

Joonas Tuominen

MUUNTAMON LÄMPENEMÄN MALLINNUS JA  
JÄÄHDYTYKSEN TEHOSTAMINEN

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2019

# MUUNTAMON LÄMPENEMÄN MALLINNUS JA JÄÄHDYTYKSEN TEHOSTAMINEN

Tuominen, Joonas  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2019  
Sivumäärä: 31  
Liitteitä: 0

Asiasanat: Simulaatio, SolidWorks, Lämmön siirtyminen

---

Opinnäytetyö oli Utu Oy:n kesällä tekemiin mittauksista tehtyyn raporttiin perustuva tutkimus, jolla pyrittiin löytämään ratkaisuja muuntamon sisällä tapahtuvaan lämpenemiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää ratkaisuja puistomuuntamon sisällä tapahtuvan lämpenemisen hallitsemiseksi ja kehittämiseksi Solidworks Flow Simulationia hyödyntäen, sekä samalla tutkittiin kannattaako kyseisen ohjelman lisenssi ostaa yritykselle.

Opinnäytetyössä perehdyttiin Solidworks Flow Simulation ohjelmistoon, jota käytettiin simulaatioiden tekemiseen. Sen avulla pyrittiin löytämään ratkaisuja lämpenemisen pienentämiseksi.

Simulaatioiden pohjalta laadittiin raportti, jossa ilmenivät eri simulaatioiden tulokset. Tulosten perustella pystyttiin tekemään päätelmiä, mitä muutoksia kannattaa tehdä muuntamoon. Lisäksi arvioitiin sitä, että kannattaako yritykseen hankkia ohjelman lisäosa ja saako sillä tehtyä tarvittavia simulaatioita.

# MODELING OF THE HEAT EXCHANGE IN A TRANSFORMER SUBSTATION AND IMPROVING COOLING

Tuominen, Joonas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering

May 2019

Number of pages: 31

Appendices: 0

Keywords: Simulation, SolidWorks, Heat transfer

---

This thesis was a part of a study that was based on research done during the summer by Utu Oy. The thesis uses a report of that study to find solutions to combat a heat generation inside a transformer substation.

The purpose for this thesis was to find solutions to control heat generation inside the transformer substation and further develop solutions for it using the SolidWorks Flow Simulation tool and at the same time investigate if it is a viable option to acquire this simulation tool for the company.

In this thesis I studied the use of SolidWorks Flow Simulation which was used for making the simulations. With the simulation tool the aim was to find solutions to cope with the heat generation.

Based on the simulation results a report was compiled that showed the results of various simulations. Based on the results, I was able to draw conclusions on what changes should be made to the substation and whether the company should purchase the program license for themselves and would the program be of use for the needed simulations.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	PUISTOMUUNTAMO .....	6
3	MUUNTAJAN LÄMPENEMINEN .....	8
4	SIMULAATIOIHIN VALMISTAUTUMINEN.....	10
5	SIMULAATIO OHJELMA .....	11
5.1	SolidWorks .....	11
5.2	Flow Simulation.....	11
5.3	Simulaation pohjustaminen.....	12
5.3.1	Rebuild .....	12
5.3.2	Check entity .....	12
5.3.3	Interference detection .....	13
5.3.4	Create Lids .....	14
5.3.5	Check Geometry .....	15
5.3.6	Leak Tracking .....	15
6	SIMULOINTIEN TEKEMINEN .....	17
6.1	Projektin luominen.....	17
6.2	Materiaalien määrittäminen .....	21
6.3	Raja-arvojen määrittäminen.....	21
6.4	Lämpölähteiden määrittäminen .....	23
6.5	Mitattavien tavoitteiden määrittäminen .....	23
6.6	Simulaation ratkaiseminen.....	24
6.7	Simuloinnin tulokset .....	25
7	SIMULOINTIEN ETENEMINEN.....	27
7.1	Simulointi malli 1 .....	27
7.2	Simulointi malli 2 .....	27
7.3	Lopullinen simulointimalli.....	28
8	TULOKSET .....	30
	LÄHTEET .....	31

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään UTU Oy:lle, joka valmistaa ja myy muun muassa sähkökeskuksia ja puistomuuntamoita. Puistomuuntamon sisällä muutetaan 24kV jännite pienemmäksi sisällä olevan muuntajan avulla.

Opinnäytetyössä tutkitaan lämpötilan simuloinnin toimintaa ja tarkkuutta verrattuna todellisiin testeihin, jotka oli tehty muuntamossa. Lisäksi haetaan ajatuksia muuntamon jäähtymisen kehittämiseksi edelleen. Saatuja tuloksia verrataan testeissä saatuihin arvoihin, joiden pohjalta mietitään parannusehdotuksia.

Puistomuuntamon lämpenemistä simuloidaan SolidWorks -ohjelmistolla ja vielä tarkemmin siihen kuuluvalla lisäosalla SolidWorks Flow Simulaation. Tämän avulla kyetään mallintamaan muuntamon lämpenemistä ja lämmenneen ilman virtausta muuntamon sisällä. Samalla tutkitaan, että kannattaako yritykseen hankkia kyseisen ohjelman lisäosa vastaavien lämpenemistä tutkivien simulaatioiden tekemiseen vai ei.

## 2 PUISTOMUUNTAMO

Puistomuuntamo (Kuva 1) on jakelumuuntamo, joita käytetään taajamissa. Ne ovat puistoihin tai katujen varsille sijoitettuja betoni-, tiili- tai metallirakenteisia ikkunattomia koppeja. Puistomuuntamon sisällä jakeluverkosta tuleva 24 kV keskijännite muunnetaan 400 V pienjännitteeksi tavallisia sähkönkäyttäjiä varten. (STUK www-sivut. 2019.)



Kuva 1. Puistomuuntamo (UTU Oy www-sivut 2019)

Puistomuuntamo jakautuu eri osiin. Pienjännitetilaan (PJ- tila), joka sijaitsee muuntamon etuosassa (Kuva 2). PJ-tilan sisällä on kytkin, syöttökiskot, kokoojakiskot, jonoarokekytkimiä ja PEN-kisko. Muuntajatila sijaitsee puistomuuntamon keskiosassa PJ-tilan takana. Muuntajatilassa sijaitsee muuntaja ja muuntajan alla oleva öljykaukalo. Erotintila koostuu puistomuuntamon mallista riippuen eri määrästä erottimia.

Tiedot muuntamon sisällä olevasta muuntajasta saatiin UTU Oy:ltä. Näistä tiedoista kävi ilmi muun muassa muuntajan teho arvot. Lisäksi sain taulukon, jossa oli tietoja eri muuntajien ulkomitoista, tehoista ja muista sähkö arvoista. Saatuja arvoja käytettiin lämpö simulaatioiden tekemisessä.



Kuva 2. Puistomuuntamon PJ-tila (UTU Oy www-sivut 2019)

### 3 MUUNTAJAN LÄMPENEMINEN

Puistomuuntamon sisällä olevassa muuntajassa tapahtuu häviöitä. Nämä häviöt voidaan jakaa tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöihin.

Tyhjäkäyntihäviöt koostuvat hystereesihäviöistä ja pyörrehäviöistä. ”Hystereesihäviöt johtuvat raudan magneettisista ominaisuuksista eli ns. hystereesisilmukasta. Kun kentän suunta tai voimakkuus muuttuu, käännetään raudan magneettiset partikkelit eri asentoihin. Tämä vaatii energiaa eli työtä.” Pyörrevirtahäviöt johtuvat muuttuvan vuon rautaan indusoimista pyörrevirroista” (Hietalahti. 2011, 10-11).

Kuormitushäviöt muodostuvat muuntajaa kuormitettaessa. Muuntajassa generoituu lämpöhäviöitä käämien vastuksissa virran vaikutuksesta. Nämä häviöt lisääntyvät, mitä enemmän muuntajaa kuormitetaan.

Muuntajassa syntyvä häviöteho muuttuu lämpöenergiaksi, joka vapautuu muuntajasta ympäröivään ilmaan. Muuntamon sisällä oleva ilma lämpenee muuntajan vapauttaman häviötehon seurauksena ja lämmennyt ilma poistuu muuntamon katon rajassa olevista poistoaukoista tai lämpöenergia johtuu muuntamon seiniin ja vapautuu sitä kautta muuntamon ulkopuolelle.

”Lämmön johtuminen on molekyylien välittämää ja lämpötilaeron aiheuttamaa lämmönkuljetusta kiinteässä aineessa (kuva 3), nesteessä tai kaasussa” (Wagner 1988, 15). Alla olevassa kaavassa lasketaan lämpövirta  $Q$ , lämmönjohtavuuden, pinta-alan, ajan ja lämpötilan laskun perusteella.

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot t \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

Kaava 1. Lämmönsiirto (Wagner 1988, 15)



Konvektiossa lämpö siirtyy kaasussa tai nesteessä virtauksen mukana. Tämän saa aikaan aineiden välinen lämpötila ero. Konvektiossa lämmennyt aine kohoaa ylöspäin ja viileämpi tiheämpi aine painuu alaspäin, muuntamossa tämä ilmiö tarkoittaa, että muuntajan lämmittämä ilma kohoaa muuntamon sisällä ylöspäin ja ulkopuolelta tulee viileämpää ilmaa sisälle muuntamoon.

## 4 SIMULAATIOIHIN VALMISTAUTUMINEN

Ennen simulaatioiden aloittamista saatiin raportti, josta kävi ilmi tiedot kesällä tehdystä muuntamonlämpenemäkokeesta. Koe oli tehty IEC 62271-202 standardin mukaan. Lisäksi saatiin tiedot muuntamossa käytetyistä materiaaleista. Muuntamon raja-arvoiksi oli annettu muuntamon sisäisen osastoinnin osalta muuntajatilasta erotinpuolelle ja PJ- tilan puolelle IP 20 eli 12,5 mm pallo ei saa mahtua lävitse. Ulkopuolelta muuntamon sisälle ei saa mahtua 12,5 mm leveä pallo eikä 1 mm suoralla tikulla saa päästä jännitteisiin osiin kiinni (IP 23D). Simulaatioiden aloittamisessa pyrittiin saavuttamaan tietyissä kohdissa arvot, jotka vastaavat lämpenemäkokeen arvoja.

Simulaatioiden avulla pyrittiin löytämään keinoja, joilla saataisiin muuntamon sisällä tapahtuvaa lämpenemistä pienennettyä. Simulaatioiden tekemisessä ilmenneitä ongelmia lähdettiin ratkaisemaan ohjelmassa olevia eri työkaluja hyödyntäen. SolidWorks ohjelmassa olevaan Flow Simulation lisäosan käyttämiseen päädyttiin koulusta saadun lisenssi vuoksi. Yritys halusi selvittää, miten se toimii tämän kokoluokan simuloineissa ja kannattaako sen hankkia kyseinen lisenssi vastaavien simulaatioiden tekemiseen vai onko parempi jättää lisenssi ostamatta sen kalliin hinnan ja huonon soveltuvuuden takia.

Ennen simulaatioiden tekemistä perehdyttiin siihen, miten simulointeja kuuluu Flow Simulation ohjelmassa tehdä. Tämä oli osittain hankalaa puutteellisen käyttökokemuksen vuoksi ja suuri osa materiaalista oli englannin kielistä. Ohjelman käyttöön ohjeita haettiin SolidWorksin omilta nettisivuilta, sekä katsomalla opetusvideoita YouTubea, siitä miten simulaatioita tehdään ja miten eri työkalut toimivat Flow Simulaatioissa. Lisäksi Flow Simulaatio sovelluksen mukana tuli erilaisia esimerkki projekteja, joita tekemällä saavutettiin aloittelija tason osaaminen ohjelman käyttämiseen. Eri esimerkki projekteissa käytiin läpi eri työkalujen käyttöä SolidWorks Flow Simulatioissa ja niiden pohjalta saatiin tarpeeksi hyvän osaamisen, mistä oli apua eri simulaatio versiota tehdessä.

## 5 SIMULAATIO OHJELMA

### 5.1 SolidWorks

SolidWorks on 3D-sunnitteluohjelmisto, jolla on helppo suunnitella ja mallintaa erilaisia koneita ja laitteita. SolidWorks-ohjelmistoon on mahdollista ostaa lisäosia, joilla pystytään esimerkiksi simuloimaan suunnitellun kappaleen tai kokoonpanon lämpenemistä ohjelmaan syötettävillä parametreilla. (SolidWorks www-sivut. 2019.)

### 5.2 Flow Simulation

Flow Simulation on SolidWorks-ohjelmistossa erikseen ostettava lisäosa. Flow Simulation lisäosalla pystytään tekemään erilaisia simulaatiota, joihin määritellään simulaation lähtöarvot, reuna parametrit ja mitattavat suureet. Simulointien tuloksissa pystytään tarkastelemaan kappaleissa ja kokoonpanoissa tapahtuvia muutoksia. Flow Simulationissa pystyy nopeasti ja helposti simuloimaan nesteiden ja kaasujen virtausta SolidWorksissä suunnitellun kappaleen tai kokoonpanon sisällä ja sen ulkopuolella. Tämän avulla pystytään havaitsemaan, miten kappale tai kokoonpano suoriutuu annetuissa olosuhteissa. (SolidWorks www-sivut. 2019.)

### 5.3 Simulaation pohjustaminen

Ennen simulaatioiden aloittamista kappale tai kokoonpano pitää tarkistaa seuraavilla SolidWorksissä olevilla työkaluilla. Näiden työkalujen avulla varmistetaan, että kappaleessa tai kokoonpanossa ei ole mitään virheitä, mitkä pilaavat simulaatioiden tulokset. (Design engineering www-sivut. 2019.)

#### 5.3.1 Rebuild

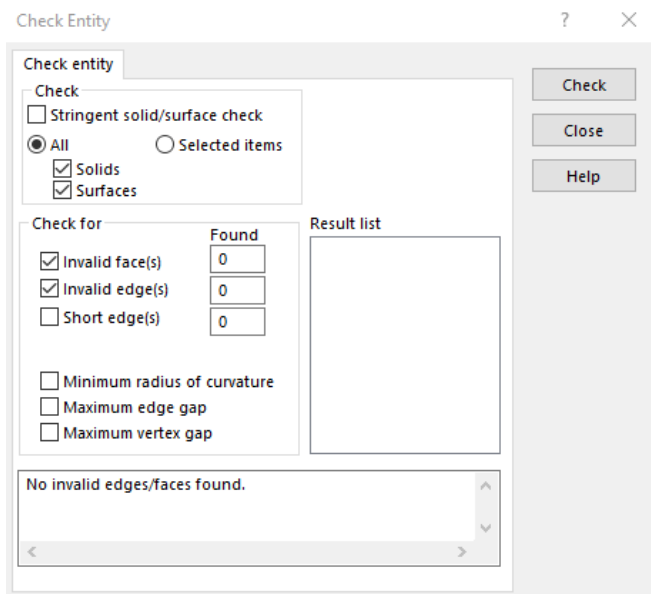
Rebuild- työkalun avulla tarkistetaan, että kappaleessa tai kokoonpanossa ei ole virheitä ja ohjelma uudelleen rakentaa vain ne muutokset, jotka ovat muuttuneet edellisen kerran, kun työkalua on käytetty. Rebuild- työkalun löytyy työkalurivin oikeasta yläreunasta (Kuva 3). Mikäli kappaleessa tai kokoonpanossa on virheitä ne näkyvät punaisena ja keltaisena kappaleen tai kokoonpanon ominaisuuspuussa. Mikäli virheitä ei ole voidaan siirtyä seuraavaan vaiheeseen. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 3. Rebuild- työkalu (SolidWorks 2017)

#### 5.3.2 Check entity

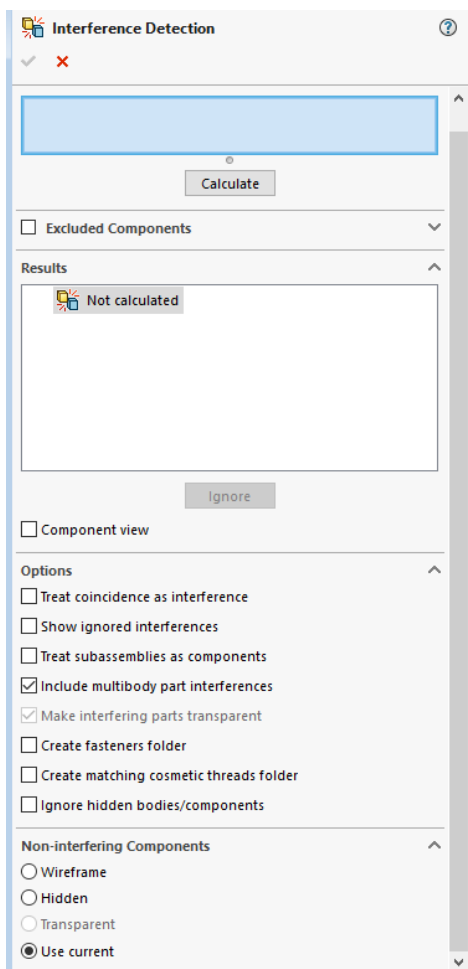
Check entity- työkalun avulla tarkistetaan kappaleen tai kokoonpanon pinnat ja reunat mahdollisten virheiden vuoksi. Check entity saadaan avattua navigoimalla työkaluriviltä kohtaan ”Tools” ja mennään avautuvassa valikossa alaspäin kohtaan, jossa lukee ”Evaluate”. Tämän jälkeen aukeaa pienempi valikko, josta painetaan ”Check”. Tämän valinnan jälkeen aukeaa seuraava valikko (Kuva 4). Aukeavassa valikossa valitaan ”Check”. Mahdolliset virheelliset reunat näkyvät ”Result list” kohdassa. Mikäli tarkistuksen jälkeen ohjelma ei havaitse virheitä voidaan siirtyä seuraavan vaiheeseen. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 4. Sivujen ja reunojen tarkistus (SolidWorks 2017)

### 5.3.3 Interference detection

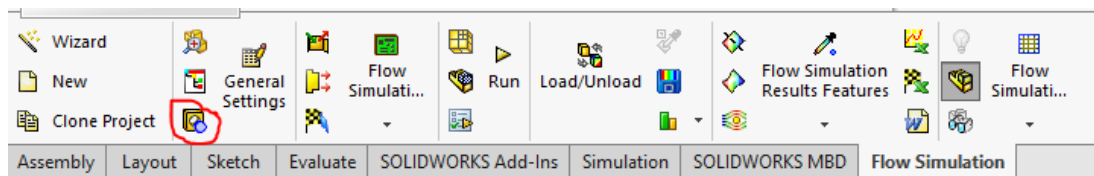
Interference detectionin avulla tarkistetaan mahdollisesti sisäkkäin olevat pinnat. Interference Detection saadaan avattua navigoimalla päätyökalurivillä kohtaan ”Evaluate” ja valitsemalla ”Interference Detection” aukeavalta työkaluriviltä. Aukeavassa valikossa (Kuva 5) valitaan tarkistettavat kappaleet ja kokoonpanot ja valitaan ”Options” kohdasta ”Include multibody part interferences” ja tämän jälkeen valitaan ”Calculate”. Laskennan tulokset näkyvät ”Results” valikossa. ”Results” valikkoon muodostuu lista toistensa sisäkkäin olevien pintojen sijainneista ja niiden koosta. Listasta pystytään havaitsemaan mahdolliset ei toivotut sisäkkäin olevat kappaleet ja näitä ei toivottuja kappaleita pystytään muokkaamaan ohjelmassa. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 5. Tarkistetaan mahdolliset sisäkkäin olevat kappaleet (SolidWorks 2017)

#### 5.3.4 Create Lids

Create lids- työkalulla luodaan reiän päälle pinta, johon on mahdollista määrittää ilman virtaus. Create Lids saadaan valittua, kun valitaan päätyökaluriviltä ”Flow Simulation” ja valitaan ”Create Lids” (Kuva 6). Aukeavaan valikkoon valitaan ne pinnat, johon halutaan tehdä ”Lids”. Samassa valikossa pystytään määrittelemään pinnoille tehtävien ”lids” koko. Tämän projektin Simulaatiossa ”Create Lids” työkalua käytettiin pinnoille, joista haluttiin ilman tulevan muuntamon sisälle tai poistuvan muuntamon sisältä. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 6. Tehdään pinoille, josta halutaan ilman virtaavan ”Lids” (SolidWorks 2017)

### 5.3.5 Check Geometry

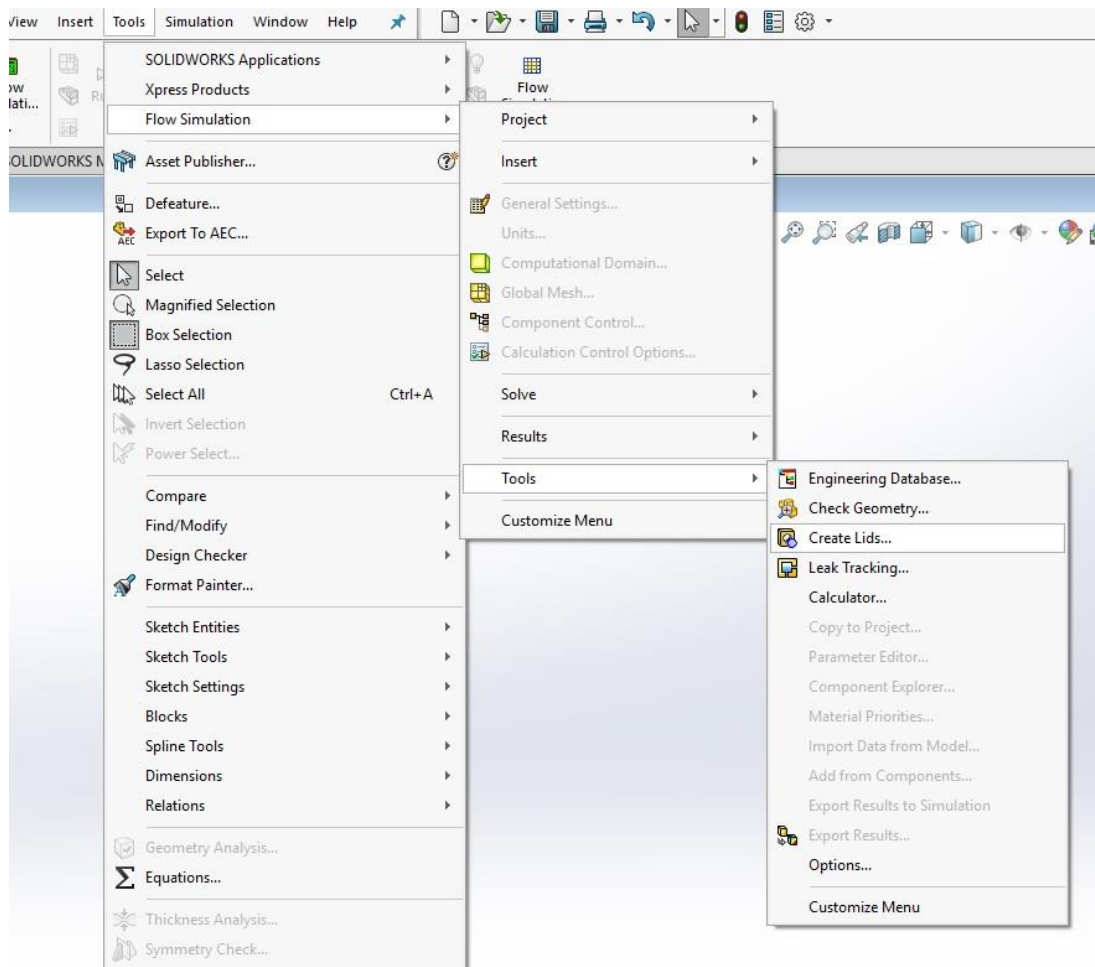
Check Geometry tarkistaa kokoonpanon vesitiiviiden ja ilmoittaa mahdollisista virheistä, jotka tulee korjata, jotta kokoonpanosta saadaan vesitiivis. Check Geomtry saadaan valittua, kun valitaan päätyökaluriviltä ”Flow Simulation” ja valitaan ”Check Geometry” (Kuva 7). Aukeavassa valikossa valitaan ”Internal” ja ”Check”. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 7. Tarkistetaan kokoonpanon vesitiiviyys ja geometria (SolidWorks 2017)

### 5.3.6 Leak Tracking

Leak Tracking työkalulla valitaan kaksi pintaa toinen kappaleen sisäpuolella ja toinen kappaleen ulkopuolelta. Näiden pintojen välillä ohjelma tutkii mahdolliset pinnat, joista ilma pääsee sisäpuolelta ulkopuolelle ja merkitsee tämän vuotavan rajapinnan viivalla, joka muuttuu sinisestä punaiseksi vuotavassa kohdassa. Vuotavat rajapinnat pitää korjata, jotta simulaatio toimii oikein. Leak tracking työkalu (Kuva 8) valitaan työkaluriviltä ”Tools” ja avautuvasta valkosta ”Flow Simulation” ja edelleen ”Tools” ja tästä valikosta ”Leak Tracking”. (SolidWorks www-sivut. 2017.)



Kuva 8. Tarkistetaan kappaleen vesitiiviys (SolidWorks 2017)

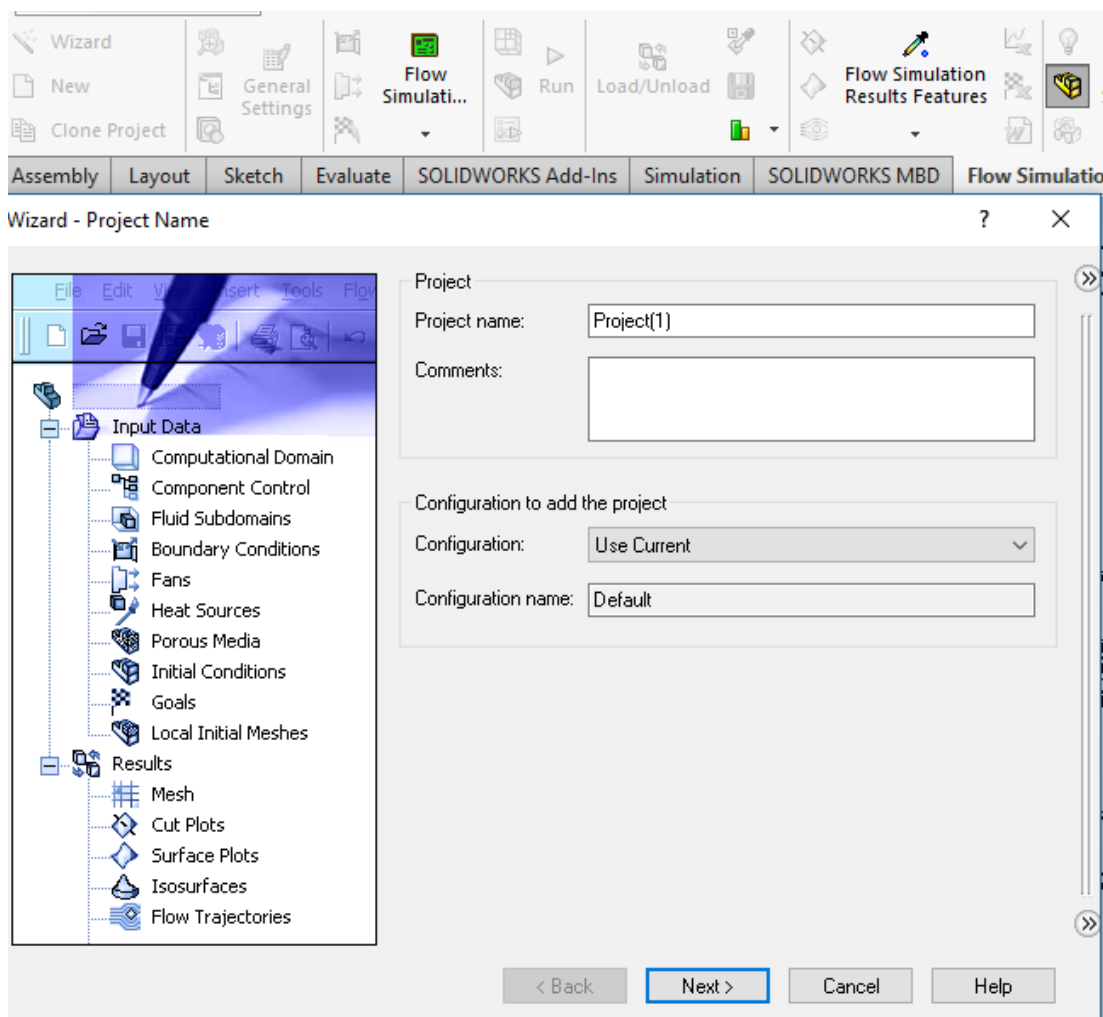


## 6 SIMULOINTIEN TEKEMINEN

Tässä luvussa kerrotaan yksityiskohtaisesti, miten simulaatio luodaan SolidWorks flow simulaatiossa, kun edellisessä luvussa mainitut kohdat on suoritettu ilman, että missään kohdassa ilmenee virheitä.

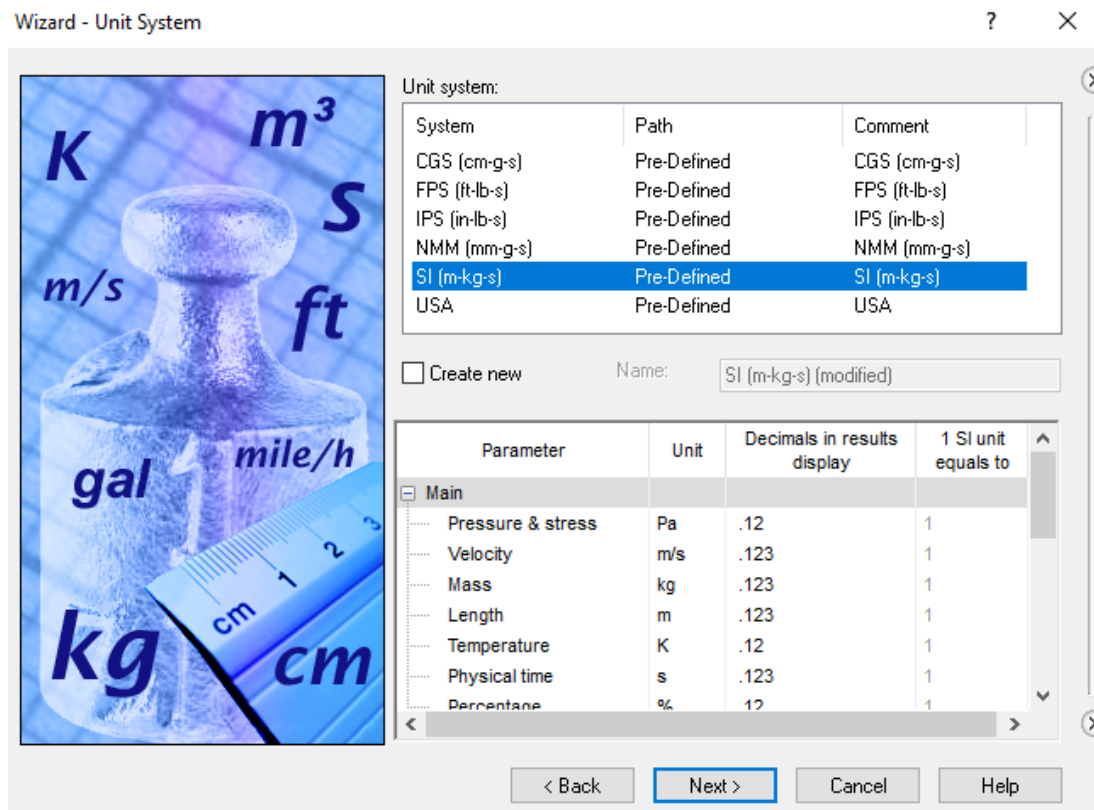
### 6.1 Projektin luominen

Projektin luominen aloitetaan valitsemalla päätyökaluriviltä kohta ”Flow Simulation” ja aukeavasta välilehdestä ”Wizard”. Aukeavassa ikkunassa (Kuva 9) annetaan projektille nimi ja tämän jälkeen valitaan ”Next”. (SolidWorks Tutorial 2019.)



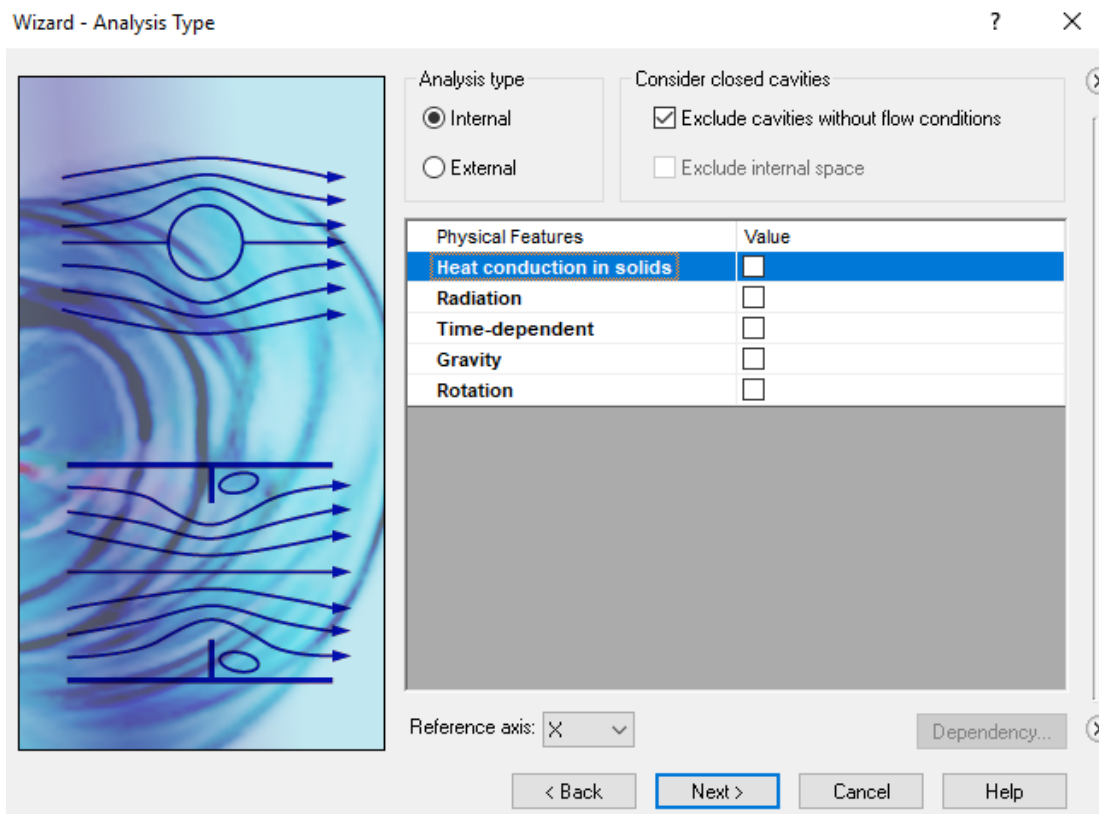
Kuva 9. Projektin luominen (SolidWorks 2017)

Seuraavassa välilehdessä valitaan haluttu yksikköjärjestelmä, joka tässä projektissa on SI- järjestelmä (Kuva 10) ja valitaan ”Next”. (SolidWorks Tutorial 2019.)



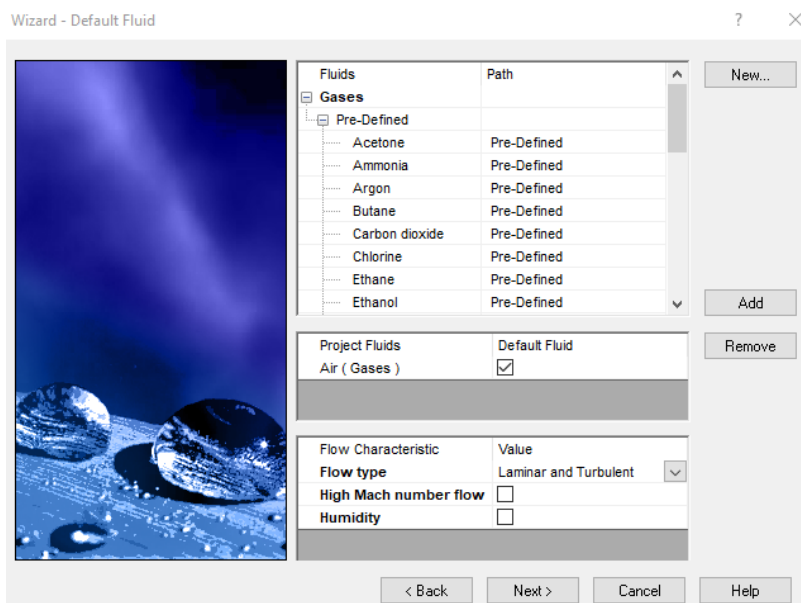
Kuva 10. Yksikköjärjestelmän valinta (SolidWorks 2017)

Seuraavassa välilehdessä (Kuva 11) valitaan ”Internal” eli tutkitaan ilman virtausta kappaleen sisällä. Fyysisiksi ominaisuuksiksi valitaan ”Heat conduction in solids” eli lämmön johtuminen kappaleessa ja ”Gravity” eli painovoima ja tämän jälkeen valitaan ”Next”. (SolidWorks Tutorial 2019.)



Kuva 11. Valitaan sisäinen tutkimus ja fyysiset arvot (SolidWorks 2017)

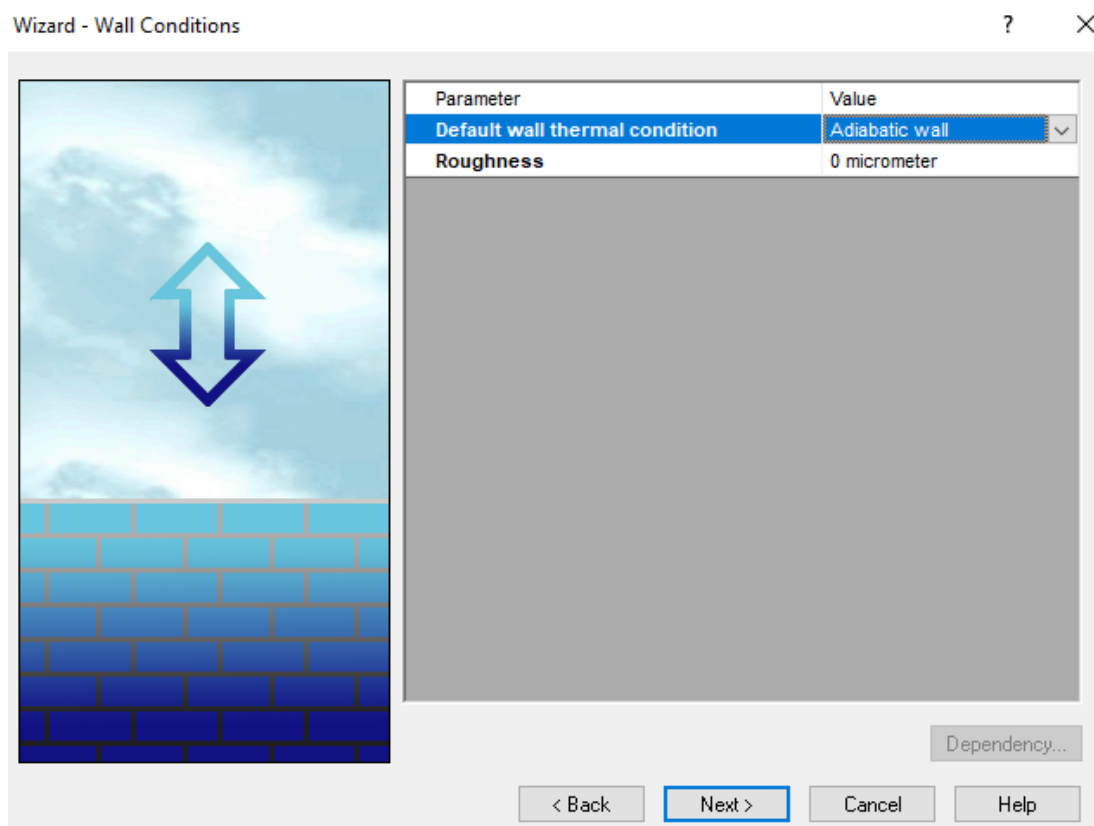
Seuraavassa välilehdessä (Kuva 12) valitaan Kaasuksi ilma ”Air” ja valitaan ”Next”



Kuva 12. Valitaan nesteeksi ilma, joka kulkee kappaleen sisällä (SolidWorks 2017)

Seuraavassa välilehdessä määritellään ”Solids” materiaali, eli materiaali, joka annetaan kaikille kappaleille, joita ei ole erikseen määritelty. Tässä projektissa sillä tarkoitetaan muuntamon ulkokuorta, joka oli peltiä. Pellin tekniset arvot saatiin UTU:lta. Nämä arvot syötetään valikkoon ja valitaan ”next”.

Seuraavassa välilehdessä (Kuva 13) valitaan seinän lämmönjohtavuuden arvo ja ulkopuolella olevan ilman lämpötila. Tämän jälkeen ”Next”.

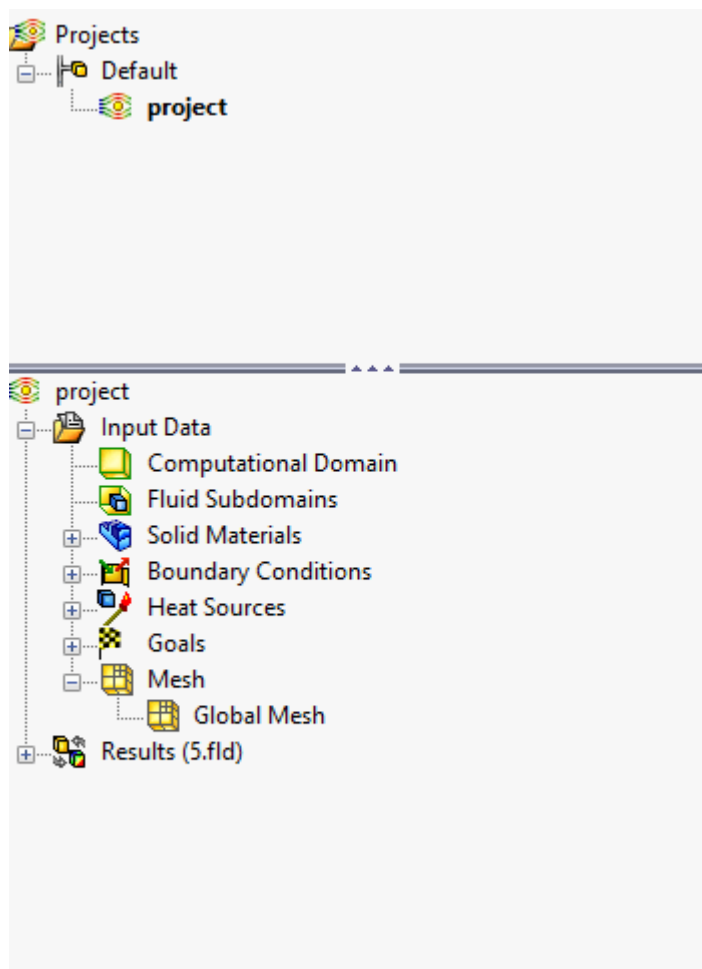


Kuva 13. Valitaan seinän lämmönjohtavuuden arvo (SolidWorks 2017)

Seuraavassa välilehdessä valitaan ilman alkulämpötila ja valitaan ”Finish”, jonka jälkeen ohjelma luo uuden Flow simulaatio analyysin.

## 6.2 Materiaalien määrittäminen

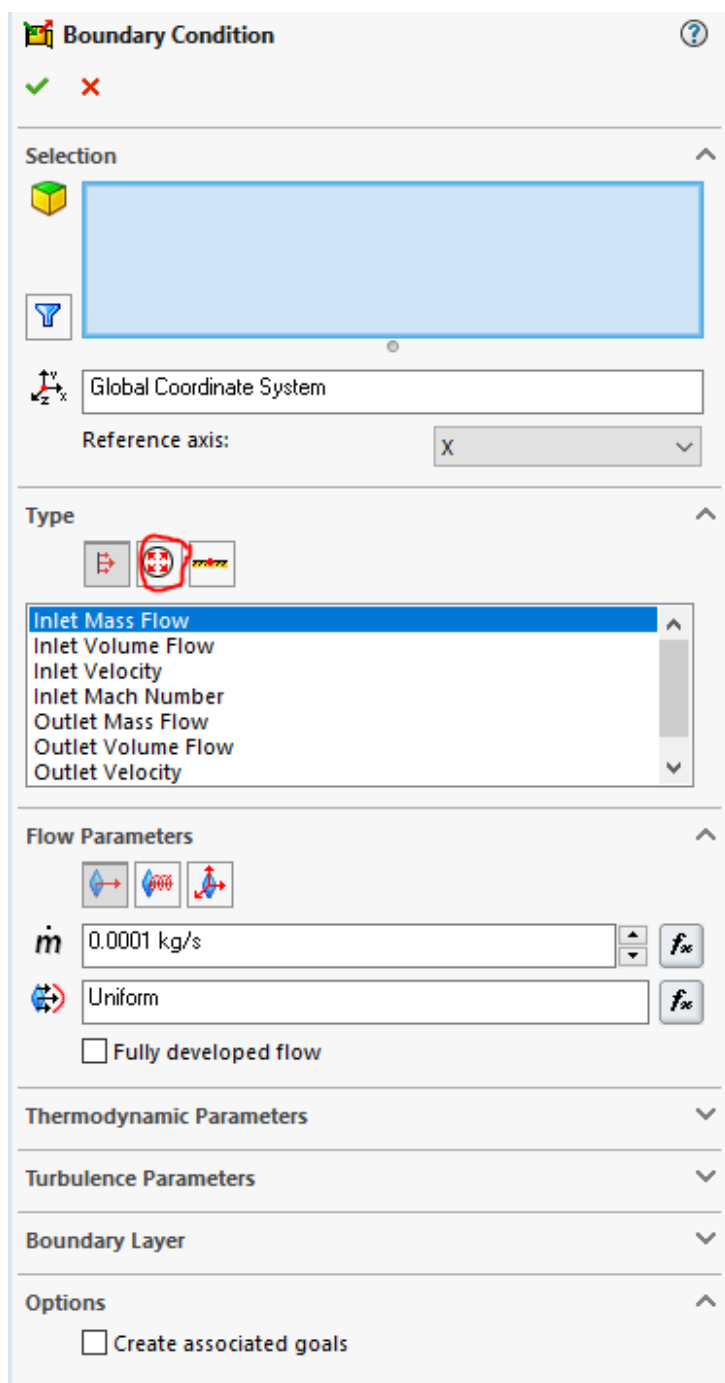
Ohjelman luomassa projektipuussa (Kuva 14) määritetään ”Solid Materials”, eli annetaan lämmönlähteille ja muuntamon pohjalle oma materiaali. (SolidWorks Tutorial 2019.)



Kuva 14. Projektipuu (SolidWorks 2017)

## 6.3 Raja-arvojen määrittäminen

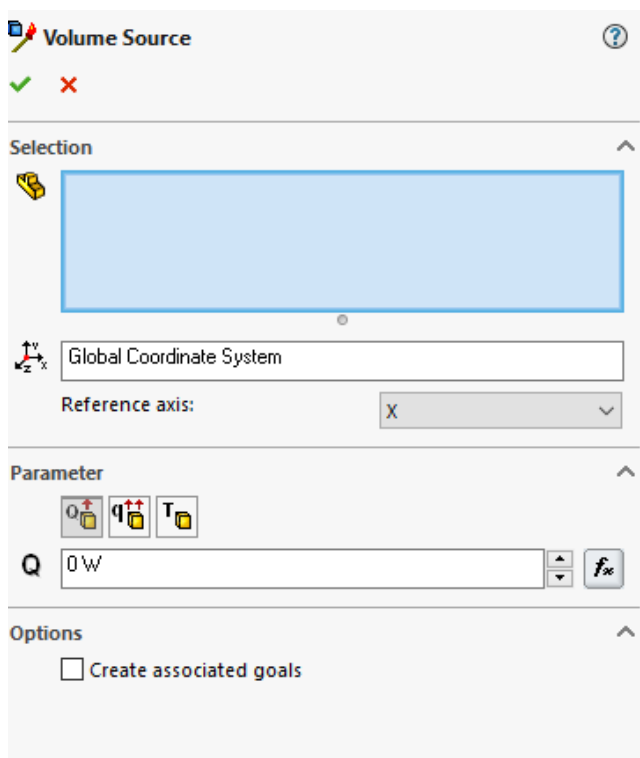
Raja-arvot määritetään (Kuva 14) projektipuun ”Boundary Conditions” kohdassa. Valitaan pinnat, joista halutaan ilman kulkevan muuntamosta sisään tai muuntamosta ulos. Kohdassa ”Type” valitaan ”Pressure Openings” (Kuva 15) ja luodaan projektin raja-arvot. (SolidWorks Tutorial 2019.)



Kuva 15. Määritellään pinnat, joista ilma virtaa muuntamosta sisään tai ulos (SolidWorks 2017)

#### 6.4 Lämpölähteiden määrittäminen

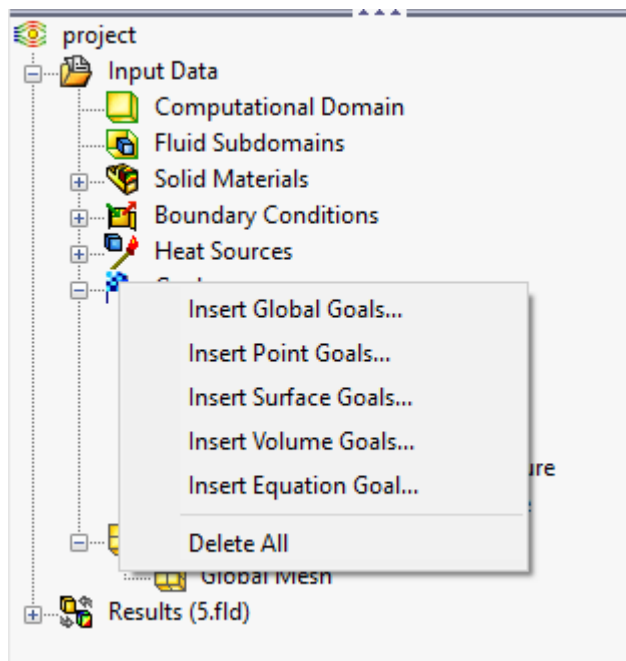
Seuraavaksi määritellään projektin lämpölähteet (Kuva 15) ”Heat Sources”. Muuntamossa on sisällä muuntaja, joka lämpenee ja PJ- tilassa kiskosto, joka lämpenee. Valitaan ”Volume Source” (kuva 16) ja annetaan lämpölähteille teho arvot. (SolidWorks Tutorial 2019.)



Kuva 16. Annetaan lämpölähteille teho arvot (SolidWorks 2017)

#### 6.5 Mitattavien tavoitteiden määrittäminen

Seuraavaksi määritellään projektiin ”Goals” (Kuva 14) kohtaan eri mitattavat tavoitteet. Luodaan lämmön lähteille omat mitattavat tavoitteet (Kuva 17) valitsemalla ”Insert Volume Goals” projektiin tulee molemmille lämmön lähteille omat mitattavat tavoitteet. Tämän jälkeen valitaan ”Insert Surface Goals” (Kuva 17) ja määritetään mistä ilma tulee sisään muuntajaan ja mistä se poistuu muuntajasta. Tämän jälkeen valitaan ”Insert Global Goals” (Kuva 17) ja luodaan ilman lämpötilalle oma mittaus ja paineelle mittaus. (SolidWorks Tutorial 2019.)

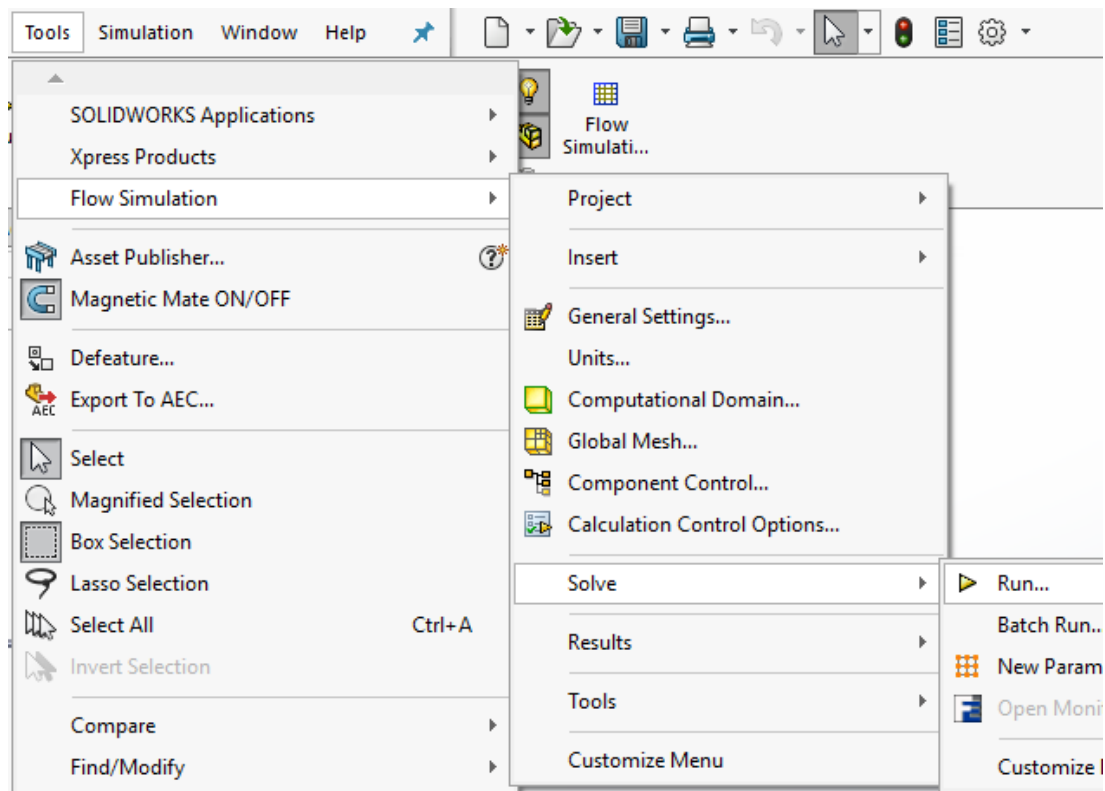


Kuva 17. Mitattavien tavoitteiden määrittäminen (SolidWorks 2017)

## 6.6 Simulaation ratkaiseminen

Simulaation tekemisessä siirrytään seuraavaksi määrittämään simulaation tarkkuutta sen jälkeen, kun kaikki ”Goals” on luotu. Simulaation tarkkuus määritellään ”Mesh” (kuva 17) kohdassa ja luodaan ”Global Mesh” ja annetaan sille sopiva tarkkuus. Tämän jälkeen valitaan työkaluriviltä ”tools”. Aukeavasta valikosta (Kuva 18) valitaan ”Flow Simulation” ja edelleen ”solve” ja ”run”. (SolidWorks Tutorial 2019.)





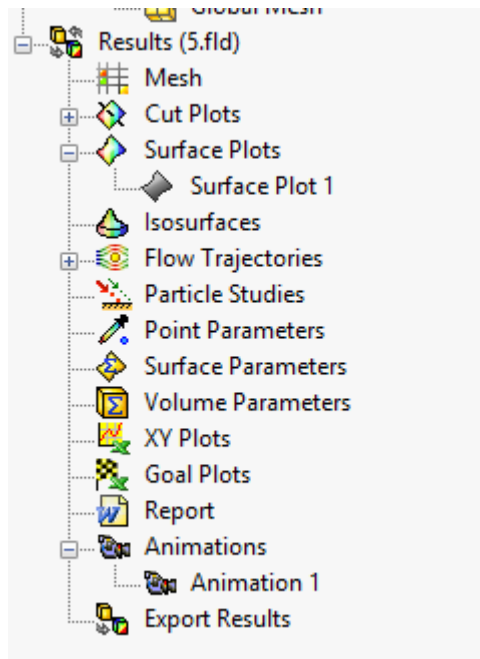
Kuva 18. Simulaation ratkaiseminen (SolidWorks 2017)

## 6.7 Simuloinnin tulokset

Koneen suoritettua simulaation annettujen arvojen perusteella voidaan tuloksissa (Kuva 19) tarkastella "Cut Plots", eli poikkileikkausta halusta kohtaa kappaletta. Poikkileikkauksessa saadaan näkymään muuntamon sisälämpötila halutulta korkeudelta ja halutulta suunnalta. (SolidWorks Tutorial 2019.)

Muuntamon ulkolämpötila saadaan näkymään "Surface Plots" työkalulla (kuva 19). Tämän työkalun avulla voidaan tarkastella muuntamon ulkolämpötilaa halutulta korkeudelta. (SolidWorks Tutorial 2019.)

Ilmanvirtaukset muuntamon sisällä saadaan näkyviin "Flow Trajectories" työkalulla (Kuva 19). Tämän työkalun avulla nähdään, miten lämmin ilma käyttäytyy muuntamon sisällä ja mistä kohtaa se poistuu muuntamosta. (SolidWorks Tutorial 2019.)



Kuva 19. Simuloinnin tulokset (SolidWorks 2017)

## 7 SIMULOINTIEN ETENEMINEN

### 7.1 Simulointi malli 1

Muuntamon kokoonpano pohja saatiin yrityksestä. Tämä kokoonpano koostui noin 150 alikokoonpanosta ja vähintään yhtä monesta erikseen mallinnetusta osasta. Tämän seurauksena muuntamon saaminen siihen kuntoon, että siitä saatiin simulaatio toimimaan, vei hyvin paljon aikaa. Kokoonpanoon oli mallinnettu kaikki osat pienistä pulteista ja niiteistä lähtien. Tämä oli hyvin ongelmallista ja juuri tästä johtuen muuntamossa oli aukkoja, joista ilma pääsi vapaasti virtaamaan ja simulaatiota ei saanut toimimaan sen vuoksi. Ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan edellä mainittujen eri työkalujen avulla. Tämä oli todella aikaa vievä urakka, koska jokaisen aukon paikannuksessa meni aina 5-10 minuuttia, kun ohjelman laski missä on aukko, josta ilma virtaa pois muuntamosta. Eikä asiaa helpottanut projektin suuri koko ja aliprojektien suuri määrä. Noin puolentoista viikon työn jälkeen saatiin kokoonpanosta tehtyä sellaisen versio, jolla Flow Simulaatio saatiin toimimaan. Tässä versiossa kuitenkin simulaation laskenta aika vaihteli 200 ja 300 tunnin välillä ja muutaman päivän laskennan jälkeen ohjelmisto kaatui.

### 7.2 Simulointi malli 2

Ongelmaa lähdettiin hakemaan ratkaisua poistamalla turhia osia muuntamon sisällä ja vähentämällä aliprojektien määrää. Tämän jälkeen, jouduttiin aloittamaan reikien paikannuksen uudestaan, koska projektista poistettiin kaikki pultit ja turhaksi kokeetut osat muuntamon sisältä. Tämä prosessi vei taas muutaman viikon verran aikaa, koska jokaisen poistetun pultin ja niitin tilalla oli nyt reikä mikä piti täyttää, jotta simulaatio saataisiin toimimaan. Lopulta simulaatio suoritettiin onnistuneesti muunnetulla ja karmitulla muuntamo versiolla. Tässä versiossa laskettavan alueen ”Mesh” tarkkuus oli noin neljän senttimetrin luokkaa mikä tarkoitti, että ohjelma jättää huomioimatta kaikki alle neljä senttimetriä olevat määrittelemättömät aukot. Tästä huolimatta kyseisessä versiossa oli silti aliprojekteja yli 100, mutta simulaation laskenta aika oli saatu laskettua alkuperäisestä yli 200 tunnista noin neljään tuntiin.

Tämän jälkeen aloitettiin muuttamaan simulaation arvoja, jotta saisin simulaatio tulokset vastaamaan kesällä paikan päällä tehtyjä mittaus arvoja. Simulaation arvojen saaminen vastaamaan käytännön tuloksia kesti taas parin viikon ajan, koska jokaisen muutoksen jälkeen simulaatio piti suorittaa uudelleen missä kesti aina noin neljä tuntia.

### 7.3 Lopullinen simulointimalli

Simulaatio tulosten vastattua käytännön mittaus tuloksia tehtiin muutamia eri versioita muuntamoon, jotta saataisiin muuntamon sisällä ja ulkopuolella olevia lämpötiloja laskemaan. Muutoksia tehtiin muun muassa muuntamon ulkoseinään, sekä muutettiin muuntamon sisärakennetta. Näiden muutosten tavoitteena oli saada muuntamon sisällä lämmennyt ilma virtaamaan ulos muuntajasta tehokkaammin.

Nämä tulokset käytiin esittämässä työpaikalla ja kerrottiin mitä muutoksia oli tehnyt alkuperäiseen muuntamo versioon. Lisäksi keskusteltiin siitä, kuinka kauan simulaatiot vievät aikaa.

Tämän jälkeen otettiin käyttöön uusi muuntamo version, joka oli hyvin yksinkertainen verrattuna alkuperäiseen versioon, jossa oli jokainen osa mallinnettu mukaan kokoonpanoon. Uusi versio koostui vain yhdestä kappaleesta, johon oli mallinnettu ainoastaan muuntamon ulkoreunat.

Uutta versiota muuntamosta lähdettiin muuttamaan lisäämällä siihen ovet, joita ei vielä kyseiseen versioon oltu keritty tekemään. Muuntamon välikatto, katon ja osan sisäosita lisättiin uuteen versioon. Muuntamon malli ja kaikki kappaleen mitat otettiin alkuperäisestä 150 osan projektista. Uuden muuntamo version vastattua alkuperäistä versiota ulkopuolelta katsottaessa kokoonpano koostui vain 10 eri osasta ja yhdestä alikokoonpanosta. Tämän seurauksena simulaation laskenta-aika pieneni neljästä tunnista noin puoleen tuntiin. Lisäksi uuteen versioon oli paljon yksinkertaisempaa tehdä muutoksia vähäisemmän osamäärän vuoksi.

Uudella versiolla tehtyjä simulointituloksia käytiin jälleen esittelemässä yrityksessä ja päädyttiin siihen tulokseen, että muuntamon rakennetta olisi vieläkin syytä yksinkertaistaa, mikä helpottaisi simulointien tekemistä. Tämän lisäksi esiteltyjen simulointitulosten perusteella löydettiin muutamia parannus ehdotuksia, joita lähdettiin tutkimaan tarkemmin.

Saatujen ohjeiden perusteella tehtiin muutoksia muuntamon rakenteeseen ja yksinkertaistettiin sitä. Tehtiin useita eri versioita simulaatioista. Nämä eri simulaatioiden tulokset kävi vielä esittämässä yrityksessä ja niiden pohjalta laadittiin raportin, josta ilmenee eri simulaatioiden tulokset, lämpötilan muutokset verrattuna alkuperäiseen versioon ja tehdyt muutokset eri simulaatioiden välillä.

## 8 TULOKSET

Simulaatio tulosten pohjalta laadittiin raportti, jossa esiteltiin eri simulaatioiden välillä tehtyjä muutoksia ja niiden vaikutuksia muuntamon sisällä ja ulkopuolella olevaan lämpötilaan. Simulaatioissa tehtyjen muutosten avulla saavutettiin yleisesti vain muutamasta asteen lämpötilan lasku, vaikka muutokset olivat todella suuria.

Päädettiin siihen tulokseen, että yritykseen ei kannata hankkia kyseistä ohjelmaa, koska simulaatioiden kesto on niin suuri ja simulaatio saatiin toimivaan vasta todella yksinkertaistetulla versiolla, jonka tarkkuus oli neljä senttimetriä. Lisäksi muuntamon suuri koko aiheuttaa esteitä tarkkuuden parantamiseksi, koska tämä lisäisi ohjelman simulaatioiden käyttämää laskenta-aikaa huomattavasti. Ohjelma soveltuu parhaiden pienien ja yksinkertaisten kappaleiden ja kokoonpanojen simulointiin, eikä sen käyttäminen ole suositeltavaa tämän kokoluokan kokoonpanoissa.

Opinnäytetyötä tehdessä opin lämpöteorian perusteita. Työtä tehdessäni perehdyin puistomuuntamon toimintaperiaatteisiin. SolidWorks ohjelmassa opin käyttämään Flow Simulation lisäosaa. Sillä opin tekemään simulaatioita, joiden tulosten perusteella pystyttiin analysoimaan mistä kohtaa muuntamo lämpeä sisältä ja kuinka tätä ongelmaa kannattaa lähteä ratkaisemaan. Perehdyin SolidWorks Flow Simulaatiossa eri ongelman ratkaisu työkalujen käyttöön ja lisäksi opin minkälaisia kappaleita ja kokoonpanoja kannattaa mallintaa, mikäli niitä haluaa käyttää Flow Simulaatiossa.

## LÄHTEET

Design engineering www-sivut. 2018. Viitattu 15.12.2018. <https://www.design-engineering.com/solidworks-5-things-to-do-before-every-flow-simulation-analysis-112025/>

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammermekaniikka.

SolidWorks Tutorial. 2019. SolidWorks. Viitattu 20.1.2019. [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com)

SolidWorks www-sivut. 2017. Viitattu 15.11.2018. [http://help.solidworks.com/2017/English/SolidWorks/sldworks/c\\_introduction\\_toplevel\\_topic.htm](http://help.solidworks.com/2017/English/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm)

SolidWorks www-sivut. 2018. Viitattu 15.11.2018. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-flow-simulation#>

SolidWorks 2017.2017. Velizy-Villacoublay: Dassault Systemes.

STUK www-sivut. 2019. Viitattu 20.1.2019. <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/jakelujohdot-ja-muuntamot>

UTU Oy www-sivut. 2019. Viitattu 12.3.2019. <https://www.utu.eu>

Wagner, W. 1988. Lämmönsiirto. Wuzburg: Vogel.