos. Osuuskunta Vastapaino. 2009, Jyväskylä. Gummerus Kirjapaino Oy. 310 s.
- [37] Hirsjärvi, S. & Hurme, H. Tutkimushaastattelu – Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Gaudeamus Helsinki University Press. 2011, Tallinna. Raamatutrükikoda. 213 s.
- [38] Ruusuvuori, J., Nikander, P. & Hyvärinen, M. Haastattelun analyysi. Osuuskunta Vastapaino. 2010, Tallinna. Raamatutrükikoda. 470 s.

LIITE A: ERÄÄN HAASTATTELUN AINEISTO

Taustatiedot

...

Kolme hyödyllisintä (suoritettua) kurssia työelämää ajatellen

CAD:n jatkokurssi: Pääsuunnittelutyökalun käytön oppiminen

Elementtimenetelmän perusteet: Lujuuslaskentaa

Ohjelmointi: En ole vielä tarvinnut, mutta uskon, että hyötyä tulevaisuudessa

Tuleeko mieleesi jokin koneensuunnitteluun liittyvä asia tai aihealue, joka jäi opiskeluaikanasasi kursseilla (lähes) kokonaan perehtymättä?

Asia 1: Monimutkaisten rakenteiden paloittelu osiin, joiden kestävyyttä voi laskea yksinkertaistettuna käsin peruslujuusopin avulla. Esim. (Puomin suunnittelussa) aloittaisi vain yhden palkin tarkastelusta ja määrittäisi ensin pelkästään sen kokoluokan. Lähtee sitten sen perusteella suunnittelemaan kokonaisuutta pidemmälle.

Asia 2: Vanhan designin hyödyntäminen, kun suunnitellaan uutta

Konerakenteiden suunnittelu -kurssi

Opittujen asioiden hyödyllisyys työelämän kannalta

Olivat hyödyllisiä

Mielen jäänyttä

Erityisesti FEM-työkalun käyttö (SolidWorks) ja SN-käyrä (Wöhler)

Hyvä, että asioita käytiin monipuolisesti.

Muita kurssin järjestelyjä

Hitsityylit (piena, puoli-V) ja niiden vaikutusta väsymiskestävyyteen voisi käsitellä kurssilla.

Kun annetaan kaavoja tai taulukoita, olisi hyvä aina mainita mistä standardista ja kohdasta kaava löytyy.

Kuinka kurssin arvosana tulisi muodostua? (Prosentuaaliset osuudet: harjoitustehtävät, harjoitustyö ja/vai tentti)

33% tentti (tulisi olla kurssilla), 33% harjoitustyö ja 33% laskutehtävät

Työ

Ensimmäinen (mieleen jäänyt) suunnittelutehtävä

Anturin kotelointi (teräslevystä valmistettu kotelo)

Suunnitteluun käytetyt ohjelmistot

NX, TeamCenter ja Autocad (Mathcad ohessa)

Tiedonhaku ja kirjallisuuden käyttö suunnittelun yhteydessä

Koneenpiirustus 1&2 (Aimo Pere), Lujuusopin perusteet (Outinen, Salmi, Vulli), internet-lähteet

Suunnittelu ja standardit

Suunnittelutöissä käytetyt standardit

Hieman vilkuillut Eurocode 3 ja 9, huoltotasostandardit, riskianalyysi, hitsausluokat, yleismittatoleranssi

Kuinka tarpeellisenä näet standardeihin perehtymisen opetussisällössä?

3. Olisi hyvä, ettei luettele liikaa kaikenlaisia eri standardeja, vaan tuo olennaisimmat ilmi. Yksi koneensuunnittelijan haasteista on nimenomaan löytää oikeat standardit, joita pystyy työssään soveltamaan.

Pienemmissä yrityksissä joutuu todennäköisesti enemmän itse etsimään sopivia standardeja, kun taas isoissa yrityksissä yleensä tiedetään suoraan kertoa, mitä standardia kannattaa soveltaa.

Standardiehdotukset kursseille

Riskianalyysi. Käytännössä se on kaikkein tärkein standardi. Tavallaan jokainen suunnittelija suorittaa riskinarviointia myös päässään arvioidessaan työnsä toimivuutta ja turvallisuutta. Dokumentointi on tärkeää.

Eurocode 3

Voisi käydä pintaraapaisuna, hyvä tiedostaa olemassaolo

Suunnitteluneuvot ensimmäistä teräsrakennettaan suunnittelevalle henkilölle

Ota huomioon valmistuksen rajoitteet: levynkanttaus, hitsityökalut mahtuvat ja hitsisaumalle on tarpeeksi tilaa. Ota vanhat designit huomioon ja avuksi, mutta tarkastele niitä kriittisesti. Kysy neuvoa työ-kavereilta.

Kuinka tarpeellisenä näet lujuusopin asioiden kertauksen tällä opetussisällössä?

3. Taivutusvastus ja siitä ratkaistava jännitys sekä neliömomenttien kaavat lujuusopin lopusta. Kun tiedetään normaalijännitys ja leikkausjännitys, niin siitä voi sitten laskea kokonaisjännitystä. Huom. Lujuus-tarkastelu mahdollista tilata alihankintana.

Kustannukset ja valmistettavuus

Rakenne, jossa suunnittelija ei ollut osannut ottaa huomioon kaikkia vaikuttavia tekijöitä

Levyn hitsaus, mutta hitsisaumalle ei ollut tarpeeksi tilaa. Reikä liian lähellä hitsisaumaa, jolloin pulttiliitoksen aluslevy kanitti kiinni saumaan.

Valmistuksesta tai kokoonpanosta aiheutuvia rajoitteita omissa suunnittelutöissä

Onko tarpeeksi tilaa kiristää pultti (työkalun hylsyn ulkohalkaisijan koko)

Suunnittelun vaikutus valmistus- ja kokoonpanokustannuksiin

Ei koneistuksia, jos mahdollista. Reiät polttoleikkaamalla, jos pystyy (porausten välttäminen). Käyttää paljon saman vahvuista materiaalia (saadaan samasta aiheista).

Valmistusmenetelmät, jotka opiskelijan erityisesti hyvä tiedostaa konerakenteiden suunnittelua ajatellen

Hitsaus (hitsityökalut), kanttauskone

Kuinka tarpeellisenä pidät valmistusmenetelmien (suunnittelun näkökulmasta) läpikäymistä opetussisällössä?

Jos esimerkiksi koneistukset (koneistusvarat) ja valukappaleet otetaan mukaan, niin 4

Palkki- ja levyrakenteet

Suunnittelutöissä tai rakenteissa käytetyt materiaalihiot (Ohutlevyjä vai profiilipalkkeja; millaisiin käyttökohteisiin)

Pääasiassa levyä. Murskaimet valurakenteita. Huoltotason suojakaide pyöreä putki.

Kokemus rakenteen stabiliteetin menetyksestä

Ei

Kuinka tärkeänä pidät stabiliteetin mitoituslaskennan käsittelyä opetussisällössä?

3,5

Palkki- tai levyrakenteet yleisesti

Globaalisti eri alueilla palkkirakenteissa (profiileissa) voi olla mittaeroja, levyrakenteissa ei vaikutusta. Kannattaa muistaa poikkileikkauksen neliömomentin kaavat eli kun kasvavat tukirivan korkeutta niin vaikutus potenssiin 3. Jos kasvavat levynpaksuutta niin vaikutus pienempi (kuin korkeutta kasvattamalla). Muista kuitenkin myös lommahdus.

Valurakenteet

Leukamurskain, valettuja laakeripesiä. Valuissa isot pyöritykset, riittävästi koneistusvaraa, otettava huomioon valupäästöt, kaltevat seinät muotin irrottamiseen, tasapaksut seinämät jos mahdollista

Kurssi keskittyy vain teräsrakenteisiin. Kuinka tarpeellisena näet muiden materiaalien (alumiini, komposiitti) rakennesuunnitteluun perehtymisen opetussisällössä?

4, alumiiniin perehtyminen ja vähän muista

Suunnittelussa käytetyt materiaalit

Teräs, alumiini ja kumi

Minkä tyyppisissä rakenteissa muita materiaaleja (kuin terästä)?

Alumiini siirrettävissä huoltotasoissa, kumi suojamateriaalina

Hitsausliitokset ja väsyminen

Hitsausliitoksen suunnittelu tulisi sisällyttää kurssiin

Hitsausliitoksen suunnittelu

a3-pieni ei ole aina tasan a3, vaan riippuu hitsausluokasta: esimerkiksi voi olla ennemminkin a2-a4 välillä.

Jos ei väsymisriskiä eikä suuria jännityksiä, niin pätkähitsi

Kuinka tarpeellisena näet hitsausliitoksen suunnittelun käsittelyn opetussisällössä?

Kuinka tarpeellisena näet rakenteen väsymislaskennan käsittelyn opetussisällössä?

Hitsausliitokset 3 ja rakenteen väsymismitoitus 3, yhdessä 4

Hitsaus tai väsyminen yleisesti

Väsymislaskentaan liittyvän Hot Spot -menetelmän voisi tuoda kurssilla ilmi (yleisellä tasolla)

Ruuviliitokset

Ruuviliitoksen suunnittelu

Ruuviliitoksen vaikuttava ulkoinen voima. Tarpeeksi pitkä ruuvi (venymäpituutta kompensoimaan maalipintoja) ja tarpeeksi kova aluslaatta (varsinkin jos käytetään 10.9 pulttia, koska muuten liitosmateriaalien pintapaine kasvaa). Käytetään 8.8 ruuveja ja kriittisissä paikoissa 10.9.

Pulttiliitoksen pitävyys (tai löystyminen)

Tarpeeksi venymäpituutta, kiristetään oikeaan momenttiin. Mikäli ruuvia ei ole kiristetty kunnolla, on kyseessä tavallaan "niveltappi"-liitos.

Kuinka tarpeellisena näet ruuviliitosten käsittelyn opetussisällössä?

4, oikeaoppinen ruuviliitos on kitkaliitos. Leikkaukseen joutuva ruuviliitos on lähtökohtaisesti huono.

Muut liitokset (niitti, niveltappi)

Niittejä ei käytetä. Niveltappiliitoksen suunnittelussa huomioitava, että tappi kestää leikkausvoiman.

Tapin ja vapaareian suhde: vapaareikä ei saa olla liian suuri (pintapaine)

Ruuviliitokset yleisesti

"Ruuviliitos on jousi!"

Korroosionesto

Suunniteltujen rakenteiden pintakäsittely

Maalaus, sähkösinkitys tai kuumasinkitys

Suunnittelijan huomioitava pintakäsittelyyn ja korroosioon liittyen

Kuumasinkityksessä tarvittavat aukot. Sähkösinkitys hyvä pienille osille. Jos maalataan, niin mieluiten suljettu rakenteita: koloja on vaikea maalata.

Kuinka tarpeellisena näet korroosioneston käsittelyn opetussisällössä?

3

Korroosionesto yleisesti

Alumiini ja ruostumaton teräs hyvin korroosiota kestäviä, varteenotettavia vaihtoehtoja materiaaleiksi

Loppukysymykset

Vauriotapauksista

Koneistetun osan etupäätykulman pyöristyssäde oli liian pieni ja altistui väsyttävälle kuormalle. Säteen kohdalla jännityspiikki ja repesi ajan myötä. Korjattiin isontamalla sädettä

Konerakenteiden suunnitteluun liittyvä aihealue, jota ei käyty läpi ollenkaan haastattelussa

FEM:in käyttö pienille rakenteille (myös perussuunnittelija pystyy nopeasti tarkastelemaan jännityksiä CAD-ohjelman avulla)

Lähteitä (verkkomateriaalia, kirjallisuutta) liittyen kurssin aihealueisiin, jotka olisivat mahdollista opiskelumateriaalia

<http://boltscience.com/pages/basics1.htm> osoitteen vois antaa opiskelijalle pulttiteorian opiskeluun.

Harjoitustyö kurssille (millaisen kokoonpanon suunnittelu ja mitoitus)

Kannatin, nosturipalkki

Muuta sanottavaa (esimerkiksi terveisiä kurssille)

Puomin suunnittelu -harjoitustyössä parametristen kaavojen käyttö Mathcad-ohjelmassa oli hyvä.