

Juho Lamponen

# FEM-analyysien tuonti osaksi tilaussuunnitteluprosessia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

1.5.2017

Tekijä Otsikko	Juho Lamponen FEM-analyysien tuonti osaksi tilaussuunnitteluprosessia
Sivumäärä Aika	17 sivua 1.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Yliopettaja Jyrki Kullaa Suunnittelupäällikkö Paula Häkänen
<p>Tämä insinööri työ on tehty ABB Oy:n tilaussuunnitteluosastolle. Aiheena oli tutkia FEM-laskennan tuomista osaksi tilaussuunnitteluprosessia. Opinnäytetyössä perehdytään FEM-laskentaan ja tutkitaan, mitä laskennan siirtäminen vaatisi eri näkökulmista.</p> <p>Työn tavoitteena on tutkia, onko laskennan siirtäminen toiselta osastolta järkevää ja kannattavaa, ottaen huomioon FEM-laskennan haastavuuden sekä toimintaedellytykset. Lisäksi opinnäytetyö sisältää pohdintaa ja tilastoja toiminnan nykytilasta.</p> <p>Insinööri työn lopputuloksena on laadittu kaksi erilaista toimintasuunnitelmaa, joita voidaan jatkojalostaa ja käyttää, jos yrityksessä laskentaa päätetään siirtää. Varsinaista päätöstä laskennan siirtämisestä tämä työ ei sisällä, vaan työn tuloksia voidaan käyttää hyväksi jatkosuunnitelmia tehtäessä.</p>	
Avainsanat	FEM, prosessi, oikosulkumoottori, tilaussuunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Juho Lamponen Implementation of the Finite Element Analysis as Part of the Engineering Process 17 pages 1 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Jyrki Kullaa, Principal Lecturer Paula Häkänen, Engineering Manager
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by the engineering department of ABB Oy, Helsinki. The aim of the thesis was to examine the implementation of the Finite Element Analysis as part of the engineering process.</p> <p>The objective of this Bachelor's thesis was to find out whether transferring the analysis is advisable, keeping in mind the challenging essence of FEM and other prerequisites for operation. This thesis also contains a survey of the current situation regarding the use of Finite Element Analysis in the company.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, two different action plans were suggested that may be utilized as they stand or they may be developed further if the decision of the implementation of the analysis is made in the company. Solutions, however, are not suggested whether the analysis should be implemented. In future this thesis can be utilized when business decisions are made regarding this change.</p>	
Keywords	FEM, process, induction motor

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yritysesittely	2
2.1	ABB Suomessa	2
2.2	Pitäjänmäen yksikkö	2
3	Oikosulkumoottorin toimintaperiaate	3
4	Elementtimenetelmä	5
4.1	FEM-analyysin perusteet	5
4.2	FEM-analyysin kulku	7
5	Uuden prosessin implementointi	10
6	Hankkeen tutkiminen	12
6.1	Hankkeen valmistelu	12
6.2	Hankkeen suunnittelu	12
6.3	Analyysivaihe	12
7	Suosituksset	14
7.1	Suunnitelma 1	14
7.2	Suunnitelma 2	15
8	Yhteenveto	16
	Lähteet	17

## 1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy:lle Pitäjänmäen konetehtaalle induktiokoneiden tilaussuunnitteluun. Työn aiheena oli tutkia FEM-analyysien tuomista osaksi tilaussuunnittelu-prosessia. FEM-laskennan osaaminen ja saatavuus tilaussuunnittelussa lyhentäisi parhaassa tapauksessa mahdollisten ongelmatapausten, kuten liikaa tärkevän moottorin, ratkaisemisen vasteaika.

Induktiokoneiden tilaussuunnittelu toimii osana tilaus-toimitusprosessia. Jokainen oikosulkumoottori, joka tehtaalla tilaussuunnittelussa tehdään, on projekti jollekin asiakkaalle. Tilaussuunnittelu toimii tällä hetkellä siten, että ensin yhtiön sähkösuunnittelijat tekevät moottorin sähköisen mitoituksen. Tämän jälkeen projekti siirtyy mekaniikkasuunnittelijalle, joka tekee ensin asiakkaan haluamat asiakasdokumentit. Näitä dokumentteja tehdään projektista riippuen kahdesta yli kymmeneen kappaletta, muun muassa koneen mittakuva ja kytkentäkaavio. Samanaikaisesti asiakasdokumenttien teon kanssa tapahtuu itse moottorin suunnittelu. Monet moottorin komponentit ovat vakioituja, mutta tarvittaessa mekaniikkasuunnittelija suunnittelee varioituja, tai jopa täysin uusia komponentteja. Kun tarvittavat dokumentit ja mahdolliset uudet osat on saatu tehtyä, suunnittelija käyttää PDM:ia (Product Data Management, tuotetiedon hallinta) moottorin rakenteen tekemiseen. PDM sisältää kaikki osat, joita moottoriin asennetaan. Myöhemmässä vaiheessa tilaussuunnitteluun kuuluu myös moottorin rakenteen ja kuvien päivittäminen, jos asiakas esimerkiksi haluaa tehdä jälkeensä vielä muutoksia koneeseen.

FEM-analyyseja tekee tällä hetkellä yhtiössä myynnin tuki, josta laskentaa haluttaisiin mahdollisesti siirtää ainakin osittain tilaussuunnittelun piiriin. FEM-analyyseja käytetään muun muassa staattisiin lujuus- ja nostolaskelmiin, moottorin ominaistajuusvärähtelyihin sekä roottoridynamiikka-analyyseihin.

Työn tavoitteena on tehdä selvitys nykyisestä tilanteesta sekä toimintasuositukset laskennan siirtämisen osalta. Lisäksi on tarkoitus tuottaa tietoa, mitä resursseja tämä muutos vaatisi niin laitteiston, koulutuksen kuin henkilötyövuosien puolesta. Tässä työssä esitellään myös oikosulkumoottoria, selvitetään mitä uuden prosessin tuominen jo olemassa olevan prosessin yhteyteen vaatii sekä perehdytään FEM-laskentaan.

## 2 Yritysesittely

ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tarjonta kattaa niin sähköistystuotteet, robotit ja liikkeenohjauksen kuin teollisuusautomaation ja sähköverkko-  
koratkaisut. ABB-yhtymällä on toimintaa noin 100 maassa, ja henkilöstöä on noin 132 000. ABB:n liiketoiminta on jaettu globaalisti neljään divisioonaan asiakaspohjan ja teollisuusalojen mukaan, joita yhtiö palvelee. Nämä divisioonat ovat Robotics and Motion, Power Grids, Industrial Automation ja Electrification Products. Asiakkaat ovat maailmanlaajuisesti teollisuus-, energia-, liikenne- ja infrastruktuuraloilla. [1; 2.]

ABB perustettiin vuonna 1988, kun ruotsalainen Asea ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistivät sähkötekniset liiketoimintonsa. Yhtiön historian voidaan kuitenkin katsoa alkaneen jo yli 120 vuotta sitten. [3.]

### 2.1 ABB Suomessa

Suomessa nykyisen ABB:n tarina alkoi vuonna 1889 Gottfrid Strömbergin perustamasta sähköliikkeestä. Vuonna 1986 Oy Strömberg Ab siirtyi Asean omistukseen, ja sitä kautta kaksi vuotta myöhemmin osaksi ABB-yhtymää. [4.]

Nykyään ABB työllistää Suomessa noin 5 100 henkilöä. Tehdaskeskittymät sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa, Porvoossa sekä Haminassa. Suomessa ABB on yksi suurimmista teollisuuden työnantajista ja sen liikevaihto on noin 2,2 miljardia euroa. [5.]

### 2.2 Pitäjänmäen yksikkö

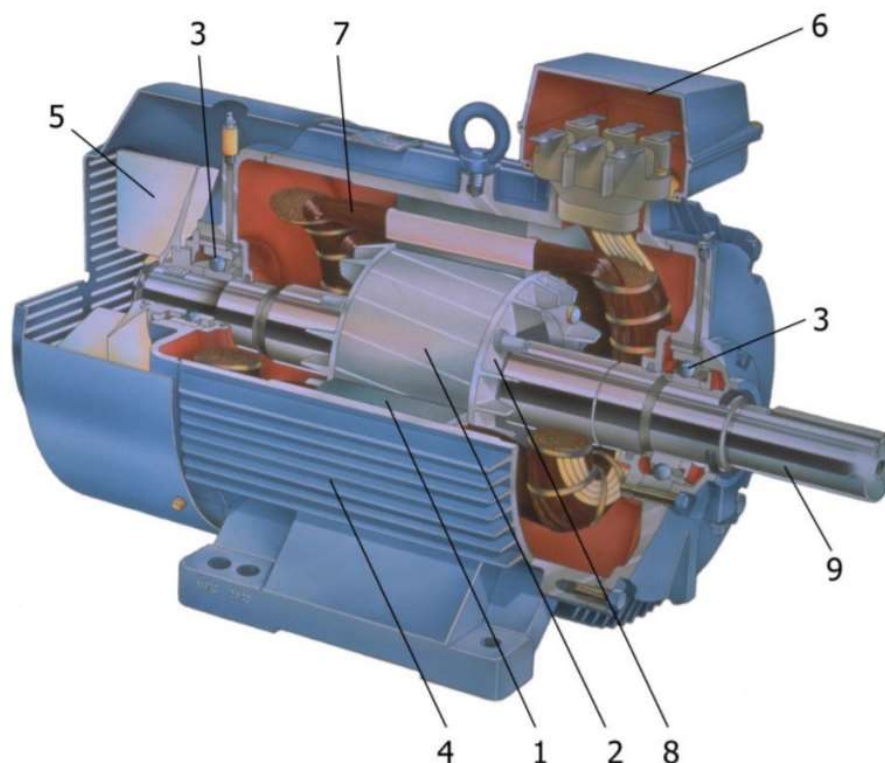
ABB:n Pitäjänmäen yksikkö koostuu pääasiassa kolmesta rakennuksesta; konetehtas, E-tehtas sekä Tellus-talo. Näistä konetehtaalla tapahtuu induktio- ja tahtikoneiden suunnittelu sekä valmistus. Tehtaalla sijaitsee myös niin huolto-, takuu- kuin tuotekehitysosastot, joten voidaan puhua kaiken kattavasta tehtaasta. E-tehtaalla sijaitsee ABB Drives -yksikkö, jossa valmistetaan muun muassa taajuusmuuttajia. Tellustalossa sijaitsee myyntiyksikkö, sekä erilaisia kokous-, auditorio ja koulutustiloja.

### 3 Oikosulkumoottorin toimintaperiaate

Sähkökoneet muuttavat energiaa muodosta toiseen. Moottorit muuttavat niihin syötettyä sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi ja generaattorit taas päinvastoin. Useimmat koneet voivat toimia sekä moottorina että generaattorina.

Koneita on useaa eri tyyppiä, joista tärkeimmät ovat epätahti-, tahti- sekä tasavirtakoneet. Epätahti- ja tahtikoneet ovat vaihtovirtakoneita, joiden toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään koneen sisällä. Tahtimoottorin akseli pyörii samassa tahdissa magneettikentän kanssa, kun taas epätahtimoottorin akseli pyörii jättämän verran magneettikenttää hitaammin.

Oikosulkumoottori, joihin tahti- ja epätahtimoottorit kuuluvat, on teollisuuden yleisimmin käytetty moottorityyppi. Syynä tähän on sen vähäinen huollontarve sekä hyvä hyötysuhde. Se on myös verrattain edullinen sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Kuvassa 1 on esitelty oikosulkumoottorin rakenne. [6.]



Kuva 1. Oikosulkumoottorin rakenne [7].

Rakenteen osat kuvassa 1 ovat seuraavat:

1. staattori
2. roottori
3. laakerit
4. staattorin runko
5. tuuletin
6. liitäntäkotelo
7. staattorikäänitys
8. roottorikäänitys
9. akseli.

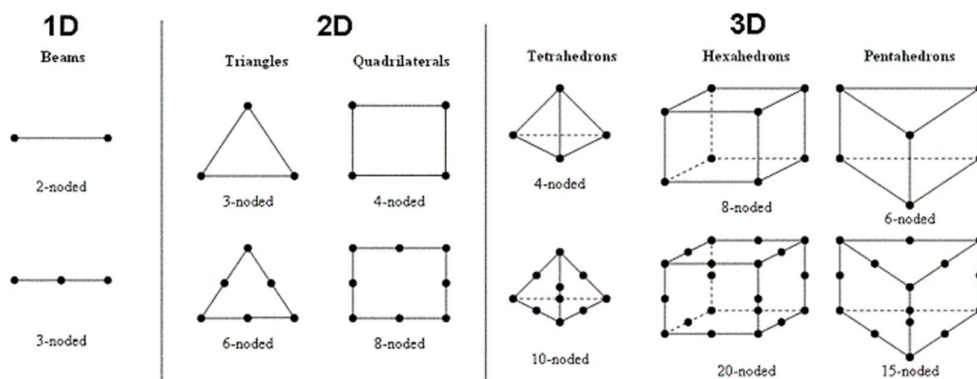


## 4 Elementtimenetelmä

Finite Element Method (FEM) eli elementtimenetelmä on lujuusopin teoriaan perustuva numeerinen ratkaisumenetelmä. Sen käyttö alkoi 1950-luvulla Yhdysvalloissa lentokoneiteollisuudessa, josta se levisi nopeasti kone- ja rakennustekniikan alueille rakenteiden dynamiikan ja statiikan käsittelyyn. FEM:ia käytettäessä tavoitteena on ratkaista rakenteen muodonmuutostilakenttä, jännitystilakenttä ja siirtymätilakenttä, kun rakenteen tuenta ja kuormitus ovat tunnetut. [8.]

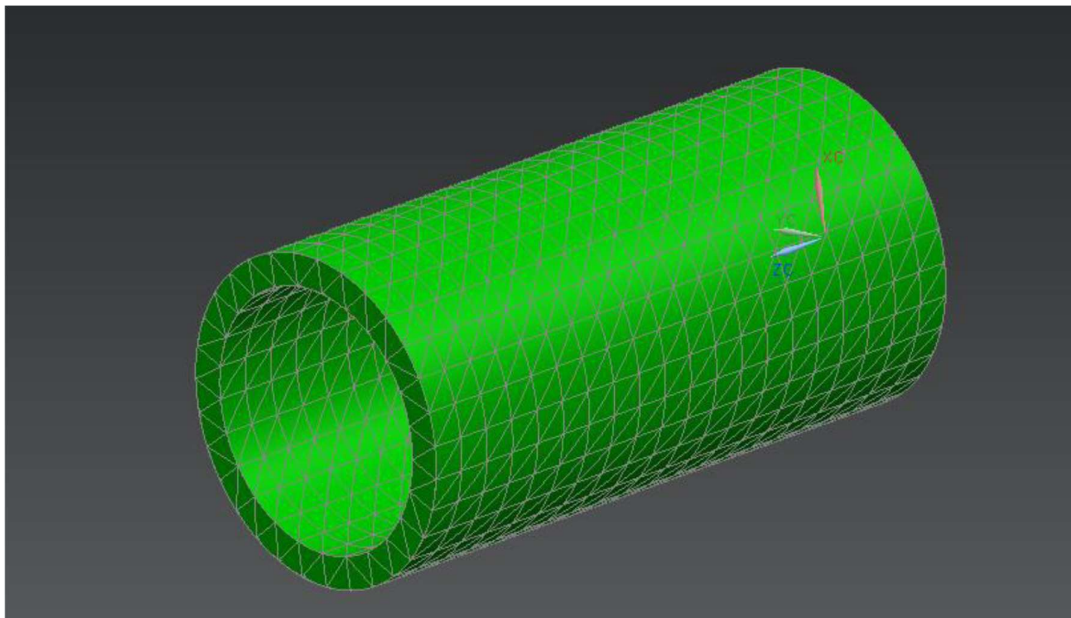
### 4.1 FEM-analyysin perusteet

Elementtimenetelmässä kappale jaetaan geometrialtaan yksinkertaisiin osiin, elementteihin. Elementit ovat yhteydessä toisiinsa solmujen kautta. Kolmiulotteisen kappaleen elementteinä käytetään pääsääntöisesti tetraedri-, kiila- ja tiiliskivielementtejä. Pintarakenteisiin käytetään vastaavasti taso-, nelikulmio- ja kolmioelementtejä. Viivarakenteissa käytetään janaelementtejä, tyypillisimpinä palkki- ja sauvaelementit (kuva 2). Näiden lisäksi on olemassa harvinaisempia elementtejä erityistarkoituksiin. [6.]



Kuva 2. Tyypillisimmät elementtityypit [9].

Kappaleen jako-osina käytettävien elementtien koko vaihtelee tyypillisesti paljon tarkasteltavana olevan ongelman luonteesta riippuen. Saman kappaleen eri osissa saattaa esiintyä hyvinkin eri kokoisia elementtejä. Elementtijaossa voidaan käyttää myös eri geometrisia ja eri materiaaliominaisuudet sisältäviä elementtejä, mikä mahdollistaa elementtimenetelmän käytön joustavasti yhdistetyissä rakenteissa. Elementtijoukkoa kappaleessa kutsutaan elementtiverkoksi. Elementit yhdistyvät toisiinsa nurkkapisteissä, joita voidaan kutsua myös solmupisteiksi. Elementtiverkko koostuu siis elementeistä, jotka liittyvät toisiinsa solmuissa (kuva 3). [8.]



**Kuva 3. Särmiöelementtinen elementtiverkkomalli [11].**

Minkä tahansa elementtityypin käyttö vaatii niin elementtimenetelmän kuin lujuusopin teorian tuntemista. Jokaisella elementtityypillä on omanlaisensa oletukset ja rajoitukset, joiden tunteminen on välttämätöntä niiden käyttöä varten. Teorian tuntemalla laskennan onnistuminen ja tulosten tulkitseminen helpottuvat ja tuloksiin voidaan luottaa paremmin. [10.]

FEM-laskentamallit voidaan jakaa keskiviiva- (1D), keskipinta- (2D) ja solidimalleihin (3D). Laskentamallin valintaan ja käytettäviin elementtityyppeihin on kiinnitettävä huomiota jo laskennan alkuvaiheessa, jotta saadaan riittävän tarkkoja tuloksia. Tulosten tarkkuuteen vaikuttavat sopivan tyyppisten elementtien käyttö, oikea verkon tiheys kappaleen eri osissa sekä tarpeeksi säännöllisen geometrian omaavien elementtien käyttö.

Lujuuslaskennassa tarkan geometrian käyttö 3D-mallinnuksessa ei ole yleensä tarkoituksenmukaista, vaan mallia yksinkertaistamalla saadaan riittävän tarkka likiratkaisu. [8.]

## 4.2 FEM-analyysin kulku

Elementtimenetelmäanalyysi kulkee yleisesti samojen vaiheiden kautta, joita ovat esikäsittely, ratkaisu ja jälkikäsittely. Ennen varsinaisen analyysin aloittamista olisi analysoitava kappale hyvä idealisoida niiltä osin, kuin sillä ei ole merkitystä analyysin kannalta. Käytännössä tämä tarkoittaa symmetriatasojen etsimistä, joiden avulla rakennetta voidaan yksinkertaistaa ja näin ollen säästää laskenta-ajassa. Idealisoinnin ideana on myös jättää mallista niitä kohtia pois, joita on vaikea mallintaa, ja säästää laskentakapasiteettissa ja -ajassa. [8; 10.]

Analyysin toisena vaiheena on idealisoidun kappaleen verkottaminen. Tässä vaiheessa valitaan elementtien muoto, 3D-malleille yleisin muoto on tetraedri. Yleensä siirtymät lasketaan elementin solmupisteeseen, mutta on myös mahdollista asettaa tulokset laskettavaksi esimerkiksi muutamaan pisteeseen elementin alueella. Vastaavasti jännitykset lasketaan integrointipisteisiin. Verkon tiheyttä on syytä pienentää sellaisissa kohdissa, joissa oletetaan tapahtuvan suuria muutoksia rakenteessa ja joista halutaan tarkkoja tuloksia. Mitä tiheämpi verkko kuitenkin on, sitä raskaampi on sen laskenta. [10.]

Reunaehdot, kiinnittymiset ja tuennat, on asettava kuvaamaan mahdollisimman tarkasti todellisia olosuhteita. Jo pienikin ero todellisten olosuhteiden ja mallin reunaehtojen välillä voi vaikuttaa suuresti saatuihin laskennan lopputuloksiin vääristävästi. Kappale on tuettava analyysissä, jottei se pääse liikkumaan, kun kuormitukset vaikuttavat siihen. Reunaehdot määritellään kunkin solmupisteen kohdalle, jolloin solmun liike estetään haluttuihin suuntiin. [10.]

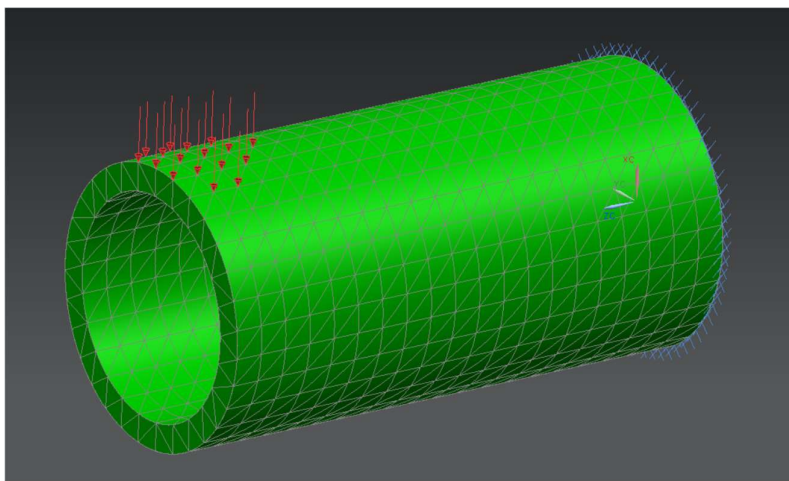
Reunaehtojen lisäämisen jälkeen voidaan määrittää kappaleeseen vaikuttavat kuormitukset. Kuormitukset voidaan lisätä solmu-, viiva-, tai pintakuormina, joko elementteihin tai solmuihin. Myös kuormitusten, samoin kuin reunaehtojen, määrittämiseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota. Kuormitukset ovat yleensä erittäin monimutkaisia, joten niiden mallintaminen ilman yksinkertaistamista ei yleensä onnistu. Analyysiin voidaan lisätä myös tilavuus- ja lämpökuormien vaikutuksia. Kappaleelle on edellä mainittujen lisäksi

määriteltävä materiaalin ominaisuudet ennen laskentaa, kuten kimmokerroin ja Poissonin vakio. [10.]

Sen jälkeen, kun malliin on määritelty kaikki laskentaan tarvittavat ehdot, se on valmis laskettavaksi. Laskenta voi kestää muutamista sekunneista useisiin tunteihin, riippuen mallin koosta ja monimutkaisuudesta sekä verkotuksen tiheydestä ja solmujen määrästä. Laskenta on yleensä luonnoltaan staattinen, dynaaminen tai lineaarinen, mutta myös epälineaarit laskennat ovat mahdollisia. Esimerkiksi epälineaarissa laskennassa kimmokerroin ei ole vakio. [10.]

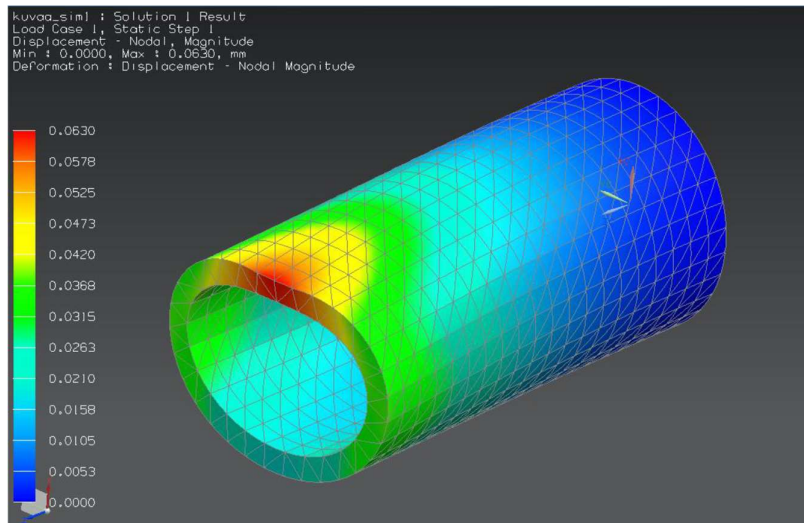
Laskennan jälkeen sen tulokset käsitellään jälkikäsittelijällä, joka muuntaa tulokset luettavaan muotoon. Jälkikäsittelijän avulla saadaan mallin muodonmuutokset sekä jännitystilat havainnollistavassa muodossa. Jännitystilat lasketaan analyysissä solmu- tai elementtipisteiden avulla, mutta lopputulokset esitetään yleensä koko elementin alueella kokonaiskuvan saamiseksi. Muodonmuutokset esitetään solmupisteiden siirtymien avulla, jolloin voidaan erottaa kiertymät ja siirtymät eri akseleiden suhteen. FEM-analyysissä on kuitenkin muistettava, että tuloksia on tarkasteltava aina kriittisesti. Pienikin virhe kuormituksessa tai reunaehdoissa saattaa johtaa vääristyneisiin tuloksiin. [8; 10.]

Kuvassa 4 on esitetty yksinkertainen valurautainen putkimalli, joka on verkotettu. Kapaletta on määritetty kuormittamaan 2 000 N:n kokonaiskuorma putken päädyn yläosaan. Malli on tuettu toisesta päästä kiinteästi, mikä sitoo kaikki kuusi vapausastetta paikoilleen.



Kuva 4. Valurautainen putkimalli, jossa kuormitukset näkyvät punaisina nuolina ja tuennat sinisinä nuolina [11].

Kuvassa 5 on esitetty jälkikäsitteilytulostus mallin siirtymisestä ja muodonmuutoksesta. Sininen väri kuvaa yleensä neutraalia aluetta, jolla tapahtuu vain pieniä muodonmuutoksia. Punainen väri taas kuvaa suurimpia rasituksia. Näiden väliin jääviä arvoja kuvataan sinisestä punaiseen liukuvilla väreillä, jotka muuttuvat yleensä lineaarisesti. Oletuksena jälkikäsitteily antaa mallin siirtymisestä erittäin suuresti liioitellun kuvan, joten myös mittasuhteiden kanssa täytyy olla tarkkana. [10.]



Kuva 5. Jälkikäsitteilytulostus mallin muutoksista kuorman vaikutuksesta [11].

## 5 Uuden prosessin implementointi

Tuotaessa uutta prosessia, tai menetelmää, osaksi jo olemassa olevaa toimintaa, halutaan yleensä parantaa ja kehittää tätä nykyistä toimintaa. Tällaisia tavoitteita voivat olla mm. tuotannon tehokkuus, laadun parantaminen ja ongelmatilanteiden hallinta. Toimintatapojen kehittäminen täytyy myös nähdä liiketoiminnassa sijoituksena, jonka on tarkoitus maksaa itsensä takaisin pitkällä aikavälillä. Toiminnan kehittäminen saattaa nostaa kuluja toisessa kohdassa, mutta taas vähentää niitä esimerkiksi parantuneena laatuna. [12.]

Aina kun jotain muutetaan, täytyy perusteiden muutokselle olla hyvät. Ihmisille on hyvä saada esitelyä, että muutos on tarpeellinen tai välttämätön, sekä ratkaisee tietyn ongelman. Perusteluista huolimatta muutosvastarintaa on oletettavissa. Normaalisti ihmiset vastustavat muutoksia, jotka tulevat ulkoapäin ja joista ei ole suoranaista hyötyä heille itselleen. Usein muistellaan myös aikaisempaa kulttuuria, joka ei ihmisten mielestä vaadi muutosta. Avoin tiedottaminen koko organisaatioon mahdollisista muutoksista ja tulevista kehityskohteista yleensä lieventää muutosvastarintaa, joskaan ei poista sitä kokonaan. [12.]

Kehityshankkeen vaiheet voidaan karkeasti jakaa seuraavasti:

- hankkeen valmistelu
- hankkeen suunnittelu
- analyysivaihe
- prosessin kehittäminen
- käyttöönotto
- jatkokehitys.

Hankkeen valmistelussa yksi tärkeimmistä asioista muutosprosessin onnistumisen kannalta on johdon sitoutuminen. Ilman johdon sitoutumista hanke harvemmin onnistuu.

Johdolta edellytetään aitoa asennetta prosessia kohtaan sekä positiivisen ilmapiirin luomista. Aito kiinnostus ja läsnäolo edesauttavat aina toimintaa. Johdon, sekä hankkeen vetäjien, on myös tärkeä saada ihmiset motivoitua hankkeeseen. Motivointi ja perustelut yleensä kulkevat käsi kädessä: jos perusteet ovat kunnossa, motivointi on lähtökohtaisesti helpompaa. [12.]

Kehityshankkeen suunnitelmaa luotaessa on sille asetettava tavoitteet, jotka sisältävät realistisen aikataulun ja budjetin. Tässä vaiheessa on hyvä myös miettiä mahdollisia hankkeen riskejä. Tavoitteet täytyy priorisoida ja niiden täytyy perustua odotetulle hyödyille. Suunnitelmaa tehtäessä on hyvä hyödyntää kokemustietoa omasta organisaatiosta, jos sellaista on saatavilla. Tällä tavoin esimerkiksi riskien arviointi saadaan realistisemmaksi. [12.]

Resursseja on varattava riittävästi toimintaan. Työaikaa vaaditaan muiltakin kuin vastuu-tekijöiltä. Vastuullisten tekijöiden täytyy tutustua aiheeseen ja kouluttautua sen mukaisesti. Hyviä tapoja ovat muun muassa tieteellinen ja tekninen materiaali, mitä on saatavilla, sekä muiden kokemukset. Myös muiden osallisten olisi hyvä tietää ainakin yleisellä tasolla, mitä ollaan tekemässä. [12.]

Analyysivaiheessa analysoidaan organisaation nykytila kehitettävällä osa-alueella. Usein saatavilla on mittaustietoa, sekä haastatteleamalla saadaan tietoa, kuinka yrityksessä oikeasti toimitaan. Tässä vaiheessa saadaan syvennettyä tietoa siitä, mitä ongelmia toiminnassa tällä hetkellä on. Analysoinnin tarve riippuu aina kulloisestakin kehityshankkeesta ja tiedon määrästä. Analyysivaiheen perusteella suunnitelmia saadaan yleensä tarkennettua ja tavoitteita kohdennettua. [12.]

Prosessin kehittäminen on aina kehityskohteesta riippuvaa toimintaa, ja sen pohjana on analyysivaihe. Muutoksissa on myös hyvä muistaa, ettei muuteta liian suurta osaa toiminnasta kerralla. Työntekijöiden osallistaminen tässä vaiheessa voi helpottaa muutosprosessin läpiviemistä vähentämällä vastarintaa. [12.]

Käyttöönottossa toiminnan on oltava suunnitelmallista. Testiprojektien käyttäminen ennen laajamittaista käyttöönottoa on myös suotavaa. Näin saadaan selville mahdollisia ongelmakohtia, ja näiden perusteella voidaan tehdä helpommin muutoksia. Kun testiprojekteista on hyvät tulokset, voidaan hanke ottaa laajamittaisesti käyttöön. [12.]

Jatkokehityksessä pyritään toimintaa kehittämään lisää. Asioita jää toteuttamatta rajallisen hankkeen puitteissa, sekä uusia kehityskohteita löytyy käyttöönoton yhteydessä. Toteutumatta jääneistä asioista on hyvä tehdä listaus ja priorisointi tulevaisuuden kehitystyötä varten. [12.]

## 6 Hankkeen tutkiminen

### 6.1 Hankkeen valmistelu

Työssä haluttiin tutkia FEM-analyysin tuomista osaksi tilaussuunnitteluprosessia. Eniten tämä muutos tulisi vaikuttamaan tilaussuunnittelun henkilöstöön ja toimintaan. Näin ollen hankkeen valmistelussa tämän osaston tiedottaminen on ensisijaisen tärkeää. Hyvä tapa voisi olla esimerkiksi pitää pieni tiedotustilaisuus osaston kesken, jossa kerrotaan mitä ollaan tekemässä. Tässä yhteydessä olisi hyvä tuoda esille myös syyt, miksi FEM halutaan osaksi tilaussuunnittelua. Suurimpana syynä on siis mahdollisten ongelmatapaus-ten (tärisevä moottori) ratkaisemisen vasteajan lyheneminen. Myös muille osastoille muutoksesta on hyvä kertoa, mutta enemmän ”hyvä tietää” -periaatteella.

### 6.2 Hankkeen suunnittelu

Varsinaista suunnitelmaa FEM-laskennan tuomisesta osaksi tilaussuunnittelua ei tehty, sillä tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa eri toimintasuunnitelmat ja suositukset, jos laskenta halutaan oikeasti siirtää. Suunnitelman pohjana voidaan käyttää tätä opinnäytetyötä, jossa on jo perehdytty asiaan ja esitetty esimerkiksi analyysivaiheessa toiminnan nykytilaa. Eri toimintasuunnitelmat on esitelty myöhemmin suosituksissa.

### 6.3 Analyysivaihe

Tällä hetkellä yhtiö, ja myynnin tuki, käyttää kahta eri lujuuslaskentaan sopivaa ohjelmaa; NX/Nastran sekä Kisssoft. Eri ohjelmat soveltuvat ominaisuuksiltaan parhaiten tiettyjen analyysien tekemiseen, minkä takia ohjelmia, ja niiden osaamista, on hyvä olla enemmän kuin yksi.



Taulukossa 1 on esitetty myynnintuen tekemät lujuuslaskentatehtävät induktiokoneille. Se ei sisällä mm. kriittisen nopeuden läpilaskuja, joita myynnin tuki tekee tilaussuunnittelun pyynnöstä.

Taulukko 1. Myynnintuessa tehtyt lujuuslaskentatehtävät induktiokoneille, joissa on käytetty elementtimenetelmää (NX/Nastran, Kisssoft). PH ja JJ ovat henkilöt, jotka näitä tekevät.

	PH	JJ
Staattinen lujuuslaskelma	4	6
Staattinen nostolaskelma	16	6
Moottorin ominaistaajuusanalyysi	13	11
Väsymislaskelma	10	8
Maanjäristyslaskelma	6	3
Liitäntäkotelon oikosulkukestoisuus	8	-
Roottoridynamiikka-analyysit	41	11
Ajanjakso (v)	4	3

Taulukosta selviää, että roottoridynamiikka-analyysit (värähtely) ovat suurin yksittäinen työllistävä laskenta. Yhteensä seitsemän henkilötyövuoden aikana näitä laskuja on ollut 52 kappaletta, eli toisin sanoen seitsemästä kahdeksaan laskentaa per vuosi.

Myynnin tuki tulisi vastedeskin tekemään suurimman osan laskennasta, mutta nimenomaan roottoridynamiikka-analyysit ovat se kohde, joka haluttaisiin tuoda osaksi tilaussuunnittelun tehtäviä. Maanjäristyslaskelmat sekä muut jo tarjousvaiheessa tarvittavat laskelmat pysyisivät siis myynnin tuen vastuulla.

Varsinaisia ongelmia itse laskennassa ei tällä hetkellä ole, vaan tulokset ovat erittäin hyviä ja luotettavia. Kehitystä halutaankin vasteaikaan, jossa laskennan tulokset haluttaisiin käyttöön, sekä myynnin tukeen vapautuvan työajan kohdentamiseksi paremmin myynnin avuksi.

## 7 Suositukset

Perustuen analyysivaiheessa saatuihin tietoihin, seuraavassa on ideoitu kaksi erilaista toimintasuunnitelmaa. Ensimmäisessä suunnitelmassa FEM-laskenta ja -analyysi tuodaan osaksi tilaussuunnittelua. Toisessa suunnitelmassa laskenta pidetään osana myynnin tukea.

Laitteisto laskennan suorittamiseen on kunnossa molemmilla tässä työssä mainituilla osastoilla, joten sen osalta ei tule ongelmia. Laskennassa käytettävien mallien täytyy olla 3D-pohjaisia, ja niiden lisäämistä tilaussuunnittelussa tulisi harkita. Tämä saattaa olla yksi ongelma, sillä 3D-kirjaston ja -mallien määrä ei tällä hetkellä ole FEM-laskennan kannalta riittävällä tasolla. Kun puhutaan moottorin tärisemisestä, täytyisi mallinnettuna olla koko moottori 3D:nä, jotta laskentaa voitaisiin tehdä nopeassa aikataulussa. Jos moottorit joudutaan aina ensin mallintamaan, haettu vasteajan nopeus kärsii paljon.

Analyysivaiheessa selvisi myös, että myynnin tuki käyttää erilaisia valmiiksi ohjelmoituja Excel-taulukkoita laskentoihin, joita heiltä pyydetään. Tilaussuunnittelusta pyydetään heiltä esimerkiksi moottorin kriittisen nopeuden laskelmia, joita myynnin tuki laskee näillä taulukoilla. Tässä voisi olla yksi keino vähentää turhien tukipyyntöjen määrää, jos nämä Excel-taulukot olisivat tilaussuunnittelun käytössä. Näin ollen myynnin tukeen vapautuisi resursseja enemmän myynnin avuksi.

### 7.1 Suunnitelma 1

Ensimmäisessä suunnitelmassa siis tuotaisiin FEM-laskenta osaksi tilaussuunnittelua. Värähtelylaskentojen määrä on ollut historiassa melko vähäistä, joten voidaan katsoa yhden henkilön työpanoksen olevan riittävä. Kuten jo aiemmin on todettu, FEM-laskenta on erittäin haastavaa ja tulosten luotettavuus on suoraan verrannollinen pitkälti laskennan suorittavan henkilön osaamistasoon. Täten onkin oikeastaan kaksi vaihtoehtoa: joko jo osastolla työskentelevä henkilö koulutetaan FEM-laskennan ammattilaiseksi tai tehtävään palkataan ulkopuolelta uusi työntekijä. Päädyttäisiin näistä vaihtoehdoista kumpaan tahansa, FEM-laskentaan menisi yhdeltä työntekijältä koko työpanos. Näin ollen uuden työntekijän palkkaaminen samalla tekemään tilaussuunnittelua voisi olla relevanttia.

Koulutus ja osaaminen FEM-laskentaa tekevällä täytyy olla erittäin laaja. Jos päädytään jo osastolla työskentelevän kouluttamiseen, lähtökohdat FEM-laskentaan olisi hyvä hakea esimerkiksi Idealin järjestäältä NX Advanced Simulation -kurssilta. Kurssin tavoitteena on antaa valmiudet käyttää NX:n laskentaominaisuuksia ja antaa perusteet tehdä analyyseja. Myynnin tuessa laskentaosaaminen on hyvällä tasolla, joten varsinkin alussa perehdytys ja myöhemmin apu sieltä olisi erittäin suotavaa. Uuden henkilön palkkaamisessa voitaisiin ideaalitulanteessa valita henkilö, jolla on jo kokemusta FEM-laskennasta. Tämä ei kuitenkaan poista perehdyttämistä yhtiön toimintatapoihin eikä näiden spesifisten laskentojen tekemiseen. [13.]

FEM-laskennan haastavuuteen liittyy myös tietty rutiini, joka laskentaan on hyvä saada. Toisin sanoen laskentoja täytyisi tehdä riittävän säännöllisesti, jotta luotettavuutta tuloksiin voidaan pitää hyvänä. Täten laskentojen määrää olisi ehkä syytä saada kasvatettua 7 - 8 kappaleesta per vuosi, joka voisi tapahtua esimerkiksi siirtämällä laskentaa muiltakin osilta tilaussuunnittelun piiriin.

## 7.2 Suunnitelma 2

Toisessa suunnitelmassa laskenta päädyttäisiin pitämään nykyisellä osastolla, jonka henkilömäärää voitaisiin tarvittaessa kasvattaa. Kuten aiemmin todettua, FEM-laskentaan, samoin kuin muuhunkin tekemiseen, tarvitaan tietty rutiini, jotta laskenta on sujuvaa ja luotettavaa. Osaaminen osastolla on erittäin hyvällä tasolla, ja laskentojen määrä pysyisi tarvittavalla tasolla. Tämä edesauttaa tulosten luotettavuudessa, kun laskentoja tehdään tarpeeksi säännöllisesti.

Myynnin tuki ei palvele ainoastaan tilaussuunnittelua vaan myös muita osastoja. Niin After Sales - kuin Laatuosastot lähettävät myös tuki- ja laskentapyyntöjä myynnin tukeen. Tämä edesauttaa myös laskennan luotettavuudessa, kun laskuja tehdään tarpeeksi paljon.

## 8 Yhteenveto

Aihe tähän insinööriyöhön löytyi induktiokoneiden tilaussuunnittelusta, jossa työskenteleminenkin paraikaa. Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa toiminnan nykytilasta ja tehdä toimintaehdotukset FEM-laskennan siirtämisen kannattavuudesta. Näitä toimintaehdotuksia tehtiinkin kaksi kappaletta, jotka siirtyvät nyt yrityksessä harkinnan ja tarkastelun alle. Näitä ehdotuksia voidaan käyttää hyödyksi tulevan mahdollisen muutoksen apuna. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin, joskin toimintaehdotuksia olisi voinut vielä syventää enemmän.

Oma mielipiteeni on, että FEM-laskentaa ei kannata siirtää ja pirstoa eri osastojen käyttöön, sillä tällöin oletettavasti luotettavuus laskee laskentojen määrän vähentyessä per henkilö. Näin ollen, kun ongelmana on ollut myynnin tuen resurssien vähyys, lisäksiinkin enemmän tälle osastolle henkilöstöä. Tällöin osaaminen säilyy tiiviissä ryhmässä, jossa tietoa voidaan jakaa keskenään helpommin verrattuna osastojen välillä.

Analyysivaiheessa selvinnyt myynnin tuen Excel-taulukoiden käyttö tukipyyntöihin voitaisiin avata, toisin sanoen nämä Excel-taulukot voitaisiin antaa tilaussuunnittelun käyttöön. Tämä nopeuttaisi kaikkien toimintaa, sillä tukipyyntöön vastausta odottaessa moottorin suunnittelu saattaa keskeytyä, sekä myynnin tuelta vapautuu resursseja muihin tehtäviin.

## Lähteet

- 1 ABB Finland. ABB:stä lyhyesti. 2017. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>> Luettu 15.2.2017.
- 2 ABB Oy. Group Structure. 2017. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/about/abb-in-brief/group-structure>> Luettu 15.2.2017.
- 3 ABB Finland. Historia. 2017. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia>> Luettu 15.2.2017.
- 4 ABB Finland. Suomalaiset juuret. 2017. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>> Luettu 15.2.2017.
- 5 ABB Finland. ABB Suomessa. 2017. Verkkodokumentti. <<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>> Luettu 15.2.2017.
- 6 Korpinen, Leena. 1998. Sähkökoneet, osa1. Verkkodokumentti. <[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf)> Luettu 13.4.2017.
- 7 Salenius, Vili. 2012. Sähkökoneiden vikaantumisen havainnointi. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki.
- 8 Lähteenmäki, Matti. 2013. Elementtimenetelmän perusteet. Verkkodokumentti. <[http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe\\_pdf/johdanto.pdf](http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf)> Luettu 15.2.2017.
- 9 Stochastic Simulation and Lagrangian Dynamics. 2011. Verkkodokumentti. <<http://stochasticandlagrangian.blogspot.fi/2011/07/what-does-shape-function-mean-in-finite.html>> Luettu 15.2.2017.
- 10 Hietikko, Esa. 2004. Palkki, Lujuuslaskennan perusteet. Keuruu. Otava.
- 11 Mäkinen, Katri. 2011. 3D- ja FEM-mallinnus. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- 12 Kollanus, Sami. 2003. Prosessin kehittäminen. Verkkodokumentti. <[http://users.jyu.fi/~kolli/ohjelmistotekniikka/files/Prosessin\\_kehittaminen.pdf](http://users.jyu.fi/~kolli/ohjelmistotekniikka/files/Prosessin_kehittaminen.pdf)> Luettu 30.3.2017.
- 13 Ideal PLM. NX Advanced Simulation -kurssi. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.ideal.fi/fi/palvelut/ideal-plm-koulutus/nx-advanced-simulation/>> Luettu 15.4.2017.