

Ville Palosaari

OHJELMISTOJEN VERTAILU

Sasken Finland Oy Kaustinen

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

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola	Aika Huhtikuu 2016	Tekijä/tekijät Ville Palosaari
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi Ohjelmistojen vertailu. Saskan Finland Oy Kaustinen		
Työn ohjaaja Mika Kumara		Sivumäärä 26
Työelämäohjaaja Kimmo Huhtala		
<p>Tässä opinnäytetyössä vertailtiin simulointiohjelmiä lämpösimuloinnin kannalta. Työ suoritettiin Saskan Finland Oy:n Kaustisen toimipisteelle. Saskanille simulointiohjelmiston pääedellytykset olivat, että ohjelmiston täytyy olla helppokäyttöinen, edullinen ja sen tulee toimia hyvin CATIA V5:n kanssa.</p> <p>Työssä keskityttiin kolmeen ohjelmistoon, joita vertailtiin usean kriteerin perusteella. Ohjelmistot olivat Autodeskin Mechanical Simulation, Dassault Systèmesin SIMULIA Abaqus sekä Ansysin Workbench (Icepak).</p> <p>Työn lopussa ohjelmiston hankinnan kannattavuutta pohdittiin niiden hankintahinnan, käyttömäärän ja simuloinnin ulkoistamisen osalta.</p>		
Asiasanat CAD, simulointi, tuotekehitys		

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Kokkola	Date April 2016	Author Ville Palosaari
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis Software comparison. Sasken Finland Oy Kaustinen		
Instructor Mika Kumara		Pages 26
Supervisor Kimmo Huhtala		
<p>In this thesis the subject was to compare simulation softwares by their thermal simulation abilities. This thesis was made for Sasken Finland Oy Kaustinen's office. For Sasken, the main goal on having simulation software is: it has to be easy to use, economical and it should be compatible with their CAD-software, CATIA V5.</p> <p>I have tested three different softwares, Dassault Systèmes' SIMULIA Abaqus, Autodesk's Mechanical Simulation and Ansys' Workbench (Icepak). They are compared in six categories, and every category has max point of 5, in total maximum points are 30. Categories are user interface, versatility, pricing, compatibility, updates and support.</p> <p>In the end of thesis I have pondered if Sasken should acquire a simulation software. On scale are simulation software pricing against its usage and possibility of outsourcing simulation cases.</p>		

Key words CAD, simulation, product development
--

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 SASKEN FINLAND OY	2
3 TUOTEKEHITYS	3
4 SIMULOINTI	4
4.1 Elementtiverkko	4
4.2 Tietokoneella simulointi	6
4.3 Esimerkkejä simulointikohteista	6
5 LÄMPÖKÄSITTEET	8
5.1 Pituuden lämpölaajeneminen	8
5.2 Tilavuuden ja pinta-alan lämpölaajeneminen	8
5.3 Lämpöenergian siirtyminen	9
6 TYÖN VALMISTELU	12
6.1 Ohjelmistot	12
6.2 Työvälineet	13
6.3 Kriteerit	14
7 OHJELMISTOJEN VERTAILU	16
7.1 Autodesk Mechanical Simulation 2016	16
7.2 Dassault Systèmes SIMULIA Abaqus	19
7.3 Ansys Workbench (Icepak)	22
8 POHDINTA	26
LÄHTEET	27
KUVIOT	
KUVIO 1. Tuotekehityksen vaiheet	3
KUVIO 2. Kappale ja solmupisteet	4
KUVAT	
KUVA 1. Kappaleen verkotus	5
KUVA 2. Auto kolaritilanteen simuloinnissa	6
KUVA 3. Lentokone ilmavirtaustestissä	7
KUVA 4. Tuotteen lämmönjakautuminen ja ilmavirtaus	7
KUVA 5. Jäähdytys siili mallinnettuna	14

KUVA 6. Autodesk Mechanical Simulationin käyttöliittymä	16
KUVA 7. Autodesk Mechanical Simulationin valmis simulointi	19
KUVA 8. SIMULIA Abaqusin käyttöliittymä	20
KUVA 9. SIMULIA Abaqusin valmis simulointi	21
KUVA 10. Ansys Workbenchin käyttöliittymä	23
KUVA 11. Ansys Workbenchin valmis simulointi	24

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Gantt-tila ajankäytöstä	12
TAULUKKO 2. Ohjelmiston vertailukategoriat	15
TAULUKKO 3. Autodesk Mechanical Simulationin pisteytystaulukko	19
TAULUKKO 4. SIMULIA Abaqusin pisteytystaulukko	22
TAULUKKO 5. Ansys Workbenchin pisteytystaulukko	25

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan simulointiohjelmia ja pohditaan simulointiohjelman hankinnan kannattavuutta Saskan Finland Oy:lle. Simuloimalla voidaan jo tuotteen kehityksen alkuvaiheissa testata mm. rakenteen kestävyyttä todellisuutta jäljittelevillä testeillä.

Työn tarkoituksena on verrata useita simulointiohjelmistoja niiden lämpösimulointikyvykkyyden perusteella. Hankittavan ohjelman tulee olla helppokäyttöinen, luotettava ja edullinen. Markkinoilla on useita CAD-ohjelmistojen valmistajia, jotka myös tarjoavat simulointiohjelmia. Saskan käyttää CAD-ohjelmistona CATIA V5:ttä. Hankittava ohjelmisto tulisi toimia hyvin yhteen CATIAN kanssa. Tässä työssä vertailuohjelmistoiksi valikoituivat Dassault Systèmesin valmistama SIMULIA Abaqus, Autodeskin Mechanical Simulation sekä Ansysin Workbench. Työn lopussa pohditaan ohjelmiston hankinnan kannattavuutta, verraten niiden ostohintaa ohjelmiston tarpeeseen ja simulointitapausten ulkoistamiseen.

Opinnäytetyön tekeminen Saskan Finland Oy:lle mahdollisti se, että olen suorittanut harjoittelun yrityksellä vuonna 2011. Harjoitteluni aikana yrityksen toimintaperiaate tuli tutuksi, joten olimme yhteyksissä opinnäytetyön suorittamisesta, ja aihe valikoitui suunnitteluinsinööri-opintojeni pohjalta.

2 SASKEN FINLAND OY

Sasken Finland Oy on Sasken Communication Technologies Ltd:n tytäryhtiö. Vuonna 1989 perustettu emoyhtiö on yksi johtava langattoman viestinnän tuotekehittäjä ja tukipalveluiden tuottaja. Yhtiön päätoimipiste on Intiassa, mutta toimintaa on myös Japanissa, Yhdysvalloissa, Meksikossa, Ranskassa, Saksassa, Iso-Britanniassa ja Suomessa. (Sasken Finland Oy 2016.)

Sasken Finland Oy tuottaa palveluita langattomien sovellusten ja tuotteiden suunnitteluun. Yritys ei tuota omia tuotteita, vaan tarjoaa palveluita muille yrityksille. Suomessa toimipisteitä on Kaustisella ja Tampereella. Kaustisen toimipiste on keskittynyt laitteisto- sekä mekaniikka-suunnitteluun ja laitetestaamiseen. Tampereen toiminta on ohjelmistosuunnittelua. (Sasken Finland Oy 2016.)

Yrityksen suunnittelupalveluihin kuuluu kokonaisvaltainen tuotesuunnittelu niin muotoilun, komponenttien kuin ohjelmistonkin osalta. Sasken Finland Oy:n testauspalveluihin kuuluvat mekaaniset sekä radiotekniset testimenetelmät. Mekaniikkatestauspalveluita on ympäristö- ja rasitustestit. Mahdollista on esimerkiksi matkapuhelimen pudotus- ja vääntötesti. Radioteknisiä testausmenetelmiä on mm. antenniherkkyyden ja signaaliherkkyyden testaaminen. (Business-Wire 2007.)

3 TUOTEKEHITYS

Tuotekehitys alkaa siitä, kun on tarve tuotteelle ja idea sen toteuttamiselle. Prosessi kietoutuu kolmen päätavoitteen ympärille. Tuotteen tulee olla teknisesti kilpailukykyinen, se on saatava markkinoille nopeasti, ja tuotteen kustannukset täytyy minimoida. Nämä kolme tavoitetta tulee optimoida keskenään, jolloin tuote on kaikilta osin tasapainossa. Tasapaino heittelee esimerkiksi, jos tuotetta tavoitellaan teknisesti erittäin kehittyneeksi. Tällöin kustannukset kasvavat ja tuote päätyy markkinoille myöhemmin. Tuotekehitys on jatkuva prosessi, jonka tarkoituksena on ylläpitää kilpailua ja täten varmistaa ajanmukaiset tuotteet. (Jokinen 2001, 14–17.) (Kortelainen 2015.)



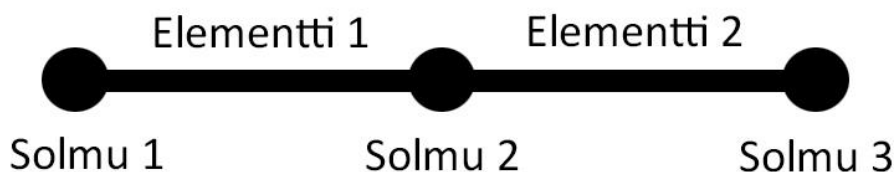
KUVIO 1. Tuotekehityksen vaiheet

Simulointia on mahdollista hyödyntää heti suunnitteluprosessin alkuaskeleilla. Näin tuotteesta saadaan aikaisessa vaiheessa uutta tietoa suunnittelun tueksi. Tuote saadaan nopeammin ja varmemmin markkinoille. Tarve fyysisille prototyypeille vähenee, ja tämä säästää kustannuksia. Simuloinnin tuloksia on hyödynnettävissä myös tuotteen saavuttua markkinoille, kuten kunnossapidon suunnitteluissa. (Nordgren 2015.)

4 SIMULOINTI

Simulointi on saanut alkunsa lujuuslaskennasta. Lujuuslaskennan tavoitteena on ratkaista kuormituksista aiheutuvat kappaleen siirtymät ja muodonmuutokset. Laskenta voidaan suorittaa lukuisilla numeerisilla ratkaisumenetelmillä, mutta tehokkaimmaksi on osoittautunut elementtimenetelmä. Tämän englanninkielinen nimi on Finite Element Method, jonka lyhenteenä käytetään FEM:iä. (Elementtimenetelmän perusteet.)

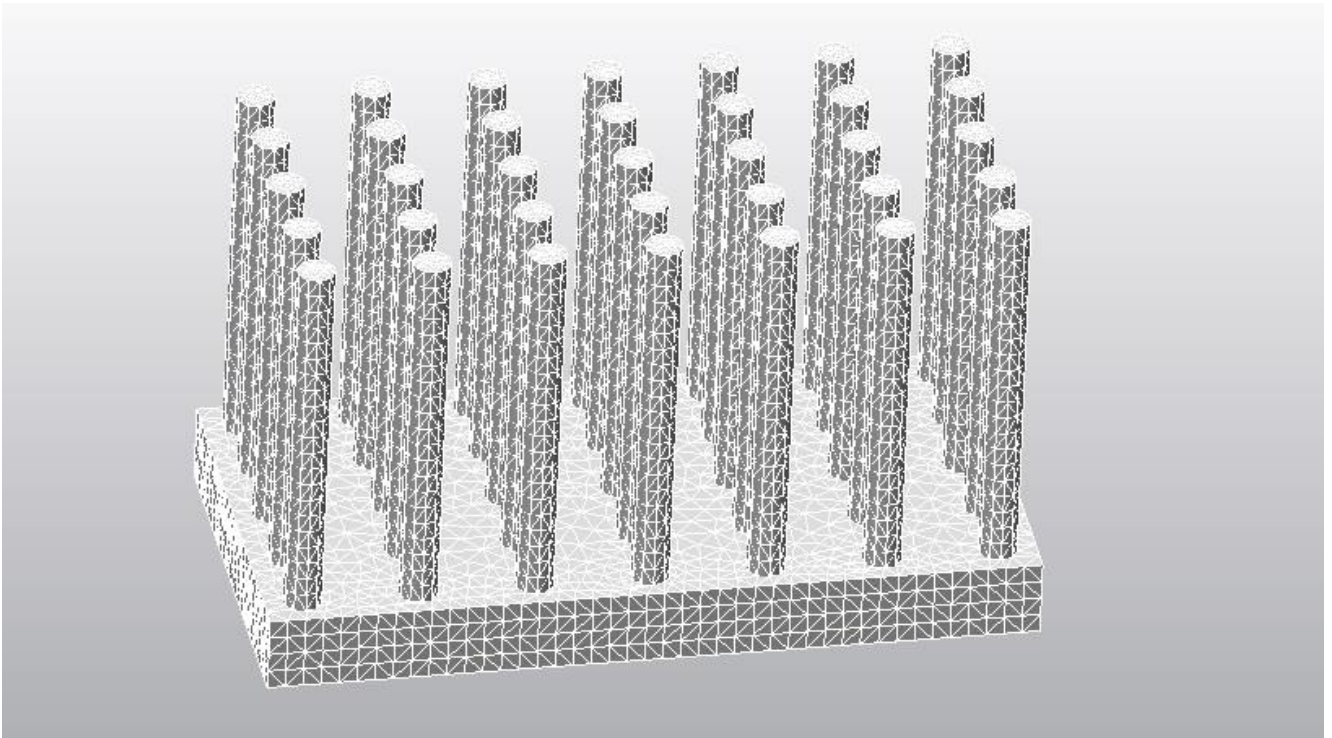
Elementtijärjestelmä perustuu matriisilaskennan hyödyntämiseen. Ratkaistava kappale jaetaan geometrisesti yksinkertaisiin osiin, jotka ovat kiinni toisissaan solmupisteillä. Yksinkertaisimmillaan kappale voi olla suora, joka jaetaan muutamaankin solmupisteeseen. Kuten alla olevassa kuvassa, kappale on jaettu kolmeen solmuun, joiden välissä on elementit. (Elementtimenetelmän perusteet.)



KUVIO 2. Kappale ja solmupisteet

4.1 Elementtiverkko

Kappaleen jokainen solmupiste kuvastaa yhtä matriisia, ja kaikki solmut yhdessä luovat elementtiverkon. Matriisin ratkaisussa otetaan huomioon solmusuureet. Esimerkiksi lujuuslaskennan yhteydessä käytetään siirtymä- ja voimasuureita. Elementtijärjestelmällä voidaan ratkaista myös mm. lämpö-, virtaus- ja sähkötekniikassa. Käytettävät solmusuuret riippuvat siitä, minkä tyyppistä laskentaa suoritetaan. (Elementtimenetelmän perusteet.)



KUVA 1. Kappaleen verkotus (Autodesk Mechanical Simulation 2016.)

Kuvassa 1 on kappale, joka on elementtiverkotettu. Kappale on mallinnettu CATIA V5-ohjelmistolla ja verkotettu Autodesk Mechanical Simulationilla. Kappaleessa on 20562 elementtiä ja 10255 solmupistettä. Elementtimalleja on useita, joiden käyttö perustuu kappaleen geometriaan. Perinteisiä ovat neliö, nelitahokas, kolmio ja näiden yhdistelmiä. Elementtien ja solmujen määrä vaikuttaa tuloksien luotettavuuteen. Suuret elementtien ja solmujen määrät vaikuttavat merkittävästi simulointiin kuluvaan aikaan. Pienet kappaleet voidaan suorittaa muutamissa sekunneissa, kun suurikokoiset kappaleet voivat viedä tunteja.

4.2 Tietokoneella simulointi

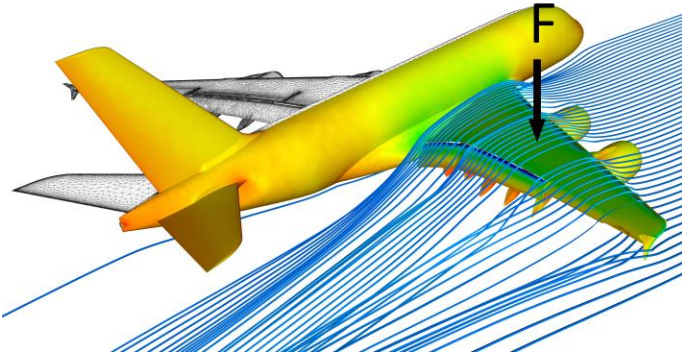
Simulointiohjelmit tietokoneilla tunnetaan nimellä CAE, Computer Aided Engineering. Ohjelmat hyödyntävät FEM-laskennan lisäksi monikappaledynamiikkaa ja virtauslaskentaa, toisin sanoen Multi Body Dynamics ja (MBD) sekä Computational Fluid Dynamics ja (CFD). Monikappaledynamiikka tuo ominaisuuksia, joilla pystytään laskea kokoonpanoja, joissa on useita kappaleita, ja liikkuvia osia. Virtauslaskenta osaa määrittää nesteiden ja kaasujen virtauksia sekä tilavuuden vaihteluita. (Stressfield.)

4.3 Esimerkkejä simulointikohteista



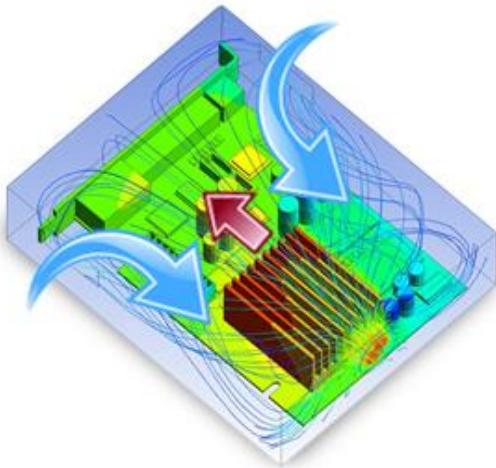
KUVA 2. Auto kolaritilanteen simuloinnissa (mukaillen eMercedesBenz 2008.)

Kuvassa 2 suoritetaan simuloitu Euro NCAP-kolaritesti. Etutörmäystestissä auto kulkee nopeudella 64 km/h, ja törmää periksi antavaan kohteeseen. Tietokone laskee jokaiseen elementtiin ja solmuun vaikuttavan voiman, ja on kykenevä näyttämään reaaliajassa siirtymät. Simulointi auttaa kertomaan auton rakenteen kestävyden ja matkustajien turvallisuuden. (eMercedesBenz 2008.)



KUVA 3. Lentokone ilmapvirtaustestissä (mukaiillen DLR 2009.)

Lentokoneteollisuus on yksi suurimmista simuloinnin hyödyntäjistä. Lentokoneita haetaan rakenteellisesti kestäviksi, jotta ne vastaavat vaatimuksia. Erityisen luja rakenne tuo huomattavasti lisää painoa. Simuloimalla mahdollistetaan optimoimaan materiaalin käyttö ja luja rakenne. Ylläolevassa kuvassa simuloidaan lentokoneen runkoon kohdistuvaa ilmanvirran painetta. (DLR 2009.)



KUVA 4. Tuotteen lämmönjakautuminen ja ilmapvirtaus (mukaiillen Advantech 2013.)

Lämpö on yksi suuri tekijä materiaalin ominaisuuksien muutoksissa. Elektronisissa kappaleissa liiallinen lämpö vähentää kappaleen elinikää ja pahimmassa tapauksessa voi vaurioittaa sitä. Kuvassa on elektroniikkatuote, jossa simuloidaan jäähdytyskammion lämmönjohtavuutta ja koteloinnin ilmapvirtausta. Kotelonsivuilta virtaa viileää ilmaa sisään, joka johdetaan jäähdytyskammion lävitse. (Yares 2013.)

5 LÄMPÖKÄSITTEET

Tässä opinnäytetyössä verrataan simulointiohjelmien lämpösimuloimisominaisuuksia. Aluksi on perehdyttävä yleisimpiin lämpötekniikkaan sisältyviin käsitteisiin.

5.1 Pituuden lämpölaajeneminen

Lämpötilan muuttuessa kiinteän aineen atomien välimatka muuttuu. Lämpötilan kasvaessa, atomien välimatka kasvaa, ja lämpötilan laskiessa atomien välimatka lyhenee. Tästä johtuu aineen lämpölaajeneminen ja pakkasella kutistuminen. Lämpötilan vaihtuessa atomit värähtelevät tasapainoasemastaan n. 10 μm . Atomien keskimääräinen etäisyys toisistaan on n. 0,1 nm. (Ikininen & Tuohi 1999, 364.)

Kappaleen lämpölaajenemisen jälkeinen pituus saadaan selville kaavalla:

$$l = l_0 + \Delta l = l_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (1)$$

missä l_0 on alkuperäinen pituus, α aineen pituuden lämpötilakerroin ja ΔT on lämpötilamuutos.

5.2 Tilavuuden ja pinta-alan lämpölaajeneminen

Lämpötilan muuttuessa muuttuvat myös kappaleen tilavuus sekä pinta-alat. Tilavuuden muutos saadaan kaavalla:

$$\Delta V = \alpha_V V_0 \Delta T \quad (2)$$

missä α_V on 3x aineen tilavuuden lämpötilakerroin, V_0 on alkuperäinen tilavuus ja ΔT on lämpötilamuutos.

Pinta-alan muutos saadaan kaavalla:

$$\Delta A = \alpha_A A_0 \Delta T \quad (3)$$

missä α_A on aineen 2x keskimääräinen pinta-alan lämpötilakerroin, A_0 on alkuperäinen pinta-ala ja ΔT on lämpötilamuutos.

5.3 Lämpöenergian siirtyminen

Konvektio on yksi lämmönsiirtymisen muodoista. Tässä tilanteessa lämpö siirtyy virtauksen mukana. Konvektio on prosessi, jossa lämmentyneen aineen tiheys pienenee lämpölaajenemisen seurauksena ja näin aine tai neste nousee ylöspäin. Viileämpi ilma tai aine virtaa tilalle, ja prosessi jatkuu. (Ikininen & Tuohi 1999, 407–408.)

Lämpövirta saadaan kaavalla:

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (4)$$

missä Q on ainemäärä ja t on aika. Lämpövirran yksikkönä on watti (W).

Johtuminen eli konduktio on lämpöenergia siirtymistä aineen sisällä. Tämä esiintyy myös kahden aineen välillä. Johtumisessa lämpö siirtyy aina kuumemmasta kylmempään ja pyrkii tasaamaan lämpötilan. Johtuminen tapahtuu atomien värähtelyn sekä vapaiden elektronien liikkeen seurauksena. Aineet, joissa on paljon vapaita elektroneja, ovat hyviä johteita. Erityisesti metallit ovat johteina hyviä. (Ikininen & Tuohi 1999, 409–410.)

Stationaarinen lämmönjohtuvuus saadaan kaavalla:

$$\Phi = \lambda A \frac{\theta}{d} \quad (5)$$

missä λ materiaalin ainevakio, A on pinta-ala, θ on lämpötilamuutos ja d on ainekerroksen paksuus. Lämmönjohtuvuuden yksikkö on $W/m \cdot K$.

Lämpövuoto on suure, jolla mitataan kappaleen lämpövirran tiheyttä. Lämpövuoto kuvastaa lämpöhäviötä.

Tasomaisen kappaleen lämpövuoto saadaan kaavalla:

$$q = \frac{\Phi}{A} \quad (6)$$

missä Φ on lämmönjohtuvuus ja A on pinta-ala. Lämpövuon yksikkö on W/m^2

Muun kuin tasomaisen kappaleen lämpövuoto saadaan kaavalla:

$$q = -\Phi A \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

missä $-\Phi$ on kappaleen lämmönjohtuvuus, A on pinta-ala, dT on lämpötilamuutos ja dx on kappaleen ainevahvuus. Lämpövuon yksikkö on W/m^2 .

Viimeinen lämpöenergian siirtymisen muoto on säteily. Kaikki kappaleet emittoivat energiaa, eli säteilevät sähkömagneettisesti. Säteily syntyy atomien ja molekyylien liikkeestä. Lämpösäteilyn aallonpituus on suurempi kuin näkyvän valon, mutta pienempi kuin mikroaaltojen. (Ikininen & Tuohi 1999, 418–420.)

Kappaleen säteilemän tehon nettoarvo saadaan kaavalla:

$$P = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_0^4) \quad (8)$$

missä ε on absorptiosuhde, σ on Stefan-Boltzmannin vakio eli $5,67051 * 10^{-8} W/(m^2 * K^4)$, A on pinta-ala ja $T^4 - T_0^4$ on kappaleen ja ulkopuolisen lämpötilan ero. Tehon nettoarvon yksikkö on watti (W).

Lämpöresistanssi eli lämpövastus R on lukuarvo, joka kertoo, kuinka hyvin tietty paksuus ainetta estää lämpöhäviötä. Mitä suurempi lämpöresistanssiluku on, sitä huonommin lämpö johtuu. (Schöck.)

Homogeenisen materiaalin lämpöresistanssi saadaan kaavasta:

$$R = \frac{d}{\Phi} \quad (9)$$

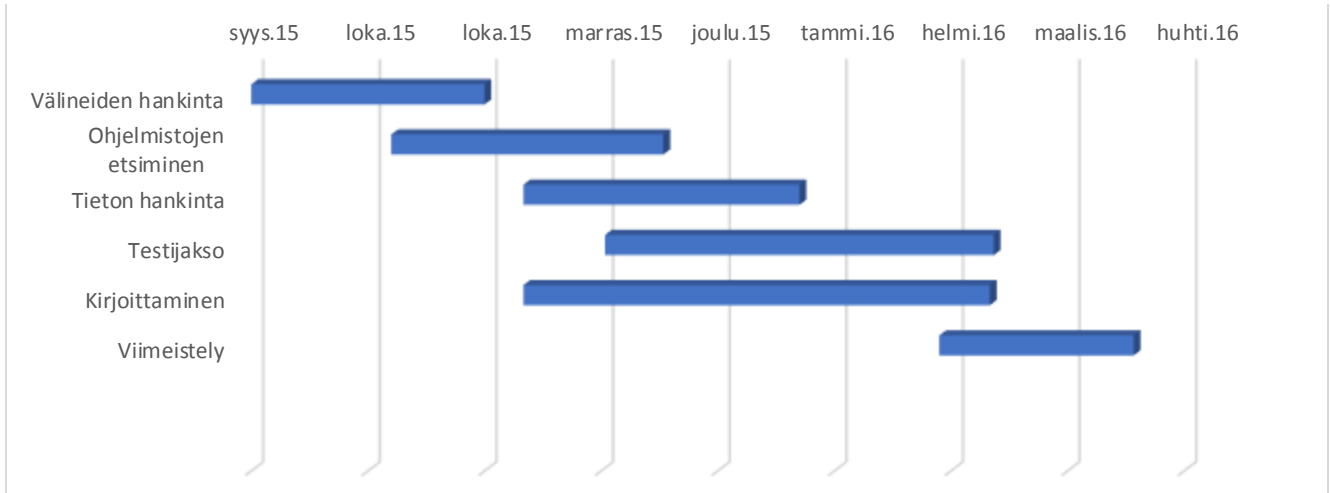
missä d on materiaalin paksuus ja Φ on materiaalin lämmönjohtuvuus. Lämpövastuksen yksikkö on m^2/W .

Usean materiaalin rakenteen lämpöresistanssi saadaan kaavalla:

$$R = \frac{d_1}{\Phi_1} + \frac{d_2}{\Phi_2} \dots + \frac{d_n}{\Phi_n} \quad (10)$$

6 TYÖN VALMISTELU

TAULUKKO 1. Gantt-tilaus ajankäytöstä



Työn ajankäyttö on jaksotettu kuukausittaiseksi. Tiettyjä päällekkäisyyksiä on suunniteltu, jotka ovat toteutettavissa. Aluksi on selvitettävä, mitä tietokoneita työssä tullaan hyödyntämään. Työvälineiden jälkeen on otettava selville simulointiohjelmistojen markkinat ja oltava yhteyksissä jälleenmyyjiin. Tämän rinnalla on toteutettavissa tiedon hankinta, opinnäytetyön kirjoittaminen sekä ohjelmien testijakso. Testijaksolle varataan useita kuukausia, jotta jokainen ohjelma on hyvin käsiteltävissä. Viimeistelylle on käytettävissä loppuaika.

6.1 Ohjelmistot

Vertailuun päätyvien ohjelmistojen valinnassa kartoitetaan pienten ja suurien valmistajien ohjelmistot. Pienillä valmistajilla on suppeat jälleenmyyntiketjut Suomen markkinoilla, ja täten ohjelmistojen tukipalvelut ovat heikot. Markkinajohtajilla on suurimmat resurssit päivittää ja luoda uusia innovaatiota ohjelmistoihinsa. Suurilla ohjelmistojäteillä ovat myös kattavammat jälleenmyynti- sekä tukipalvelut. Vertailuohjelmistoiksi valikoituivat markkinajohtajilta Dassault Systèmesin SIMULIA Abaqus, Autodeskin Mechanical Simulation sekä Ansysin Workbench. Käytettävissä on joko opiskelijaversio tai jälleenmyyjältä saama demoversio.

6.2 Työvälineet

Testissä hyödynnetään Saskenin työkannettavaa ja omaa pöytätietokonetta. Simulointiohjelmistoilla on raskaat järjestelmävaatimukset, joten vaativissa simulointikohteissa käytetään omaa tietokonetta. Ohjelmistot vaativat paljon keskusmuistia, muistin vähyys voi aiheuttaa simuloinnin epäonnistumisen. Prosessori ei toimi rajoittavana tekijä, mutta tehokas prosessori nopeuttaa laskentaa. SSD-tallennustilatyypin takaa nopeamman kirjoitus- sekä lukunopeuden. Tietokoneen näytönohjain ei vaikuta simuloinnin kyvykkyyteen, ainoastaan tarkasteltaessa kappaletta elementtiverkkoineen ohjelmisto rasittaa näytönohjainta. Alla on lueteltu tietokoneiden tekniset tiedot.

Kannettavatietokone

- Intel Core i5 2520M 2.5Ghz
- 4Gt keskusmuistia
- 128Gt HDD-tallennustilaa
- CATIA V5 CAD-ohjelmisto

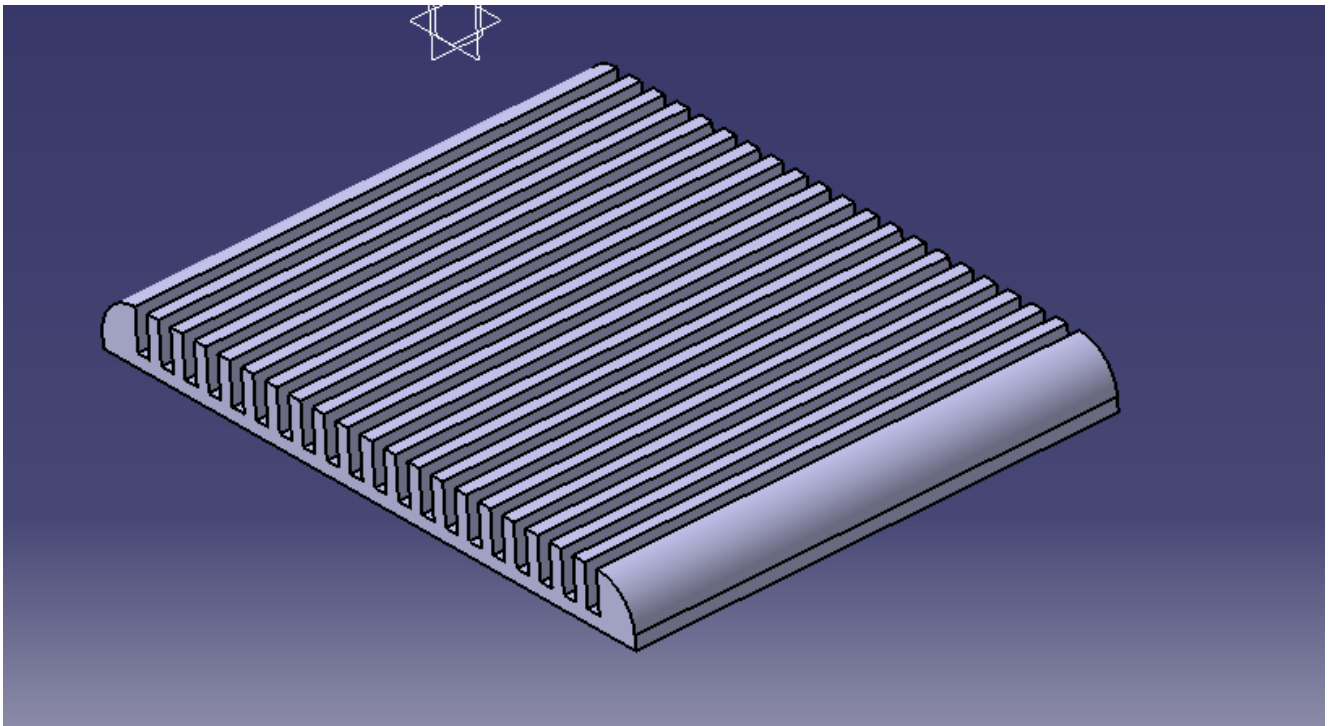
Pöytätietokone

- Intel Xeon E3 1231 V3 3.8Ghz
- 16Gt keskusmuistia
- 512Gt SSD-tallennustilaa

6.3 Kriteerit

Ohjelmien vertailu on rajattu lämpösimulointiin, mutta kaikki ohjelmistot ovat kykeneviä lukuisiin muihin ratkaistaviin suureisiin. Lämpötekniset ominaisuudet ovat Saskenin osalta tärkein kriteeri ohjelmiston kannalta.

Jokaisella ohjelmalla suoritetaan tasapainoasemainen lämmönjohtuvuus-simulointi identtisellä kappaleella. Kuvassa 5 on jäähdtyssiili, joka toimii testikappaleena. Se on mallinnettu CATIA:lla, ja testiohjelman tulee auukaista se joko suoraan CATIA-mallina eli .part-muodossa tai yleisemmässä .stp-muodossa.



KUVA 5. Jäähdtyssiili mallinnettuna (CATIA V5 2016.)

Testikappaleeseen simulointiohjelmissa määritetään materiaaliominaisuudet, pohjaan asetetaan 60 °C lämpökuorma, ja kaikki muut ulkopinnat asetetaan konvektiopinnoiksi. Lämpövuoksi määritetään $20W/m^2$. Kappaleen materiaaliksi on valittu painevalettu alumiini 380, jonka lämmönjohtuvuuskerroin on $0.109 W/mm^{\circ}C$.

TAULUKKO 2. Ohjelmistojen vertailukategoriat

Kategoriat
Käyttöliittymä
Monipuolisuus
Hinnoittelu
Yhteensopivuus
Päivitykset
Tuki
Pisteet yhteensä

Jokainen ohjelma arvosteltiin kuuden pääkohdan mukaan. Maksimi pistemäärä per kohta on 5p ja pienin 1p. Suurin mahdollinen pistemäärä on 30. Kriteerien selitykset ovat seuraavat:

- Käyttöliittymän arvostelussa perehdytään ohjelman helppokäyttöisyyteen ja toimivuuteen.
- Monipuolisuudella tarkoitetaan ohjelmiston kykyä suorittaa useita erilaisia simulointimahdollisuuksia, kuten lämpö-, lujuus- ja virtaussimulointia.
- Hinnoittelussa kaikki budjetti- ja hintatiedot ovat salaisia.
- Yhteensopivuudessa tarkastellaan ohjelmiston toimivuutta CATIAn kanssa.
- Päivityksillä tarkoitetaan ohjelmiston päivitystiheyttä ja uusien ominaisuuksia saatavuutta.
- Tuki-osiossa pisteytetään ohjelmiston ongelmatuki, koulutukset ja asennusapu.

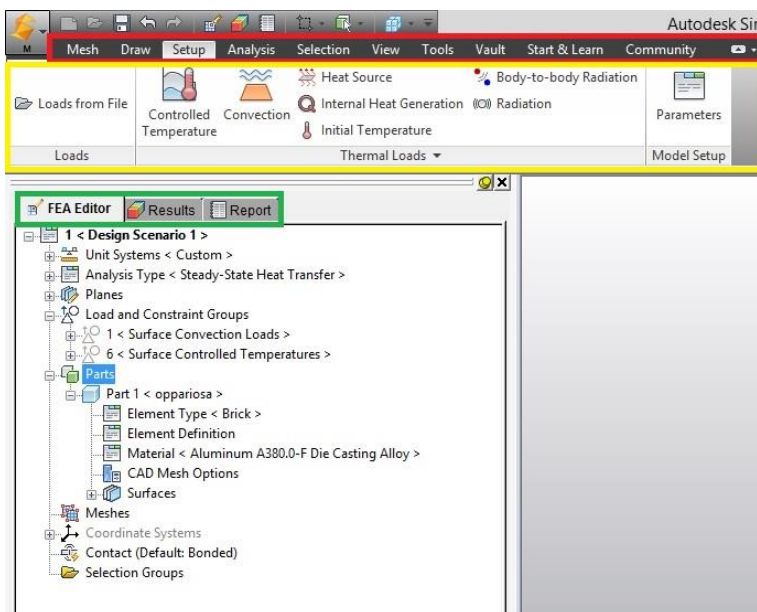
7 OHJELMISTOJEN VERTAILU

Tässä kappaleessa vertaillaan ohjelmistoja aikaisempien kriteerien perusteella. Jokaisesta ohjelmistosta esitellään käyttöliittymän ulkonäkö, ja lisäksi perehdytään tärkeimpiin työmoduuleihin sekä työkaluihin.

7.1 Autodesk Mechanical Simulation 2016

Ensimmäinen vertailtava ohjelmisto on Autodesk Mechanical Simulation. Autodesk on yhdysvaltalainen vuonna 1982 perustettu ohjelmistoja valmistava yritys. Tunnetuimpia ohjelmistoja ovat AutoCAD sekä Inventor. Yhtiöllä on vahva osaaminen usealla eri ohjelmiston saralla. Autodesk tarjoaa mm. arkkitehtuuri-, peli- ja tuotanto-ohjelmistoja.

Testiohjelmisto on opiskelijaversio vuoden 2016 Autodesk Mechanical Simulationista. Opiskelijaversio ei eroa ostoversiosta, muuten kuin raporteissa olevista Academic-leimoista. Mechanical Simulation on ulkonäöltään hyvin moderni ja selkeä. Ulkonäkö on toteutettu samantyyppiseksi kuin muut Autodeskin tuotteet.

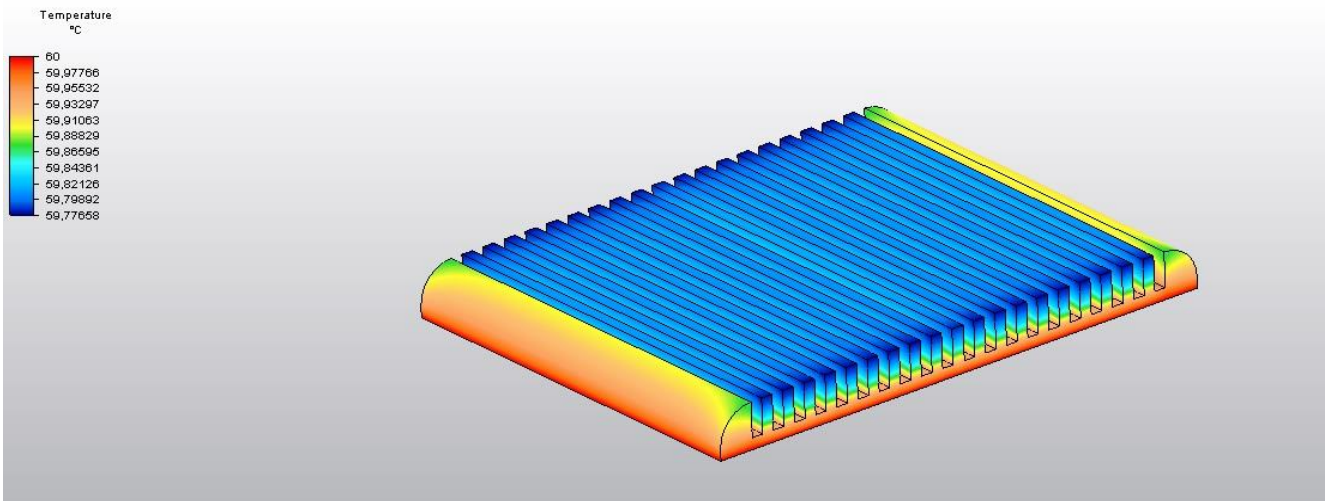


KUVA 6. Autodesk Mechanical Simulationin käyttöliittymä (Autodesk Mechanical Simulation 2016.)

Mechanical Simulationin käyttöliittymässä on kolme pääaluetta. Vihreällä merkitty alue sisältää välilehdet FEA Editor, Results sekä Report. Välilehtien alle tulevat näkyviin rakennepuut. FEA Editorin rakennepuussa määritetään kappaleen simuloinnin kannalta kriittisiä tietoja, kuten materiaali, elementtiverkko sekä voimasuureet. Results-välilehdellä ovat valmiit simulointitulokset ja Report alueella on käytettävissä valmiita ohjelman luomia raportteja. Raportit sisältävät tietoa kappaleesta, verkotuksesta ja simuloinnin tuloksista. Käyttöliittymän punaisella merkattu alue sisältää työmoduulit. Vaihtamalla moduulia, työkalut vaihtuvat keltaisella alueella. Result- ja Report-välilehdillä on myös omat työmoduulinsa ja työkalunsa. Simuloinnin suorittamisen kannalta tärkeät työmoduulit ovat FEA Editorissa, joita ovat:

- Mesh-moduulissa määritetään elementtiverkon tiedot ja luodaan se.
- Draw-moduulissa on mahdollista mallintaa kappale.
- Setup-moduulissa asetetaan kappaleeseen reunaehtoja ja voimakuormia, tässä työssä hyödynnettiin Controlled Temperature- sekä Convection-työkaluja.
- Analysis-moduulissa ajetaan simulointi.
- Selection-moduulissa on pinnanvalintatyökaluja, joilla voidaan valita reunoja, yksittäisiä tai kokonaisia pintoja.
- View-moduulissa määritetään näytettäviä tietoja ruudulla.
- Tools-moduulissa on käytettävissä lisätyökaluja.
- Vault-moduuli on Autodeskin oma tallennustietokanta.
- Start & Learn-moduulissa on mahdollista opetella käyttämään ohjelmistoa opetusvideoiden ja ohjekäsikirjojen avulla.
- Community-moduulissa on käytettävissä Autodeskin oma forum, ja lukuisia muita keinoja joilla olla yhteyksissä muuhun käyttäjäkuntaan.

Mechanical Simulation on kykenevä aukaisemaan CATIAN .part-tiedostotyyppisiä. Tämä helpottaa työskentelyä, koska ohjelmisto näyttää suoraan, mikäli kappaleessa on useita osia. Mahdollinen kappaleen geometrian muokkaus simulointiohjelmistossa on myös tällöin helpompaa. Mechanical Simulation sisältää itsessään kattavan materiaali-katalogin, josta pystyy suoraan asettamaan koekappaleen materiaaliksi painevaletun alumiini 380:n. Jäähdytyspielen elementtiverkko sisältää 42 378 elementtiä ja 24 739 solmupistettä.



KUVA 7. Autodesk Mechanical Simulationin valmis simulointi (Autodesk Mechanical Simulation 2016.)

Koekappaleen lämpökuorma leviää tasaisesti jäähdytysriivoissa, mutta päädyissä on hieman vaihtelua, johtuen kaarevista muodoista. Mechanical Simulationissa on erittäin helppo simuloida niin pieniä kuin suuriakin kappaleita. Tarvittavien tietojen määrittäminen on vaivatonta, ja elementtiverkon luominen sekä voimasuureiden asettaminen on sujuvaa. Koko käyttöliittymältään ohjelmistoa on erittäin luonteva käyttää.

Mechanical Simulation on monipuolinen työkalu, jossa on erittäin laajasti simulointimahdollisuuksia. Ohjelma ei ole kuitenkaan kolmikokoon monipuolisin. Ohjelmisto myydään yhtenä isona versiona, jossa on kaikki Autodeskin tarjoamat simulointisovellukset. Yhteensopivuus CATIAn kanssa toimii mutkattomasti. CATIAssa mallinnetut kappaleet suoraan .part-muotona. Myös kokoonpanomallinnukset näkyvät erillisinä kappaleina, joista jokaiselle osalle on mahdollista erikseen määrittää materiaalit ja elementtiverkko.

Autodesk tuo ulos joka vuosi ison vuosipäivityksen, ja tarvittaessa pienempiä päivityksiä tiheämmin. Autodeskin jälleenmyyjä on useita Suomessa, ja he takaavat kattavan tuen ohjelmistoille. Joka vuosi järjestetään ohjelmistolle huolto, jossa varmistetaan ohjelmiston toimivuus. Käytävissä on ohjelmistokoulutukset ja asiantuntevat myyjät auttavat tarvittaessa ongelmatilanteissa. Mechanical Simulation on saatavilla kahdella eri lisenssivaihtoehdolla. Tarjolla on pysyvä lisenssi tai vuosimaksullinen vuokralisenssi.

TAULUKKO 2. Autodesk Mechanical Simulationin pisteytystaulukko

Kategoriat	Autodesk Mechanical Simulation
Käyttöliittymä	5
Monipuolisuus	4
Hinnoittelu	4
Yhteensopivuus	5
Päivitykset	5
Tuki	5
Pisteet yhteensä	28

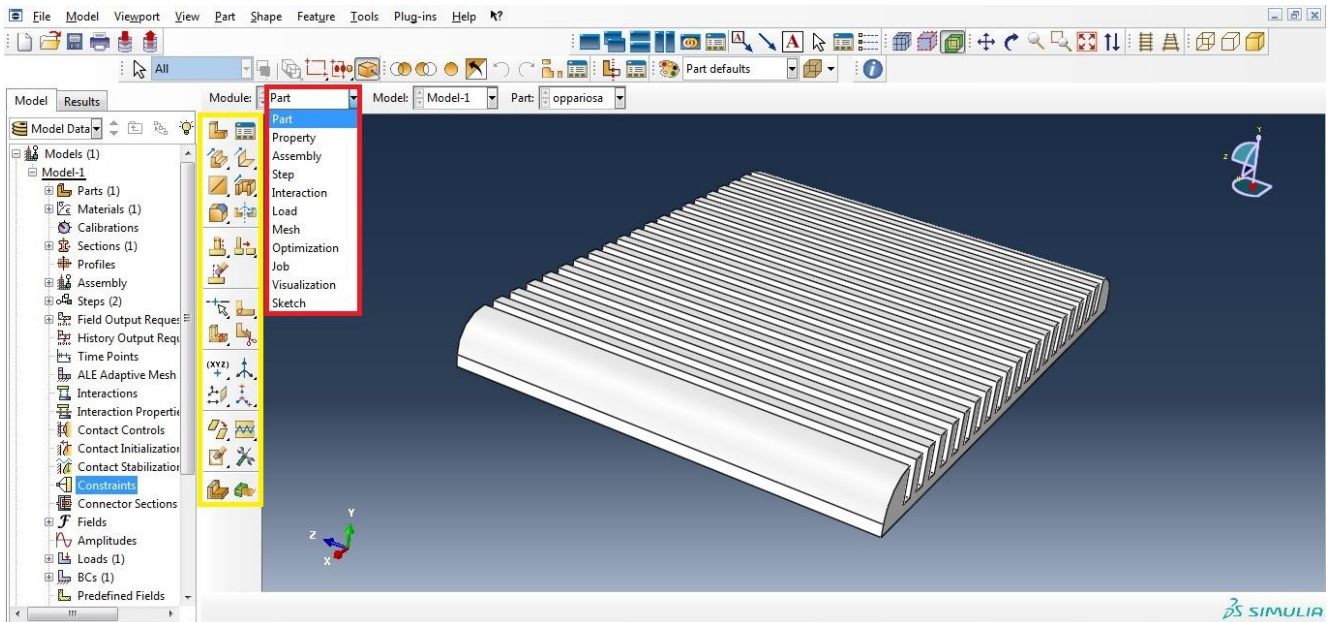
Autodeskin simulointiohjelmisto on kauttaaltaan todella viimeistelty ohjelmisto. Erittäin helppokäyttöinen käyttöliittymä ja suhteellisen edullinen hinta saavat ohjelman erottumaan kilpailijoistaan. Kategorioiden pisteytyksessä ohjelma saavuttaa lähes täydet pisteet, 28p/30p.

7.2 Dassault Systèmes SIMULIA Abaqus

Toinen ohjelmisto on SIMULIA Abaqus, joka kuuluu Dassault Systèmesin tuotevalikoimaan. Dassault Systèmes on perustettu vuonna 1981 Ranskassa. Yhtiö on tunnettu erityisesti SolidWorks sekä CATIA-ohjelmistoistaan. SolidWorks on pääasiassa CAD-ohjelmisto, mutta pitää sisällään myös kevyen simulointiosuuden. CATIA on täysiverinen CAD-ohjelmisto, jonka jatkoksi on suunniteltu SIMULIA Abaqus. Dassault Systèmesin tuotevalikoima on erittäin laaja, tarjolla on ohjelmistoja mm. pankki-, arkkitehtuuri-, lentokone- ja armeijakäyttöön.

Testiohjelmisto on jälleenmyyjältä saatu demoversio. Demoversio piti sisällään myös koulutustapaamisen, jossa käytiin pääperiaatteissaan SIMULIAN käyttöliittymä ja toimintaperiaatteet. Tapaaminen auttoi huomattavasti sisäistämään ohjelman monimuotoisuuden sekä tarvittavan taitotason.

Käyttöliittymältään SIMULIA ei ole yhtä moderni kuin Autodeskin vastaava. Ohjelmassa navigointi tehtävämoduulista toiseen tapahtuu alavetovalikosta, joka on merkitty punaisella ääriivillä. Moduulista riippuen työkalut vaihtuvat keltaisella rajatussa alueessa.

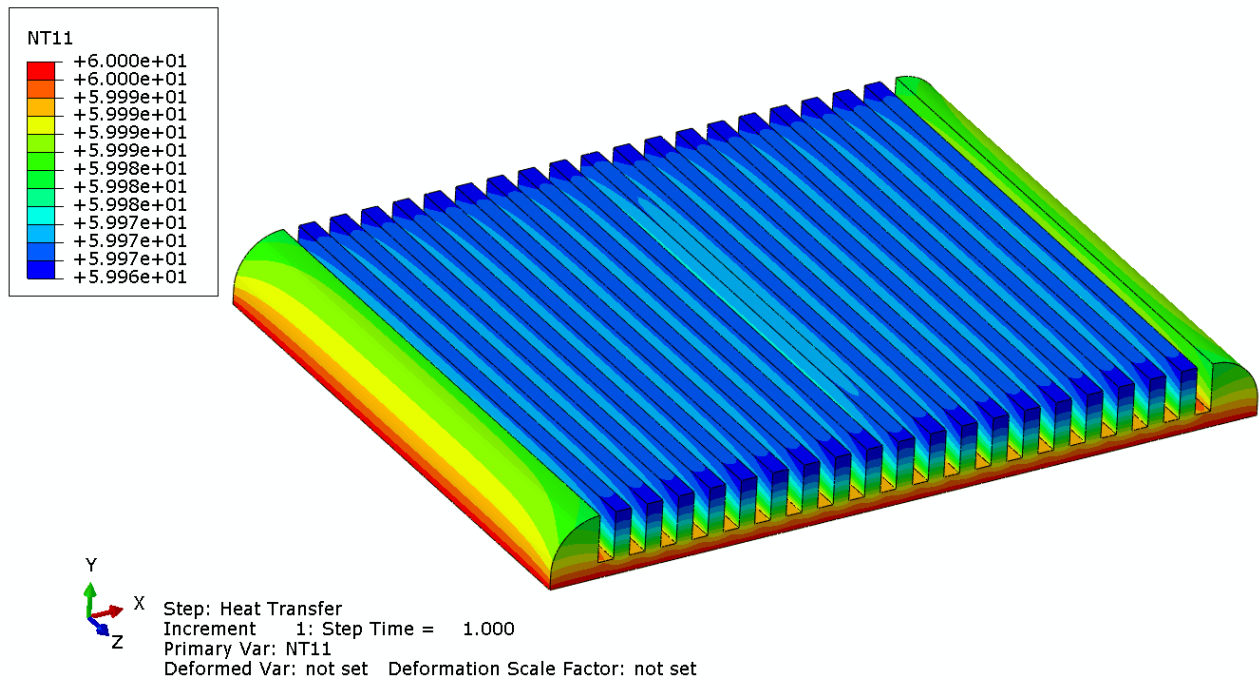


KUVA 8. SIMULIAN käyttöliittymä (SIMULIA Abaqus 2016.)

Alasvetovalikon moduulit ovat seuraavat:

- Part-moduuli on yhden osan kotivalikko.
- Property-moduulissa määritetään kappaleeseen liittyviä tietoja, kuten materiaali ja sen ominaisuuksia.
- Assembly-moduuli on kokoonpanon kotivalikko.
- Step-moduulissa määritetään mitä simuloidaan, tässä tapauksessa lämmönvaihtumista.
- Interaction-moduulissa asetetaan ehtoja, kuten kappaleen kiinnittäminen.
- Load-moduulissa asetetaan kuormia kappaleeseen, tässä tapauksessa lämpökuorma sekä konvektiopinta-alat.
- Mesh-moduulissa määritetään kappaleen verkotuksen ehdot ja generoidaan verkko.
- Optimization-moduuli auttaa optimoimaan tiettyjen reunaehtojen perusteella mm. kappaleen mittoja.
- Job-moduulissa ajetaan simulointi.
- Visualization-moduuli näyttää kappaleen ratkaistun simuloinnin.
- Sketch-moduulissa on mahdollista mallintaa kappale.

Demoversiossa ei ole tukea aukaista CATIAN .part-tiedostotyyppiä, mutta täysiversiossa on tuki tähän. Jäähdytysiili tuodaan ohjelmistoon .stp-muodossa. SIMULIAssa ei ole omaa materiaali-kategoriaa, mutta ohjelmaan on mahdollista jälkikäteen itse määrittää materiaaleja. Ohjelmassa yksiköiden määrittäminen on käyttäjän vastuulla. Painevaletun alumiini 380:n lämmönjohtuvuuskerroin on tässä tapauksessa $109W/m^{\circ}C$. Kappaleen lämpövuoto on $20J/m^2S$.



KUVA 9. SIMULIAN valmis simulointi (SIMULIA Abaqus 2016.)

Koekappaleen simuloinnin tulokset ovat lähes samanlaiset Mechanical Simulationin kanssa. Pienimmässä lämpötilassa on ero ainoastaan $0.2^{\circ}C$. Lämpöjakauma on lähes samanlainen, mutta SIMULIAssa värienrajat ovat selkeämmät, johtuen karkeammasta väriskaalauksesta. Koekappaleessa on 36 370 elementtiä ja 21 316 solmupistettä

SIMULIA on kolmikilon vaativin ohjelmisto toimintatavaltaan. Ohjelmisto ei pidä kirjaa yksiköistä, joten kaikki ovat käyttäjän vastuulla. Helppointa on tehdä kaikki SI-yksiköiden mukaan. Käyttöliittymässä simulointi tapahtuu kronologisessa järjestyksessä, alavetovalikossa siirrytään kohdasta toiseen. Moduulien työkaluissa on opetteluja, koska käytössä on lukuisia työkaluja. Työ-

kaluissa ei lue välittömästi sen nimeä, mutta kursoria hetken pitäen päällä tulee esiin täydentävää tietoa. Demoversiossa ei ole kattavaa tukea CATIAn kanssa, mutta ostoversiossa on tuki tuoda osia ja kokonaisia kokoonpanoja.

SIMULIA:n jälleenmyyjällä on kattava tarjonta tukipalveluita ja koulutusta. Käytettävissä on ONLINE-tuki ja paikallistuki. Ohjelmistoille on saatavissa suuria vuosipäivityksiä ja pienempiä tiheämmin. SIMULIA:n lisenssit toimivat ns. tokeneilla. Token kuvastaa tietokoneen fyysistä prosessorin ydintä. Ohjelmiston perusversio sisältää useita tokeneita, mutta mikäli käyttöön haluaa useampia prosessorin ytimiä, on hankittava lisää tokeneita. Ohjelmisto myydään vuosimaksullisella vuokralisenssillä.

TAULUKKO 3. SIMULIA Abaqusin pisteytystaulukko

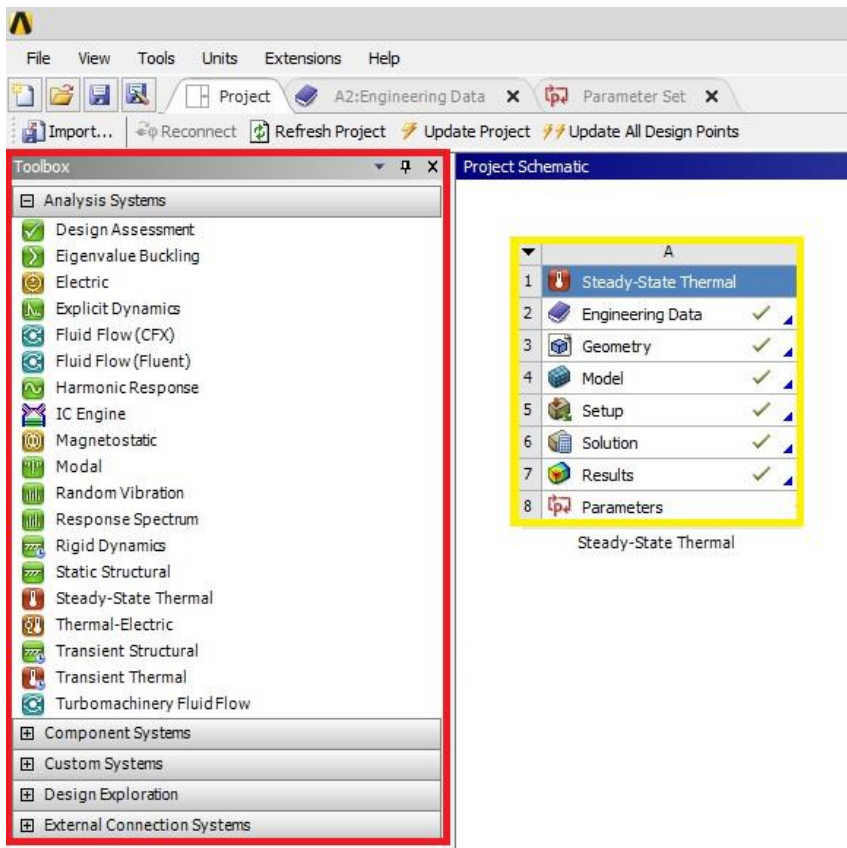
Kategoriat	SIMULIA Abaqus
Käyttöliittymä	3
Monipuolisuus	5
Hinnoittelu	3
Yhteensopivuus	5
Päivitykset	5
Tuki	5
Pisteet yhteensä	26

SIMULIA Abaqus saavuttaa pisteytyksessä 26p/30p. SIMULIA vaatii käyttäjältä paljon, mutta osaava käyttäjä pystyy hyödyntämään ohjelmistoa lähes rajattomasti. Ohjelmiston paras osa on sen erittäin monipuolinen simulointitarjonta.

7.3 Ansys Workbench (Icepak)

Viimeinen vertailtava ohjelmisto on Ansys Workbench. Ansys on yhdysvaltalainen vuonna 1970 perustettu yritys. Ansys on keskittynyt ainoastaan simulointisovellusten tuottamiseen. Workbench sisältää erittäin paljon simulointisovelluksia, jossa on jokaiselta osa-alueelta ominaisuuksia. Ansys tuottaa erillisiä tuotepaketteja, jolloin ei tarvitse hankkia koko ohjelmistoperhettä. Kaikki tuotepaketit toimivat samanlaisessa ympäristössä, mutta ainoastaan käytettävät

sovellukset vaihtuvat. Ansysin lämpösimulointipaketti on nimellä Ansys Icepak, joka sisältää lämpö- ja virtaussimulointi-ominaisuuksia.

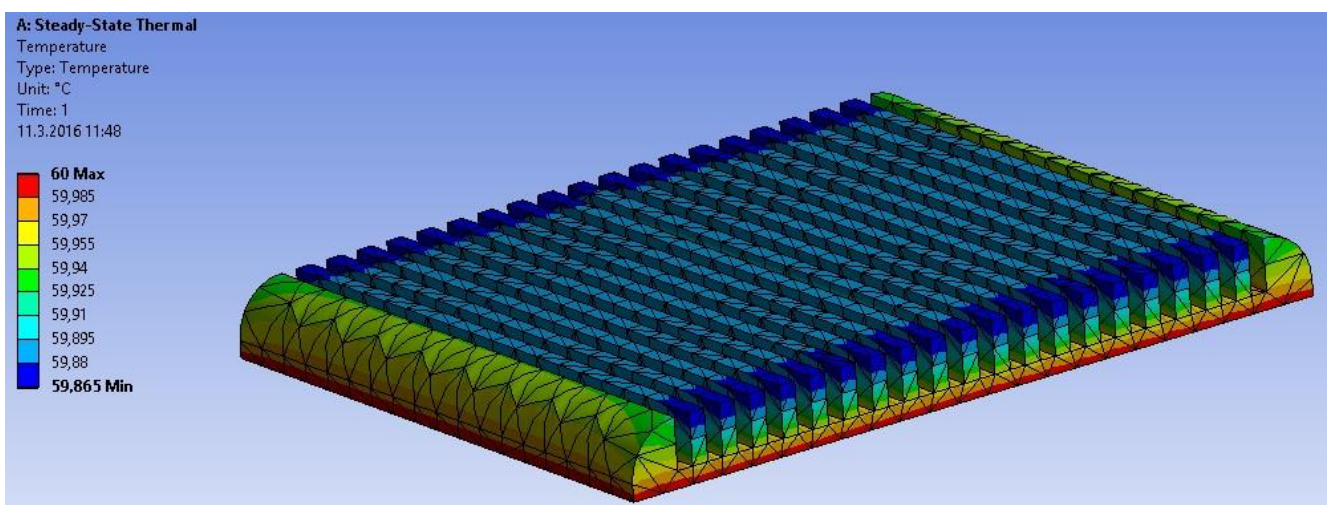


KUVA 10. Ansys Workbenchin käyttöliittymä (Ansys Workbench 2016.)

Ansysin käyttöliittymä on toteutettu selkeäksi. Punaisella rajattu toolbox-alue sisältää simulointisovellukset, joista tähän työhön on valittu Steady-State Thermal. Keltaisella rajattu alue sisältää 8 moduulia, joissa tapahtuu simuloinnin kannalta tärkeät määrittäykset. Jokaisen moduulin perään syntyy vihreä merkki, kun tarpeeksi tietoja on annettu.

- Engineering Data-moduulissa määritetään kappaleen materiaali ja ominaisuudet.
- Geometry-moduulissa voidaan piirtää tai tuoda sisään kappale.
- Model-moduulissa määritetään ja luodaan elementtiverkko.
- Setup-moduulissa määritetään kuormat ja sidontapisteeet.
- Solution-moduulissa ajetaan simulointi.
- Results-moduuli näyttää simuloinnin tuloksen.
- Parameters-moduulissa voidaan määrittää lisäparametrejä.

Ohjelmiston opiskelijaversio ei tue osientuontia, joten kappale tuotiin .stp-muodossa. Ostoversiossa on suorakuvio CATIAan. Käyttöliittymä on erittäin yksinkertainen, jossa tietojen syöttäminen on tehty selkeäksi. Tietojen määrittäminen, voimien asettaminen ja elementtiverkon luonti tapahtuvat kronologisessa järjestyksessä. Moduulien perään ilmestyvä kuitaantumismerkki helpottaa käyttöä huomattavasti. Tällöin tietää, että edellinen vaihe on suoritettu ja voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen. Simulointi on tehty kauttaaltaan erittäin vaivattomaksi toimivan käyttöliittymän vuoksi. Ohjelmistossa kappaleen lämpövuoksi määritetään $20W/m^2\text{°C}$ ja lämmönjohtuvuudeksi $109W/m\text{°C}$.



KUVA 11. Workbenchin valmis simulointi (Ansys Workbench 2016.)

Koekappaleen simuloinnin tulokset ovat lähes identtiset Mechanical Simulationin ja SIMULIAN kanssa. Ohjelmiston opiskelijaversiossa on rajoitettu elementtien määrä, tästä johtuen värien rajat ovat karkeat. Koekappaleen elementtiverkossa on 6 829 elementtiä ja 13 080 solmupistettä. Tuloksista on saatavissa useita sivuja ohjelmiston luomia raportteja. Raporteissa on opiskelijaversioon Academic-leima.

Ansysin simulointiperhettä voidaan kutsua monipuoliseksi. Tarjolla on useita eri tuotepaketteja, joista voidaan valita juuri sopiva vaihtoehto. Yksittäisinä paketit eivät ole yhtä monipuolisia kuin Autodeskin tai Dassault Systèmesin ratkaisut. Ansysillä on Pohjoismaissa yksi suuri jälleenmyyjä, jolla on tarjolla kattava tukipaketti ohjelmistoille. Vuosittain ohjelmistoille järjestetään huolto, jossa tehdään korjaavia ja parantavia toimenpiteitä. Ohjelmistolle tuodaan vuosittain

suuri vuosipäivitys ja tarvittaessa saatavilla on useampia päivityksiä. Ansys Icepak myydään pysyvällä lisenssillä, mutta ohjelmisto voidaan hankkia vuokralisenssilläkin.

TAULUKKO 4. Ansys Workbenchin pisteytystaulukko

Kategoriat	Ansys Workbench
Käyttöliittymä	4
Monipuolisuus	3
Hinnoittelu	2
Yhteensopivuus	5
Päivitykset	5
Tuki	5
Pisteet yhteensä	24

Ansys Workbench saavuttaa vertailussa yhteensä 24p/30p. Ohjelmisto on kauttaaltaan helpokäyttöinen ja hyvin käyttäjäystävällinen. Ansys Icepak-ohjelmisto ei ole yhtä monipuolinen, kuin Autodeskin ja Dassault Systèmesin ohjelmistot. Icepak on myös kolmikilon kallein vaihtoehto.

8 POHDINTA

Työn tavoitteena oli vertailla simulointiohjelmistoja lämpösimuloinnin osalta. Työssä päädyttiin testaamaan kolmea ohjelmistoa, joilla on kattavat tukipalvelut Suomessa. Työtä hankaloitti ajankäyttö, sillä oli vaikea löytää pienten ohjelmistovalmistajien jälleenmyyjiä Suomesta ja lähimaista. Työ olisi valmistunut aikaisemmin, jos olisin suoraan huomannut ottaa yhteyttä vain suurien ohjelmistojen jälleenmyyjiin. Alalla kilpailu on kovaa, joten uusien pienten tulokkaiden on vaikea erottua muista ja näin saada jälleenmyyjiä.

Työn aikana huomasin, kuinka laajasti simulointia nykyään hyödynnetään eri toimialoilla. Simulointi on käytettävissä tuotteen kehityksen alkuaskelilla sen loppukäyttöön asti. Ohjelmistot korvaavat fyysisiä malleja, mutta ohjelmistot ovat kalliita hankittavia. Mikäli ohjelmiston käyttö on päivittäistä tai edes viikoittaista, on sellaisen hankinnasta hyötyä. Jos ohjelmistoa käytetään harvakseltaan, ei sen hankinta ole kannattavaa. Simuloinnin ulkoistaminen on myös kallista, joten muutaman ulkoistamistyön hinnalla on saatavissa jo koko ohjelmisto.

Testikappaleen simulointi onnistui suhteellisen hyvin jokaisella ohjelmistolla. Elementtien ja solmujen määrät ovat hieman erilaiset jokaisessa testiohjelmiston koesimuloinnissa, joten näistä pääasiassa johtuvat minimi lämpötilan ja värityksen erot.

Jokaisessa testiohjelmassa oli omat hyvät puolensa. Erot tulivat esiin käyttöliittymässä, hinnassa sekä monipuolisuudessa. Kaikkiin ohjelmiin on saatavilla kattavat tuet ja päivitykset sekä yhteensopivuus CATIAn kanssa, joten niiden perusteella ei tule eroavaisuuksia. Jokainen ohjelma toimi koko testijakson vakaasti. Käytön aikana yksikään ohjelma ei jähmettynyt tai sammutunut äkillisesti. Testiohjelmista miellyttävien käytettävien oli Autodeskin Mechanical Simulation, joka on tehty joka osa-alueelta erittäin helppokäyttöiseksi. Se on lisäksi kolmikilon edullisin vaihtoehto.

Saskenille ei hankittu tämän työn aikana simulointiohjelmistoa, johtuen sen mahdollisesta vähäisestä käytöstä. Tarve ei ole jokaviikkoista, joten sen hankintahinta ja tarve eivät kohtaa. Tulevaisuudessa simulointiohjelmiston tarpeen kasvaessa, työtä voidaan hyödyntää kartoittamaan markkinoiden tarjontaa ja hankkia tarpeisiin soveltuvien ohjelmistoa.

LÄHTEET

BusinessWire. 2007. Saska ilmoittaa nimenmuutoksesta: Suomen tytäryhtiön nimi muuttuu Botnia Hightech Oy:stä Saska Finland Oy:ksi. Saatavissa: <http://www.businesswire.com/news/home/20070402005631/fi/>. Viitattu 27.1.2016

DLR. Numerical flow simulation on an Airbus A380. Saatavissa: http://www.dlr.de/rd/en/DesktopDefault.aspx/tabid-5163/8674_read-19184/8674_page-2/gallery-1/gallery_read-Image.1.3497/. Viitattu 6.2.2016

Elementtimenetelmän perusteet. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5G0jJ/FES01.pdf>. Viitattu 6.2.2016

Ikininen, P.& Tuohi, J. 1999. Momentti 1 Insinöörifysiikka. 364-420., painos 4.-8. Helsinki: Otava. Viitattu 6.2.2016

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. 14-20., painos 6 Helsinki: Aalto-Yliopisto. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>. Viitattu 27.1.2016

Kortelainen, J. 2015. VTT For Industry. Laskennallisesta tuotekehityksestä suomalainen kilpailuvaltti? Saatavissa: <https://vttforindustry.com/tag/tuotekehitys/>. Viitattu 27.1.2016

Nordgren, K. 2015. Simulointi nopeuttaa tuotekehitystä konetekniikassa. Saatavissa: <http://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2015/simulointi-nopeuttaa-tuotekehitysta-konetekniikassa/>. Viitattu 27.1.2016

Saska Finland Oy. Saatavissa: <http://www.saska.fi/>. Viitattu 27.1.2016

Schöck. Saatavissa <http://www.schoeck.fi/fi/laemmoenvastus-r>. Viitattu 19.3.2016

Stressfield. Monikappaledynamiikka MBD. Saatavissa: <http://www.stressfield.fi/MBD/>. Viitattu 6.2.2016

Stressfield. Virtauslaskenta CFD. Saatavissa: <http://www.stressfield.fi/CFD/>. Viitattu 6.2.2016

Yares, E. 2013. Design World. Thermal simulation for electronic systems. Saatavissa: <http://www.designworldonline.com/thermal-simulation-for-electronic-systems/>. Viitattu 6.2.2016