

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka, tuotekehitys

2020

Antti Saari

SKAALAUTUVA 3D-MALLI SOLIDWORKSISSA

– Equations-toiminnon hyödyntäminen

Antti Saari

VAAKATULISTIMEN 3D-MALLI

- skaalautuva malli suunnittelutyön nopeuttamiseksi

Työn tavoitteena oli kehittää Valmet Oyj:n tarpeisiin polttokattilan ns. *vaakatulistimen* 3D-malli, jonka koko ja tyyppi olisivat helposti skaalattavissa ja muokattavissa muutamaa perusparametria muuttamalla. Työkaluna projektissa toimi SolidWorks 2017, jonka on kehittänyt Dassault Systèmes.

SolidWorksia käyttäen luotiin tulistimen perusmalli, josta muokattiin ohjelman oman, sisäisen *Equations*-toiminnon varaan rakentuva ”automaatti”. Automaatti toimii siten, että käyttäjä syöttää pääkokoonpanoon tarvittavat parametrit, kuten putkikoon, tulistinputkien lenkkien määrän, elementtien lukumäärän ja tulistimen tyyppin, minkä jälkeen ohjelma muokkaa mallin halutunlaiseksi ja hakee yhtiön materiaalikirjastosta sopivat valmisosat, kuten oikean kokoiset ripustinrakenteet. Equations-yhtälöt varmistavat sen, että tulistimen muodot noudattavat yrityksen käyttämiä standardeja. Näin syntyy ”tulistinblokki”, jonka monista konfiguraatioista voi valita, onko kyseessä yksittäinen tulistin vaiko suuremman tulistinkokonaisuuden osa. Näitä blokkeja voi halutessaan yhdistellä monilla eri tavoilla.

Lisäksi mallia varten tuli luoda käyttöohje ongelmanratkaisuosioineen. Koska Valmet Oyj:llä on toimipisteitä ja työntekijöitä kymmenissä eri maissa, ohje kirjoitettiin kokonaisuudessaan englannin kielellä. Ohjeessa on aluksi kokeneille suunnittelijoille ja SolidWorks-käyttäjille suunnattu osio, minkä jälkeen siinä selitetään yksityiskohtaisesti, mitä tietyt parametrit tarkoittavat, mihin ja miten ne vaikuttavat, ja miten mahdolliset ongelmat korjataan. Näin myös melko kokematonkin käyttäjä pystyy ohjetta tarkasti seuraamalla luomaan nopeasti projektissa tarvittavan tulistinmallin.

On huomattava, että työ keskittyy ainoastaan toimivan 3D-mallin kehittämiseen. Se ei ota millään tavalla kantaa tulistimen rakenteiden mitoittamiseen tai lujuuslaskelmiin; niiltä osin turvaudutaan täysin Valmet Oyj:n omiin standardeihin ja käytäntöihin.

Opinnäytetyön julkisessa osiossa tarkastellaan Valmetin, Dassault Groupin ja SolidWorksin historiaa, polttokattiloiden ja tulistimien yleisiä toimintaperiaatteita, sekä eräitä työssä käytettyjä mallinnusmenetelmiä – erityisesti SolidWorksin *Equations*-toimintoa, joka jää perusopetuksessa usein vähäiselle huomiolle. Opinnäytössä laadittu malli ja sen käyttöohje on luovutettu vain toimeksiantajan käyttöön.

ASIASANAT:

3D-malli, SolidWorks, Dassault, Equations, yhtälöt, Valmet, tulistin, polttokattila

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering, Product Development

2020 | 47 pages, 47 appendix pages

Antti Saari

HORIZONTAL SUPERHEATER MODEL

- A scaling 3D-model to speed up design work

The goal of the thesis work was to provide Valmet Technologies with a scaling 3D model of a *horizontal superheater* used in many of the company's boiler designs. The modeling program used for this was SolidWorks 2017, owned and developed by Dassault Systèmes. The thesis work consists of the 3D model and a written guide to properly operate the model.

SolidWorks was used to create a basic superheater model, which was then made into an "automaton" by using the program's internal *Equations* feature. In the main assembly the user can then modify a few key parameters, such as the tube size, loop count, number of elements, or the type of the superheater. After this SolidWorks modifies the model in the desired fashion, creating a properly shaped tube system and retrieving the proper library components from the company's database. The equations ensure that the size and shape of the superheater comply with the company's standards. This creates a "superheater block" with several pre-made configurations that enable it to be used either as a single superheater or as a part of a larger superheater assembly. These blocks can be multiplied, modified and combined in various ways.

In addition, a user's manual for the model had to be created. Because Valmet Oyj has offices and employees in dozens of different countries across the globe, the manual had to be written entirely in English. The manual contains a short, "quick start" portion for experienced designers, followed by a longer, detailed guide explaining all the key variables and their effects, and a troubleshooting section to deal with commonly encountered issues. This way even an inexperienced SolidWorks user should be able to create a functional superheater model simply by following the instructions.

It should be noted that the thesis work focuses solely on creating a functional 3D model and its manual. It does not deal with technical details such as structural integrity calculations or other such matters, instead relying on Valmet's own standards and practices.

Because both the model and the manual are confidential information, they are not included in the public version of the thesis work. Instead the public version casts some light upon the history of Valmet, Dassault Group and SolidWorks, some general principles of boilers and superheaters, and certain special methods used in the modeling work – in particular the *Equations* feature of SolidWorks, which is often given very little attention to during basic modeling courses.

KEYWORDS:

3D model, SolidWorks, Equations, Dassault, Valmet, superheater, boiler

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 VALMET OYJ	8
2.1 Valmetin historia	8
2.2 Valmet nykyään	9
3 DASSAULT GROUP	11
3.1 Marcel Bloch	11
3.2 Marcel Dassault	12
3.3 Dassault Systèmes ja 3D-mallinnuksen aikakausi	15
4 POLTTOKATTILAT	17
4.1 Yleistä polttokattiloista	17
4.2 Tulipesä	18
4.3 Vesikierto	20
5 TULISTIMET	23
5.1 Yleistä	23
5.2 Tulistimen perusrakenne ja toiminta	24
6 MALLINNUSMENETELMISTÄ	26
6.1 Equations	26
6.1.1 Yhtälöiden perustoiminta	26
6.1.2 Muuttujien ja arvojen syöttäminen	28
6.1.3 Muuttujien ja yhtälöiden järjestys ja sen muuttaminen	29
6.1.4 Arvojen siirtäminen kappaleen mittoihin	30
6.2 IIF ja AND -komennot	34
6.3 Sisäkkäiset IIF-komennot	35
6.4 Feature suppression	40
6.5 Konfiguraatiokohtaiset yhtälöt	42
6.6 Valmiskomponenttien ongelmat	43
7 LOPPUSANAT	46
LÄHTEET	47

LIITTEET

Liite 1. Horizontal superheater: user's manual

KUVAT

Kuva 2-1. Valmetin nykyinen logo ja motto. (Kuva: Valmet)	8
Kuva 2-3. Valmet Advantage DCT200 -pehmapaperikone. (Kuva: Valmet).....	9
Kuva 2-4. Sellu ja energia (Kuva: Valmet).....	10
Kuva 3-1. Dassault Aviationin logo. (Kuva: Dassault Aviation)	11
Kuva 3-2. Marcel Bloch, myöh. Marcel Dassault. (Kuva: Dassault Aviation)	11
Kuva 3-3. <i>MD 450 Ouragan</i> . (Kuva: Dassault Aviation).....	13
Kuva 3-4. <i>Falcon 10</i> -suihkukone. (Kuva: Dassault Aviation)	14
Kuva 3-5. <i>Dassault Mirage IV</i> . (Kuva: Dassault Aviation).....	14
Kuva 3-6. <i>Dassault Rafale</i> . (Kuva: Dassault Aviation).....	15
Kuva 3-7. Dassault Systèmesin logo. (Kuva: Dassault Systèmes)	16
Kuva 3-8. Marcel Dassault kokeilemassa CATIAa. (Kuva: Dassault Systèmes).....	16
Kuva 3-9. Jon Hirschtick, SolidWorksin luoja. (Kuva: SiliconANGLE).....	16
Kuva 4-1. Valmetin Stora Ensolle toimittama kattila. V (Kuva: Valmet)	17
Kuva 4-2. Metsä Groupin moderni biotuotelaitos (Kuva: Valmet)	18
Kuva 4-3. Leijupetikattilan toimintaperiaate. (Kuva: Valmet).....	18
Kuva 4-4. Palamisprosessi CYMIC-kattilassa. (Kuva: Valmet)	19
Kuva 4-5. Kattilan vesi- ja tulistinkierto. (Kuva: Valmet)	20
Kuva 4-6. Membraaniseinän rakenne. (Kuva: Valmet)	21
Kuva 4-7. Malli lieriöstä sisuskaluineen. (Kuva: Valmet)	21
Kuva 4-8. Tyypillisen lieriön poikkileikkaus. (Kuva: Babcock & Wilcox)	22
Kuva 5-1. Tulistimien tyypillinen sijainti. (Kuva: Valmet).....	23
Kuva 5-2. Tulistinputkistoja valmistusvaiheessa. (Kuva: Valmet)	24
Kuva 6-1. Equations-vaihtoehdon ilmestyminen.....	27
Kuva 6-2. Equations-ikkunan perusnäkyvä.	27
Kuva 6-3. Part-tiedoston (vas.) ja Assembly-tiedoston yhtälönäkymät.	27
Kuva 6-4. Muuttujien ja arvojen syöttäminen.....	28
Kuva 6-5. Automatic solve order.	29
Kuva 6-6. <i>Ordered view</i> -välilehti ja Yhtälöiden järjestyksen muuttaminen.	29
Kuva 6-7. Mittojen tuominen näkyviin <i>Show Feature Dimensions</i> -vaihtoehdolla.	30
Kuva 6-8. Mitan määrittely muuttujan avulla.....	30
Kuva 6-9. Punainen Σ -merkki kertoo, että mittaa hallitsee yhtälö.....	31
Kuva 6-10. Pursotuksen mitan sitominen yhtälöihin.	31
Kuva 6-11. Automatically rebuild -vaihtoehto.	31
Kuva 6-12. Yhtälöiden hallitsema kolmiulotteinen kappale.	32
Kuva 6-13. Yhtälön deaktivointi <i>Disable Equation</i> -komennolla.....	32
Kuva 6-14. <i>Ordered view</i> -näkyvä ja yhtälön aktivointi <i>Enable Equation</i> -komennolla.....	33
Kuva 6-15. Muuttujan arvon määrittely mitan avulla.....	33
Kuva 6-16. Σ -merkki on kadonnut ensimmäisestä mitasta.....	33

Kuva 6-17. Automaattinen valikko.....	34
Kuva 6-18. Esimerkkiyhtälöt.....	36
Kuva 6-19. Tulistinelementin lenkkimäärän laskeminen.	37
Kuva 6-20. Esimerkki yhden osatiedoston yhtälöistä.....	39
Kuva 6-21. Uusi piirre ja sen näkyvyyttä kontrolloiva yhtälö.	40
Kuva 6-22. C:n mitta on nyt alle 6, joten Boss-Extrude2 on suppressoitu.....	40
Kuva 6-23. Komennon valinta itsestään ilmaantuvasta valikosta.....	41
Kuva 6-24. Numeroiden 0 ja 1 käyttäminen.	41
Kuva 6-25. Erilaisten piirteiden hallitseminen.	41
Kuva 6-26. Yhtälön hallitsemien konfiguraatioiden valinta.....	42
Kuva 6-27. Konfiguraation vaihtaminen Equations-ikkunassa.....	42
Kuva 6-28. Putken konfiguraatiokohtaisen pituuden laskevat yhtälöt.	43
Kuva 6-29. Kannatinelementtikokoonpanon yhtälöiden eroavaisuuksia.	45

Kaikki SolidWorks-ohjelmasta otetut kuvankaappaukset luvussa 6 on, mikäli muuta ei ole mainittu, ottanut opinnäytetyön tekijä itse luomistaan 3D-malleista.

1 JOHDANTO

Tehtävänantona oli selvittää, voisiko *SolidWorks*-ohjelmaa käyttäen luoda Valmet Technologies Oyj:n polttokattiloissa käytettävästä tyypillisestä *vaakatulistimesta* 3D-malli, jota olisi muutamaa perusparametria muuttamalla helppo skaalata moneen eri kokoon. Vaakatulistin saa nimensä siitä, että sen putket kulkevat vaakatasossa savukaasukanavan poikki sen sijaan, että ne roikkuisivat katosta, kuten jotkin muut tulistintyyppit.

Valmetilla on entuudestaan "automaatteja", jotka luovat perusmallin joistakin samankaltaisista laitteista, mutta ei juuri tähän tarkoitukseen. Useimmiten nämä automaattit ovat hyvin raskaita; mallin generoiminen kestää kauan, ja prosessi kaatuu helposti. Ne tapaavat myös olla sidoksissa muihin ohjelmiin, kuten Excelliin, mikä saattaa joissakin tapauksissa tuottaa yhteensopivuusongelmia.

Näiden automaattien ohjelmointilogiikkaan perehtyminen käytettävissä olleessa ajassa olisi kuitenkin ollut ylivoimainen tehtävä. Niinpä eräs suunnittelun peruslähtökohdista oli pyrkiä tekemään malli, joka toimisi kokonaan SolidWorksin sisällä sen omia ominaisuuksia hyödyntäen ja ilman Excelin kaltaisia ulkopuolisia ohjelmia.

Projektin edetessä perehdyttiin erityisesti SolidWorksin omaan yhtälötoimintoon (*Equations*) ja sen käyttömahdollisuuksiin. *Equations*-toimintoa käyttämällä on mahdollista luoda hyvinkin monimuotoisia piirteitä, jotka muuttavat kokoaan ja muotoaan vain muutamaa perusparametriä muuttamalla.

Tietosuojasyistä kaikkia mallin yksityiskohtia ei voida käsitellä, mutta sen sijaan mallinnusmenetelmiä käsittelevässä luvussa luodaan silmäys SolidWorksin *Equations*-toiminnon edistyneempiin käyttömahdollisuuksiin.

2 VALMET OYJ

Tässä luvussa luodaan katsaus työn tilaajaan, Valmetiin.



Kuva 2-1. Valmetin nykyinen logo ja motto (Valmet).

Valmet Oyj (kuva 2-1) on suomalainen suuryritys, jolla on yli 13 000 työntekijää yli 30 maassa. Valmetin toimialaan kuuluvat teollisuustuotteet ja -palvelut, kuten sellu- ja paperiteollisuus, voimalaitokset ja automaattoratkaisut.

Vuonna 2018 Valmetin liikevaihto oli yli 3,3 miljardia euroa, ja se on omalla alallaan yksi maailman merkittävimmistä yrityksistä. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Espoossa, ja sen toimitusjohtajana on vuodesta 2014 toiminut Pasi Laine (s. 1963). Valmetin suurin omistaja taas on Suomen valtio sijoitusyhtiö Solidiumin kautta. (Valmet.)

2.1 Valmetin historia

Valmet – jonka nimi tulee sanoista ”Valtion Metallitehtaat” – on aikojen saatossa kokenut monenlaisia muodonmuutoksia. Yhteensä Valmetilla voidaan kuitenkin katsoa olevan yli 200 vuotta historiaa, sillä jo 1750-luvulla toimi Suomenlinnan linnoituksessa pieni allastelakka, joka päättyi 1900-luvun alussa Suomen valtion omistukseen. Monet muutkin sittemmin osaksi Valmetia tulleet yritykset ovat syntyneet jo 1700- tai 1800-luvulla, jotkut niistä ulkomailla. Vuonna 1946 monet jo ennestään Suomen valtion omistuksessa olleet metallitehtaat yhdistettiin Valtion Metallitehtaiksi, josta vuonna 1951 tuli Valmet Oy.

Paperikoneilla maailmanmaineeseen

Valmetin tuotevalikoima on aikojen saatossa käsittänyt mm. laivoja, lentokoneita, aseita, vetureita, traktoreita, laivamoottoreita ja hissejä. Ensimmäisen paperikoneensa Valmet toimitti vuonna 1953, ja nousi kansainvälisesti merkittäväksi toimijaksi 1960-luvulla toimitettuaan useita paperikoneita maailman johtaviin teollisuusmaihiin.

1980- ja 1990-luvulla Valmet keskittyi entistä voimakkaammin paperikoneisiin ja niihin liittyvään teknologiaan, ja hankki omistukseensa useita alan yrityksiä, kuten Wärtsilän Järvenpäässä toimineen paperin jälkikäsittelylaitteita valmistavan yksikön, kartonkikoneita valmistavan Tampella Papertechin, ja ruotsalaisen Karlstads Mekaniska Werkstadin (KMW). Vastaavasti Valmet luopui mm. laivojen, hissien ja kiskokaluston sekä kuuluisien traktoreidensa valmistuksesta.

Nykyäänkin useimmat ihmiset yhdistänevät Valmetin nimen erityisesti traktoreihin ja paperikoneisiin. Vaikka traktoreiden valmistus loppui jo 1995, on Valmet edelleen yksi maailman johtavista paperikonevalmistajista (kuva 2-2). Vaikka digitalisaatio on jonkin verran vähentänyt perinteisen paperin kulutusta, on paino vastaavasti siirtymässä kartonkeihin. Tätä nykyä suuri mielenkiinto kohdistuu esimerkiksi uusiin pakkausmateriaaleihin, joilla pyritään korvaamaan muovien käyttöä. Eikä perinteinen paperikaan ole kokonaan katoamassa.



Kuva 2-2. Valmet Advantage DCT200 -pehmopaperikone (Valmet).

2.2 Valmet nykyään

Vuonna 1999 Valmet ja Rauma Oyj fuusioituvat yhteen, ja tuloksena syntyi Metso Oyj. Metson osana ollessaan Valmet laajeni edelleen ostamalla vuonna 2006 norjalaisen

Aker Kvaerner ASA:n Pulping- ja Power -liiketoiminnot ja vuonna 2009 Tamfelt Oyj:n, yhden maailman merkittävimmistä teknisten tekstiilien toimittajista.

Valmet nykyisessä muodossaan, Valmet Oyj, syntyi vuonna 2013, kun Metso Oyj päätti jakautua kahdeksi erilliseksi pörssiyhtiöksi. Tällöin sellu-, paperi- ja energialiiketoiminnot (kuva 2.3) irtautuivat omaksi kokonaisuudekseen Valmetin alaisuuteen, kun taas kaivostoiminta, maarakennus ja automaatio jäivät Metsolle. Vuonna 2015 Valmet osti Metson Prosessiautomaatiojärjestelmät-liiketoiminnan. (Valmet.)

Tätä nykyä Valmetilla on neljä liiketoimintalinjaa:

- Palvelut
- Sellu ja energia
- Paperit
- Automaatio

Vuonna 2019 Valmet laajeni edelleen ostamalla GL&V:n (Groupe LaPerrière & Verreault), kanadalaisen sellu- ja paperialan yrityksen. (Valmet.)



Kuva 2-3. Sellu ja energia on Valmetin merkittävimpiä liiketoimintalinjoja (Valmet).

3 DASSAULT GROUP

Tärkein työssä käytetty ohjelma on SolidWorks. Se on virtuaaliseen 3D-mallinnukseen tarkoitettu ohjelma, jonka on vuodesta 1997 omistanut ranskalainen Dassault Systèmes. Yhtiö on perustettu vuonna 1981 ja se on osa Dassault Groupia, jonka vanhin ja tunnetuin osa on Dassault Aviation (kuva 3-1). Se on yksi Ranskan merkittävimmistä ilmailualan yrityksistä, joka tunnetaan erityisesti Mirage- ja Rafale-hävittäjistään. Kun puhutaan Dassaultista, tarkoitetaan yleensä nimenomaan Dassault Aviationia.

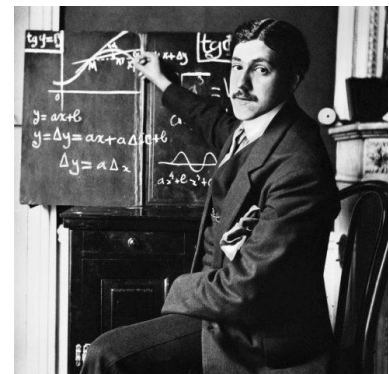


Kuva 3-1. Dassault Aviationin logo (Dassault Aviation).

Dassaultilla on pitkä ja mielenkiintoinen historia, joka juontaa juurensa 1900-luvun alkuvuosikymmenille.

3.1 Marcel Bloch

Dassault Group (myös Groupe Dassault tai Groupe Industriel Marcel Dassault S.A. eli GIMD) sai alkunsa vuonna 1929, kun ranskalainen insinööri Marcel Bloch (1892-1986, kuva 3-2) perusti lentokoneita suunnittelevan ja valmistavan yrityksen nimeltä Société des Avions Marcel Bloch. Marcel Blochin nimestä juontuu monien yhtiön valmistamien konetyyppien nimen MB-etuliite. Bloch oli aloittanut uransa lentokonesuunnittelun parissa jo ensimmäisen maailmansodan aikana suunnittelemalla potkureita hävittäjiin. Hänen opiskellessaan nuorempana SupAérossa (Ecole Supérieure d'Aéronautique), ranskalaisessa ilmailutekniikan korkeakoulussa, oli hänen luokkatoverinaan venäläinen Mikhail Gurevich, joka oli myöhemmin avainasemassa kuuluisaa neuvostoliittolaista MiG-lentokonesarjaa kehitettäessä. (Aloni 2010, 8.)



Kuva 3-2. Marcel Bloch, myöh. Marcel Dassault (Dassault Aviation).

Toinen maailmansota

Toinen maailmansota ravisteli Eurooppaa vuosina 1939-1945. Kaksi tuolloisen maailmanajan häikäilemättömintä diktaattoria, Neuvostoliiton Josif Stalin ja Saksan Adolf Hitler, solmivat yllättäen keskenään ns. Molotov-Ribbentrop -sopimuksen, jakoivat Euroopan etupiireihinsä ja ryhtyivät yksissä tuumin valloitusotiin. Ensimmäisenä kaatui Puola, jonka kimppuun käytiin molemmilta suunnilta. Myöhemmin samana vuonna, 1939, joutui Suomi Neuvostoliiton valloitusyrityksen kohteeksi. Tämä taistelu tunnetaan paremmin nimellä Talvisota.

Keväällä 1940 tuli Ranskan vuoro. Länsiliittoutuneet olivat varautuneet maasotaan laiskanlaisesti; Britannian pääministeri Chamberlain oli viimeiseen saakka uskonut sopimusten voimaan, ja ranskalaiset taas uskoivat Ranskan ja Saksan rajalle rakennetun mahtavan Maginot-linnoitusketjun olevan läpäisemätön. Mutta Saksa kiersikin koko puolustuslinjan ja hyökkäsi pehmeimmästä kohdasta Belgian ja Alankomaiden läpi. Salamasotataktiikka yllätti länsiliittoutuneet täydellisesti; lyhyessä ajassa Ranska löytiin perin pohjin, ja Dunkerquen rantakaistaleelle yhdessä Ranskan armeijan rippeiden kanssa saaretut britit joutuivat evakuoimaan joukkonsa mannermaalta Britanniaan välttääkseen armeijansa täydellisen tuhon. Ranska joutui antautumaan Saksalle ja miehitetiin. (Bauer 1973.)

Blochin sota

Miehittäjät pyrkivät ottamaan haltuunsa Ranskan merkittävimmät yritykset ja teollisuuslaitokset, ja näihin lukeutui myös Marcel Blochin yhtiö. Vahvasti isänmaallinen Bloch kuitenkin vastusti kollaboraatiota ja kieltäytyi yhteistyöstä miehittäjien kanssa, minkä vuoksi hän joutui järjestelmän hampaisiin. Hän vietti ensin vuosia Vichyn hallituksen vankina, kunnes hänet vuonna 1944 siirrettiin Buchenwaldin keskitysleirille. Siellä hän pysyi, kunnes liittoutuneiden joukot vapauttivat leirin vuonna 1945. Tuolloin jo keski-ikäinen Bloch oli vankeusaikanaan kokemansa pahoinpitelyn jäljiltä niin heikossa kunnossa, että pystyi vapauduttuaan hädin tuskin kävelemään, eivätkä lääkärit ennustaneet hänen elävän enää pitkään. Hän kuitenkin toipui ja eli 94-vuotiaaksi.

3.2 Marcel Dassault

Marcel Blochin veli, kenraali Darius Paul Bloch (1882-1969), oli tällä välin käynyt sotaa hänkin. Saksalais miehityksen aikana hän toimi Ranskan vastarintaliikkeessä, jossa hän

oli saanut lisänimen "Dassault"; se oli hänelle "nom de guerre" eli "soturinimi" – eräänlainen alias tai lisänimi, jollaisia taitaville sotilaille ja johtajille usein annetaan. Nimi juontuu panssari- tai taisteluvaunua tarkoittavasta termistä *char d'assaut*.

Kunnioittaakseen Dariuksen sankaritekoja Blochin perhe muutti sodan jälkeen sukunimensä Dassaultiksi. Sitä myöten myös yhtiön nimi muuttui vuonna 1947 muotoon Avions Marcel Dassault ja lentokoneiden etuliite MB muotoon MD.

Sodanjälkeinen aika

Dassaultin yhtiöstä tuli yksi Ranskan merkittävimmistä puolustusvälinevalmistajista erityisesti hävittäjien saralla. Ranskan ilmavoimien ensimmäinen suihkühävittäjä, MD 450 Ouragan (kuva 3-3), oli Dassaultin tuote, kuten oli myös Ouraganista jatkokehitetty MD 452 Mystère, joka oli ensimmäinen äänivallin rikkonut ranskalainen lentokone.



Kuva 3-3. MD 450 Ouragan (Dassault Aviation).

Marcel Dassault laajensi toimintaansa myös mm. sanomalehtialalle ja politiikkaan, ja hänelle myönnettiin lopulta Kunnialegioonan suurristi, Ranskan korkein kunnianmerkki, tunnustuksena hänen Ranskan hyväksi tekemästään työstä. (Dassault Aviation A.)

Vuonna 1971 Dassault fuusioiui toisen ranskalaisen lentokonevalmistajan, Bréguet Aviationin, kanssa, jolloin syntyi Avions Marcel Dassault-Breguet Aviation. Vuonna 1990 yhtiö sai nykyisen nimensä: Dassault Aviation S.A.

Marcel Dassaultin kuoltua vuonna 1986 yhtiön ohjat otti käsiinsä hänen poikansa, isänsä tapaan ilmailuinsinööri Serge Dassault (1925-2018). Myös Serge Dassault vaikutti politiikassa; hän toimi Corbeil-Essonnesin pormestarina, ja hänestä tuli myös senaattori, Ranskan parlamentin ylähuoneen jäsen.

Tätä nykyä Dassaultin perhe on yksi Ranskan rikkaimmista, ja se on myös merkittävän ranskalaisen Le Figaro -sanomalehden pääomistaja. Vuodesta 2013 Dassault Aviationin toimitusjohtajana on toiminut Éric Trappier (s. 1960). Dassaultin perhe on silti edelleen Dassault Groupin pääomistaja yli 62%:n osakeosuudella, ja monia sen jäseniä on mukana yhtymän eri yritysten hallituksissa. (MarketScreener 2020.)



Kuva 3-4. *Falcon 10* -suihkukone (Dassault Aviation).

Hävittäjien lisäksi Dassault Aviation on valmistanut lentokoneita myös siviilikäyttöön. Dassaultin siviilikoneista tunnetuimpia ovat Falcon-sarjan yksityissuihkukoneet (kuva 3-4). Dassault on alkanut suunnitella myös avaruusteknologiaa, kuten VEHRA-avaruussukkulaa, joita voisi käyttää monta kertaa.

Vaikka siviili-ilmailu nykyisellään (2/2020) muodostaa yli puolet Dassault Aviationin myynnistä (MarketScreener 2020), yhtiö tunnetaan varmasti paremmin taistelukoneistaan. Sen laajalti tunnettuja hävittäjiä ovat mm. Dassault/Dornier Alpha Jet, Super Étendard ja Dassault Mirage (kuva 3-5) sekä Dassault Rafale (kuva 3-6).

Monet koneet on koeteltu myös tositoimissa; erityisesti Mirage osoitti tehokkuutensa Kuuden päivän sodassa vuonna 1967, kun pääosin Mirage IIIC -hävittäjiä käyttänyt Israel löi suurhyökkäystä valmistelemassa olleen lukumääräisesti monin verroin ylivoimaisen arabiliittouman, jota puolestaan aseisti Neuvostoliitto. Näin eräs ympyrä sulkeutui, kun entisten opiskelutovereiden luomukset, Dassaultin Miraget ja Gurevichin MiG:it, ottivat yhteen Lähi-idän taivaiden alla. Tässä taistelussa Mirage saavutti murskaavan voiton, mikä puolestaan lisäsi sen mainetta ja suosiota ympäri maailmaa. (Aloni 2010, Dassault Aviation B.)



Kuva 3-5. *Dassault Mirage IV* (Dassault Aviation).

Dassault Rafale, jota on harkittu myös Suomen ilmavoimien F-18 Hornet -hävittäjien seuraajaksi, taas edustaa hävittäjien uudempaa sukupolvea. Sen uusin versio on ollut aktiivikäytössä vuodesta 2004 ja toiminut sekä Naton että Ranskan omissa operaatioissa mm. Afganistanissa, Libyassa ja Malissa. Useille Dassaultin koneille tunnusomaista deltasiipeä hyödyntävä Rafale on myös ainoa ei-amerikkalainen hävittäjä, joka pystyy ongelmitta operoimaan yhdysvaltalaisilta lentotukialuksilta. (Dassault Aviation C.)



Kuva 3-6. *Dassault Rafale* (Dassault Aviation).

3.3 Dassault Systèmes ja 3D-mallinnuksen aikakausi

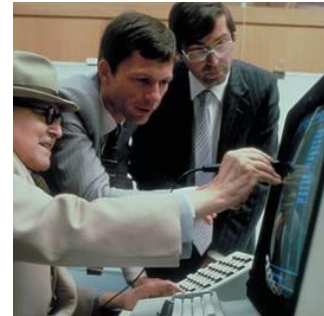
Vuosien varrella Dassault on perustanut tietyille aloille erikoistuneita tytäryhtiöitä tukemaan toimintaansa. Tällainen on esimerkiksi vuonna 1954 perustettu Electronique Marcel Dassault, joka on kehittänyt mm. lentokoneisiin asennettavia tutkajärjestelmiä, ohjusten maalinhakujärjestelmiä sekä suunistus- ja pommitusjärjestelmiä.

Mutta insinöörien maailmassa Dassaultin tytäryhtiöistä tunnetuin lienee vuonna 1981 perustettu Dassault Systèmes, jonka nimenomaisena tarkoituksena oli suunnitella ja kehittää 3D-mallinnusohjelmistoja.



Kuva 3-7. Dassault Systèmesin logo (Dassault Systèmes).

Vuonna 1977 Dassault Aviations alkoi kehittää digitaalisia mallinnusohjelmia yhtiön sisäisenä tuotekehitysohjelmaksi. Tämä johti lopulta siihen, että kehitystyötä tehnyt tiimi erotettiin vuonna 1981 omaksi liiketoimintayksiköksi nimellä Dassault Systèmes (kuva 3-7). Sen ensimmäinen merkittävä tuote oli samana vuonna valmistunut CATIA (*Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée*, kuva 3-8). Melko pian yhtiön ohjelmisto saavutti huomiota ja suosiota monien merkittävien auto- ja lentokonevalmistajien keskuudessa; näihin lukeutuvat mm. Boeing, Honda, BMW ja Mercedes. Tämän seurauksena Dassault Systèmes on laajentanut toimintaansa mm. Saksaan, Yhdysvaltoihin ja Japaniin. Vuosien varrella yhtiö on sekä tuottanut yhä uusia versioita CATIA:sta että ostanut ja sulauttanut itseensä muita saman alan yrityksiä. (Dassault Systèmes.)



Kuva 3-8. Marcel Dassault (vas.) kokeilemassa CATIA-ohjelmaa (Dassault Systèmes).

SolidWorks

SolidWorksin loi alun perin yhdysvaltalainen **Jon Hirschtick** (s. 1962, kuva 3-9), jonka tavoitteena oli kehittää helppokäyttöinen ja edullinen Windows-käyttöjärjestelmän pohjalle rakentuva mallinnusohjelmisto. SolidWorksin ensimmäinen versio ilmestyi vuonna 1995. Vuonna 1997 Dassault Systèmes osti SolidWorksin 318 miljoonalla dollarilla, minkä jälkeen Hirschtick jatkoi yhtiön johtokunnassa vuoteen 2012 kehittäen tuotetta edelleen. Sittemmin Hirschtick perusti muutamien muiden insinöörien kanssa uudentyyppistä pilvitekniikkaa hyödyntäviä mallinnusohjelmia kehittävän yrityksen, joka kantaa nimeä Onshape. (Fortune 2015.)

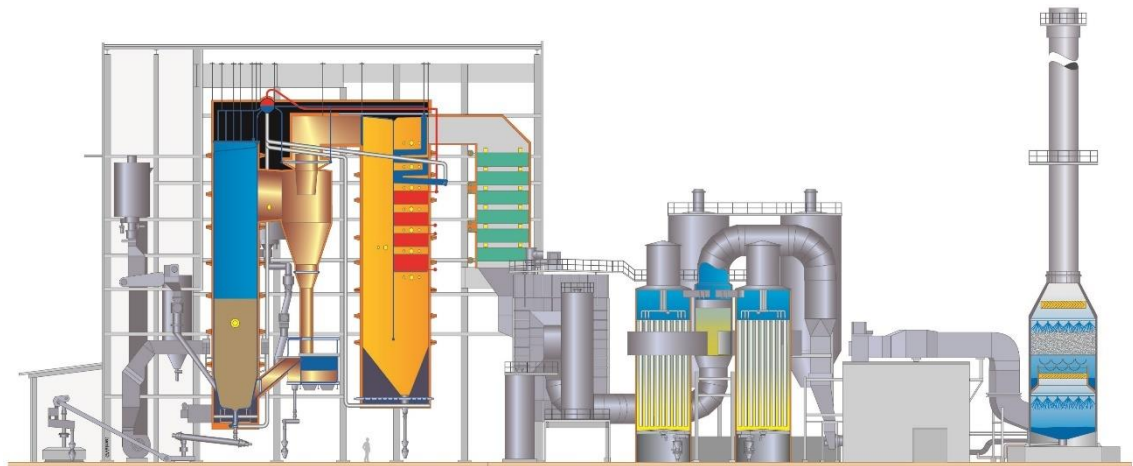


Kuva 3-9. Jon Hirschtick, SolidWorksin luoja (SiliconANGLE).

4 POLTTOKATTILAT

4.1 Yleistä polttokattiloista

Polttokattila (engl. *boiler*) on polttamisesta energiansa tuottavien lämpövoimalaitosten ja teollisuuskompleksien ydin. Kattiloissa poltettava aine voi olla joko erityisesti sitä varten valmistettua (kuten hiili tai pelletit), biomassaa tai muiden prosessien jätteitä, joita ei enää voi järkevästi kierrättää tai hyödyntää muilla tavoin. Tuotettu energia joko muutetaan sähköksi tai hyödynnetään muissa prosesseissa.



Kuva 4-1. Valmetin Stora Enson paperitehtaalle Belgian Langebruggeen toimittama kattila. Varsinainen kattilarakennelma on kuvassa vasemmalla, ja koko oikea puolisko koostuu suodattimista ja puhdistimista. (Valmet.)

Polttokattiloihin liittyy erottamattomasti mielikuva korkeista savupiipuista, joista tupruava musta, nokinen savu saastuttaa ilman ja myrkyttää maat happosateilla. Joskus teollisen vallankumouksen villeinä alkuaikoina näin ehkä olikin, ja niin voi yhä olla sellaisissa maailmankolkissa, joissa ympäristön puhtaudesta huolehtiminen ei ole prioriteettilistan kärkipäässä kulttuurillisista, ideologisista tai taloudellisista syistä johtuen.

Mutta on syytä tiedostaa, että modernia länsimaista huipputekniikkaa edustava laitos (kuvat 4-1 & 4-2) on aivan erilainen kuin kauhukuvien saastuttajat. Huippuunsa jalostettu polttoprosessi on tarkkaan kontrolloitu, jolloin siitä saadaan irti kaikki mahdollinen lämpöenergia. Palokaasuja ei myöskään tupruteta suoraan ilmakehää, vaan ennen savupiippuun päätymistään ne ajetaan läpi monista eri suodattimista ja puhdistimista, jotka mahdollisimman huolellisesti poistavat niistä pienhiukkaset ja myrkylliset

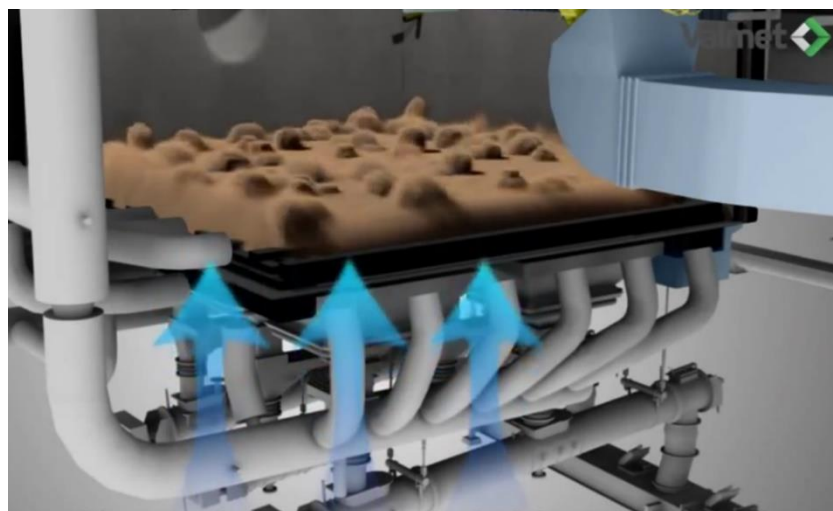
kemikaalit. Lopputuloksena polttoprosessin päästöt saadaan niin alas kuin on teknisesti ottaen mahdollista. Näin voidaan hyödyntää kaikki poltettavaksi kelpaava materiaali kuormittamatta kuitenkaan ympäristöä liikaa.



Kuva 4-2. Metsä Groupin moderni biotuotelaite käyttää Valmetin polttokattilaa (Valmet).

4.2 Tulipesä

Modernin polttokattilan tulipesän toimintaperiaate itsessään voi jo olla maallikon silmissä hämmästyttävä. Kyseessä ei ole mikään ylisuuri kamiina, jonka pohjalle kipataan hiiliä, halkoja ja jätettä kytemään, vaan monimutkainen ja tarkkaan suunniteltu laite. Esimerkiksi modernissa *leijupetikattilassa* (kuva 4-3) palaminen tapahtuu kirjaimellisesti ilmassa leijuen.

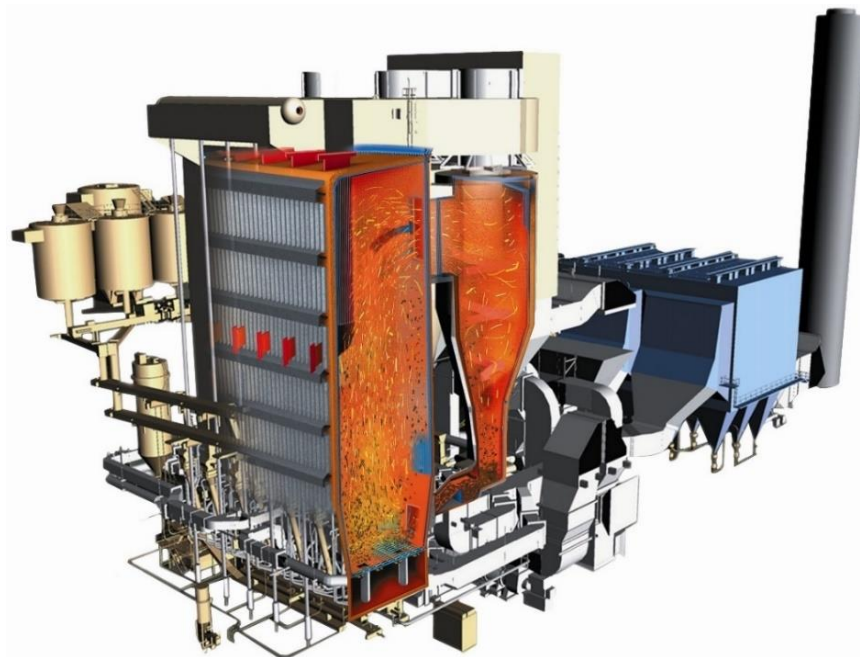


Kuva 4-3. Leijupetikattilan toimintaperiaate (Valmet).

Leijupeti- tai leijukerrostekniikkaa (engl. *fluidized bed combustion*) edustavassa kattilassa kattilan pohjalle puhalletaan alapuolelta ilmaa, jonka muodostamalla ilmapatjalla leijailee paksu kerros erikoishiekkaa. Hiekkaa ilmassa kannatteleva ja sen läpi puskeva ilma saa hiekan käyttäytymään nesteen tavoin; tapahtuu niin sanottu *fluidisaatio*. Hiekka kuumennetaan ensin starttipolttimilla – eräänlaisilla suurilla liekinheittimillä – , minkä jälkeen varsinaista polttoainetta aletaan syöttää hiekan sekaan. Polttoaine on yleensä kiinteää, ja kattilan tyypistä riippuen se voi olla hiiltä, pellettejä, lietettä, jätettä tai näiden sekoitusta; polttoaine on kuivattu ja murskattu murusiksi mahdollisimman tasaisen palamisen varmistamiseksi.

Tulikuuma hiekka paitsi sytyttää polttoaineen lähes välittömästi, myös sitoo massallaan itseensä lämpöenergiaa ja tasaa näin lämpötilavaihteluita, joita etenkin polttoaineen vaihteleva kosteuspitoisuus aiheuttaa. Alta hiekan läpi puskeva ilma taas antaa palamiseen tarvittavaa happea, ja lisää ilmaa syötetään myös ylempää, jotta palamisprosessi olisi mahdollisimman täydellinen.

Leijupetikattilan tulipesässä vallitsee siis käytännössä tulinen hiekkamyrsky (kuva 4-4), joka korventaa hetkessä kaiken sinne päätyvän. Kun varsinainen polttoaine on saatu syttymään ja palamisprosessi on näin päässyt alkuun, voidaan starttipolttimet sammuttaa, ja palaminen jatkuu sen jälkeen itsestään. Ilman syöttäminen jatkuu toki edelleen, koska tehokas palamisprosessi tarvitsee paljon happea.

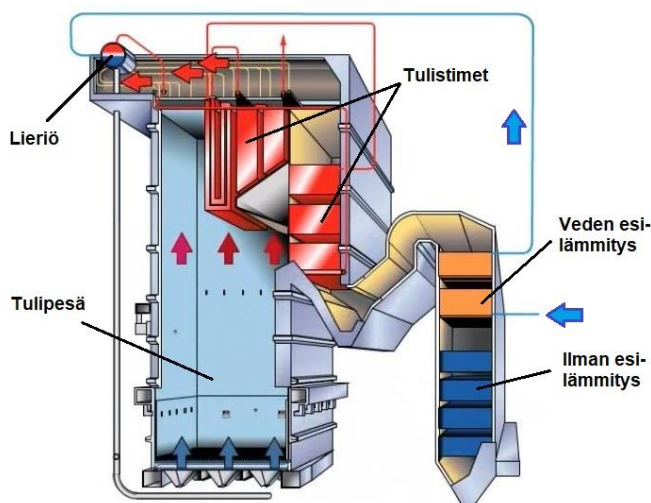


Kuva 4-4. Palamisprosessi CYMIC-kattilassa (Valmet).

4.3 Vesikierto

Polttokattilan tarkasta tyylistä riippumatta on kaikkien laitosten toimintaperiaate kuitenkin samankaltainen: polttamisesta syntyvällä lämmöllä kuumennetaan vettä, josta muodostunut höyry ajetaan edelleen tulistimiin ja niistä eteenpäin turbiineille, joilla tuotetaan sähköenergiaa. Joissakin tapauksissa kuuma vesi voidaan ohjata myös suoraan kaukolämmön tarpeisiin.

Kattilan suunnittelussa pyritään ns. luonnolliseen vesikiertoon, jossa veden virtaus putkissa perustuu lämpötilaerojen aiheuttamiin tiheyseroihin; viileä vesi valuu tiheämpänä itsestään alas, kun taas kuuma vesi ja höyrykuplat nousevat ylös. Näin vesikierron aktiiviseen ylläpitämiseen ei tarvita pumppuja. Niitä tarvitaan ainoastaan uuden veden syöttämiseen (kuva 4-5).



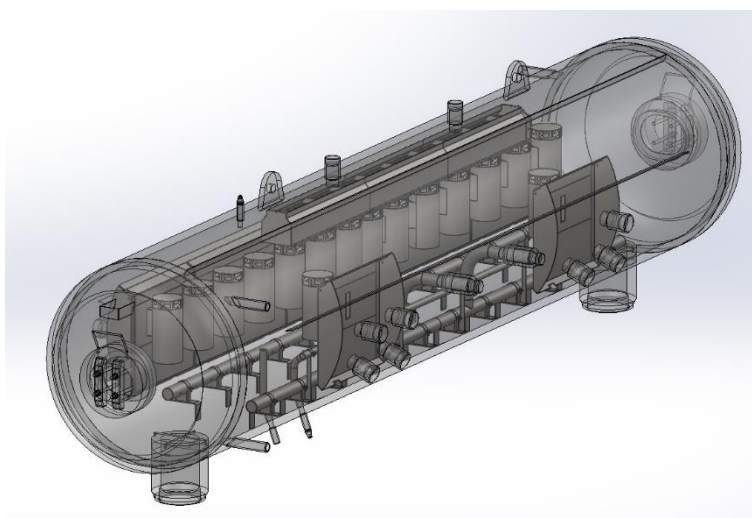
Kuva 4-5. Kattilan vesi- ja tulistinkierto (Valmet).

Kattilan seinämät ovat yleensä niin sanottua membraaniseinää (kuva 4-6). Membraaniseinä koostuu yhteen hitsatuista teräsputkista, joissa kiertää vesi. Polttoprosessissa syntyvät palokaasut, jotka voivat saavuttaa yli 1000 °C:n lämpötilan, nuoleskelevat rakennelman sisäpintaa. Palokaasujen kuumuus ja liekkien lämpösäteily kuumentavat putkissa olevaa vettä, joka puolestaan toimii samalla jäähdyttävänä elementtinä estäen seiniä kuumenemasta liikaa.

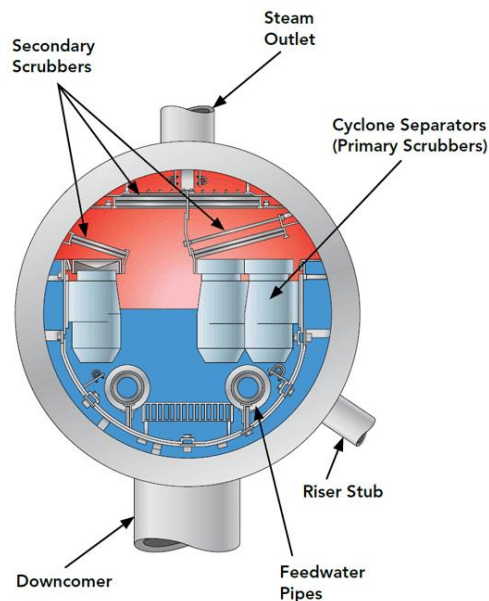


Kuva 4-6. Membraaniseinän rakenne (Valmet).

Näin vesi kuumenee 250-300 °C:een, jolloin sen sekaan muodostuu höyrykuplia. Näin syntynyt veden ja vesihöyryn sekoitus nousee viileämpää vettä kevyempänä itsestään kattilarakennelman yläosissa oleviin kokoojakammioihin, joista se ohjataan edelleen höyrylieriöön (engl. *steam drum*, kuvat 4-7 ja 4-8); se on eräänlainen paineastia, joka sijaitsee vesikierron korkeimmassa kohdassa niin, että vedenpinnan korkeus on tyypillisesti lieriön keskivaiheilla tai hieman sen alapuolella. Lieriö on vesikierron sydän; sen kautta uusi syöttövesi saapuu kiertoon, vanhan veden epäpuhtaudet poistetaan, ja kiehuva vedestä erottunut höyry ohjataan tulistinkiertoon.



Kuva 4-7. Malli lieriöstä sisuskaluineen (Valmet).



Kuva 4-8. Tyypillisen lieriön poikkileikkaus (Babcock & Wilcox).

Lähes 300-asteiseksi kuumentunut vesi syöksyy lieriöön, jossa syklonien ja suodattimien (engl. *cyclones*, *scrubbers*) avulla erotetaan nestemäinen vesi ja vesihöyry toisistaan. Höyry jatkaa matkaansa lieriöstä tulistinkiertoon, kun taas vesi, joka nyt on jo hieman jäähtynyt, valuu laskuputkia (engl. *downcomers*) pitkin alas, josta se ohjataan jälleen seinämäputkiin.

Tulistimissa höyryä kuumennetaan entisestään, jolloin sen energiasisältö kasvaa. Lopulta höyry ohjataan tavallisesti turbiineihin sähköntuotantoa varten. Tästä lisää seuraavassa luvussa.

Vielä tulistimet ohitettuaankin savukaasuissa on yleensä vielä jäljellä paljon lämpöenergiaa, joka luonnollisesti pyritään käyttämään mahdollisimman täysimääräisesti hyväksi esimerkiksi syöttöveden ja palamisilman esilämmityksessä tai toisinaan uuden polttoaineen kuivaamisessa (kuva 4-5). Tämän jälkeen savukaasu kulkee mutkikkaan puhdistusjärjestelmän läpi, jossa sen epäpuhtaudet poistetaan kemiallisilla ja sähköisillä menetelmillä, fyysisillä suodattimilla ja vedellä pesemällä.

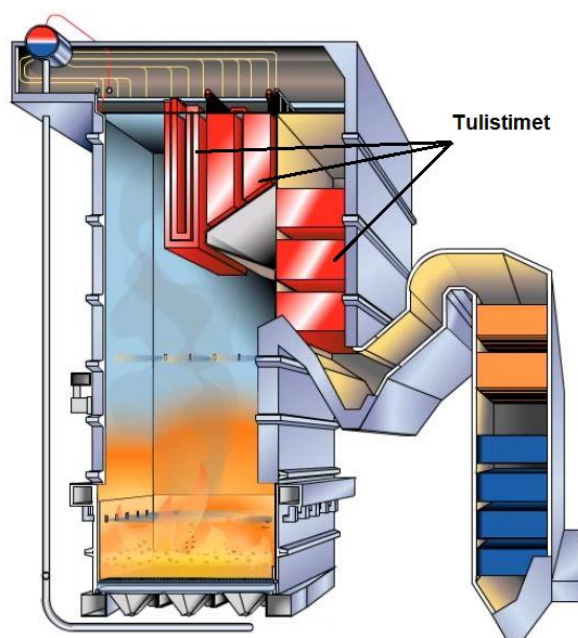
5 TULISTIMET

5.1 Yleistä

Tulistin (engl. *superheater*) on lyhyesti sanottuna laite, jolla kuumasta vedestä erottunutta höyryä kuumennetaan entisestään.

Tulistimen toimintaperiaate on yksinkertainen: höyry, josta ylimääräinen kosteus on ensin poistettu ajamalla se suodattimien läpi, johdetaan putkistoon, jota kuumennetaan ulkopuolelta joko polttoprosessin omaa lämpöä hyödyntäen tai tarvittaessa erillisellä lämmönlähteellä.

Tulistimien sijainti vaihtelee hieman kattilan tyyppin mukaan, mutta ne pyritään tavallisesti sijoittamaan melko lähelle itse tulipesää (kuva 5-1). Ne eivät yleensä ole suoraan kosketuksissa liekkiin, mutta ne altistuvat silti korkeille lämpötiloille ja paloprosessissa syntyville yhdisteille, jotka ajan mittaan syövyttävät metallia aiheuttaen korroosiota. Materiaalivalinnoissa on näin ollen oltava tarkkana. Se, mitä materiaalia tarkkaan ottaen käytetään, riippuu sekä valmistajasta että kattilasta tapauskohtaisesti.



Kuva 5-1. Tulistimien tyypillinen sijainti (Valmet).

5.2 Tulistimen perusrakenne ja toiminta

Tulistimet rakentuvat mutkittelevista putkista (kuva 5-2), joiden sisällä höyry kulkee. Mutkittelun ansiosta tulistinputkistolla on suuri lämmönsiirtopinta-ala.



Kuva 5-2. Tulistinputkistoja valmistusvaiheessa (Valmet).

Putkia lämmitetään ulkopuolelta, jolloin höyry kuumenee entisestään. Toisinaan käytetään esimerkiksi kaasu- tai öljykäyttöisiä apupolttimia, mutta yleisesti ottaen pyritään hyödyntämään polttoprosessin omaa lämpöenergiaa mahdollisimman tehokkaasti. Näin ollen tyypillisessä polttokattilassa tulistinputkistoja lämmitetään ensisijaisesti kattilan omassa palo- ja savukaasuvirrassa, jonka lämpötila voi olla yli tuhat celsiusastetta.

Tulistimien määrä, koko, tyyppi ja sijoittelu vaihtelevat, mutta tyypillisesti tulistinkiertoon kuuluu kuitenkin yhdestä kolmeen tulistinta; puhutaan primääri-, sekundääri- ja tertiääritulistimista. Nimi riippuu siitä, missä järjestyksessä höyry kulkee niiden läpi. Nimensä mukaisesti primääritulistin (engl. *primary*, ensisijainen) tulee vastaan ensimmäisenä.

Höyry kulkee tulistimien kautta tyypillisesti vastavirtaperiaatteella: savukanavan viileämmästä päästä kuljetaan kohti lämpimämpää. Tällöin tulistinputkien sisä- ja ulkopuolen välillä vallitsee jatkuvasti mahdollisimman suuri lämpötilaero, ja lämmönsiirto tapahtuu kaikkein tehokkaimmin. Joissakin tilanteissa – etenkin tulistinkierron

loppupäässä – voidaan käyttää myös myötävirtaperiaatetta, koska tämä tasaa höyryn painetta ja lämpötilaa.

Se, kuinka kuumaksi höyry halutaan, vaihtelee tapauskohtaisesti, mutta sähköntuotannossa turbiiniin päätyvän höyryn lämpötila on yleensä 500-600 °C. Höyryn kuumentessa sen sisältämä energiamäärä moninkertaistuu. Höyry on nyt *tulistettua* (engl. *superheated*); tässä olomuodossa se ei enää ole samanlaista kosteaa vesihöyryä, jota näkee nousevan vaikkapa kuumasta kahvipannusta, vaan ”kuivaa” ja väritöntä kaasua, jolla on suuri energiasisältö.

Tavallisesti höyry kulkee yhdestä tulistimesta poistuttuaan ja ennen seuraavaan tulistimeen siirtymistään lämmönsäätelyjärjestelmän läpi; täällä höyryn lämpötilaa, mikäli se on päässyt liian korkeaksi, tarvittaessa viilennetään ennen sen siirtymistä seuraavaan tulistusvaiheeseen. Viilennys tapahtuu ruiskuttamalla höyryn sekaan hieman vettä. Näin höyry pidetään halutun lämpöisenä, ja prosessi pysyy paremmin hallinnassa ja laskelmien mukaisena.

Tulistettu höyry johdetaan lopulta esimerkiksi turbiiniin, jossa se paineellaan liikuttaa turbiinin lapoja ja saa aikaan turbiiniakselin pyörimisliikkeen, jota voidaan hyödyntää joko suoraan mekaanisesti (kuten vaikkapa laivan moottorissa) tai sähköntuotannossa, jossa sillä pyöritetään generaattoria. Turbiinissa käymisen jälkeen höyrystä voidaan vielä ottaa lämpöenergiaa talteen vaikkapa ilman tai veden esilämmitystä tai kaukolämmönsiirtoa varten, ennen kuin se jälleen lauhtuu vedeksi ja palaa takaisin kattilan normaaliin vesikiertoon.

6 MALLINNUSMENETELMISTÄ

Varsinaisen 3D-mallin kaikkia yksityiskohtia ei tietosuojasyistä voi paljastaa, mutta tässä luvussa tarkastellaan niitä menetelmiä, joita projektissa käytettiin.

SolidWorksin perustoimintojen kuvaamisen sijaan tässä osiossa keskitytään eräisiin ohjelman edistyneemmistä ominaisuuksista. Oletuksena on, että lukija kuitenkin tuntee SolidWorksin perusteet niin, että hän ymmärtää ohjelman perustoiminnan ja terminologian.

Keskeinen työkalu projektissa on ollut SolidWorksin Equations-toiminto, johon koulujen mallinnuskursseilla tutustutaan yleensä melko vähän, jos ollenkaan. Tästä osiosta saattaa olla hyötyä vastaavanlaisten projektien parissa työskenteleville.

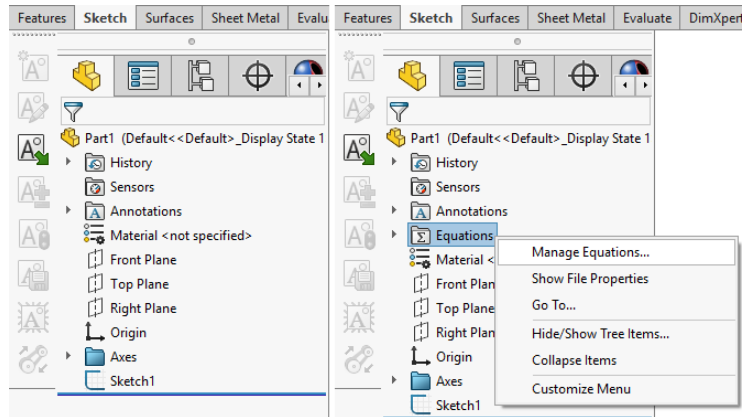
6.1 Equations

SolidWorksin *Equations*-toiminto (equations = ”yhtälöt”) on keskeisessä asemassa mallin toiminnan kannalta. Yhtälöiden avulla kontrolloidaan tulistimen tärkeimpiä piirteitä ja parametrejä muutamien sinänsä melko yksinkertaisten komentojen avulla. Yhtälöiden avulla voidaan antaa reunaehdot, joiden mukaan piirteitä ja komponentteja aktivoidaan tai suppressoidaan.

On myös mahdollista tehdä yhtälöstä konfiguraatiokohtainen. Toisin sanoen sama yhtälö voi olla eri konfiguraatioissa erilainen ja muuttaa radikaalistikin ehtoja, joiden mukaan tietty piirre määritellään.

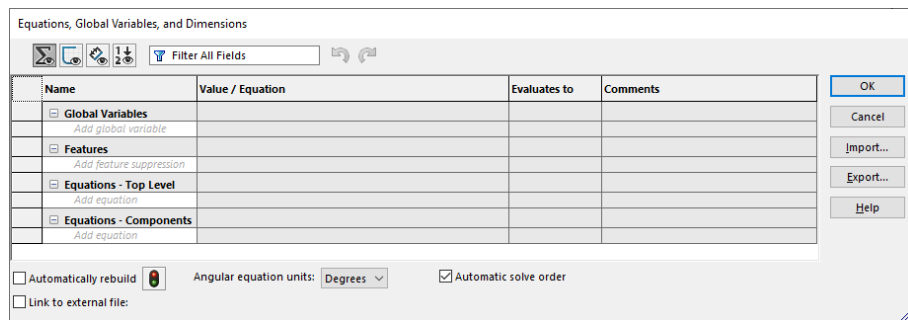
6.1.1 Yhtälöiden perustoiminta

Mikäli mallissa ei ole käytetty vielä yhtälöitä, ei Equations-vaihtoehto yleensä ole näkyvässä Feature Managerissa. Tällöin sinne päästään valikosta *Tools* → *Equations*. Mutta kun yksikin muuttuja tai yhtälö on luotu, Equations-vaihtoehto ilmaantuu Feature Manageriin, ja yhtälöihin pääsee käsiksi klikkaamalla sitä kakkospainikkeella (kuva 6-1).



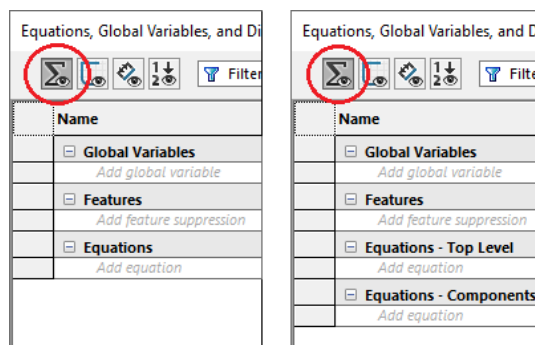
Kuva 6-1. Equations-vaihtoehto ilmestyy Feature Manageriin, kun yksikin muuttuja tai yhtälö on luotu.

Kun Equations-ikkuna avataan ensimmäistä kertaa, käyttäjää odottaa kuvan 6-2 kaltainen näkymä:



Kuva 6-2. Equations-ikkunan perusnäkö.

Edellyttäen, että käytössä on *Equation view* -näkö, ikkuna jakautuu pystysuunnassa kolmeen tai neljään pääosaan riippuen siitä, onko kyseessä yksittäinen osa (*part*) vai kokoonpano (*assembly*) kuvan 6-3 mukaisesti.



Kuva 6-3. Part-tiedoston (vas.) ja Assembly-tiedoston yhtälönäkymät.

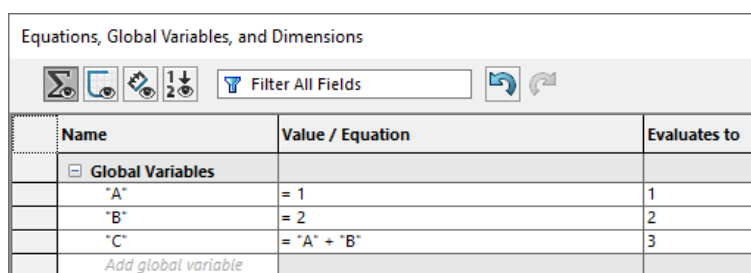
Assembly- eli kokoonpanotiedoston yhtälöt pystyvät suoraan hallitsemaan kokoonpanon osien ja alikokoonpanojen mittoja ja näkyvyyttä. Tätä kutsutaan mallinnuksessa *top-down* -periaatteeksi: ylemmältä tasolta hallitaan alempia tasoja.

Näin ollen mallia hallitaan pääkokoonpanon yhtälöistä, joiden kautta syötetään mitat alikokoonpanojen layouteille, joilla taas on omat yhtälönsä. Suurin osa ”työstä” tapahtuukin automaattisesti alikokoonpanoissa, jolloin pääkokoonpanon yhtälönäkymä on saatu mahdollisimman yksinkertaiseksi, ja käyttäjän todennäköisyys sotkea asioita vahingossa pienenee.

6.1.2 Muuttujien ja arvojen syöttäminen

Global Variables -sarakeeseen voidaan luoda muuttuja ja antaa sille haluttu nimi. Se voi olla kuvaava (esim. ”Length”) tai vain symbolinen, kuten esimerkiksi jokin aakkosten kirjain. Esimerkin vuoksi käytämme vain perusaakkosia. Value/Equation -sarakeeseen ilmestyy yleensä automaattisesti yhtäsuuruusmerkki (=). Ohjelma myös lisää automaattisesti välilyönnin jokaisen merkin väliin.

On huomattava, että jos lukuarvon määrittelyssä käytetään **desimaaleja**, on käytettävä pilkun sijaan **pistettä**; ei siis kirjoiteta esim. 1,5, vaan 1.5. Pilkkuja taas käytetään yhtälöiden erikoistoiminnoissa, joista lisää myöhemmin.



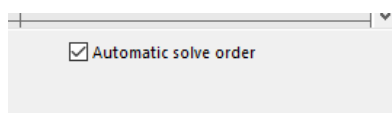
Name	Value / Equation	Evaluates to
Global Variables		
"A"	= 1	1
"B"	= 2	2
"C"	= "A" + "B"	3
Add global variable		

Kuva 6-4. Muuttujien ja arvojen syöttäminen.

Kuten kuvassa 6-4 nähdään, muuttujille A ja B on annettu vain perusarvo. Muuttujaa C taas hallitsee varsinainen yhtälö, jossa on käytetty aikaisemmin luotuja muuttujia. Huomaa, että ohjelma lisää lainausmerkit jokaisne muuttujan ympärille, ja ne tarvitaan muuttujien ympärillä myös, kun niitä käytetään osana yhtälöä.

6.1.3 Muuttujien ja yhtälöiden järjestys ja sen muuttaminen

Kussakin yhtälössä käytettävien muuttujien tulisi olla määritelty *ennen* yhtälöä, eli niiden on oltava listassa yhtälön yläpuolella. Mutta etenkin alati muuttuvan ja kehittyvän projektin kuluessa kaikki yhtälöt eivät kuitenkaan aina synny loogisessa järjestyksessä. Tässä auttaa Equations-ikkunan alareunasta löytyvä *Automatic solve order* -komento (kuva 6-5):



Kuva 6-5. Automatic solve order.

Tämän ollessa valittuna ohjelma pyrkii päättämään automaattisesti, mikä on muuttujien ja yhtälöiden oikea järjestys. Siitä huolimatta kannattaa pyrkiä pitämään yhtälöt oikeassa järjestyksessä etenkin, mikäli niitä on paljon ja ne ovat monimutkaisia.

Yhtälöiden järjestystä muuttaakseen tulee siirtyä *Ordered View* -välilehteen ja klikata Automatic solve order pois päältä. Tällöin yhtälöitä voi hiirellä vetää järjestyksessä ylös tai alas tarttumalla rivin yläreunaan. Punainen viiva ilmaisee, mihin väliin yhtälö on siirtymässä (kuva 6-6).

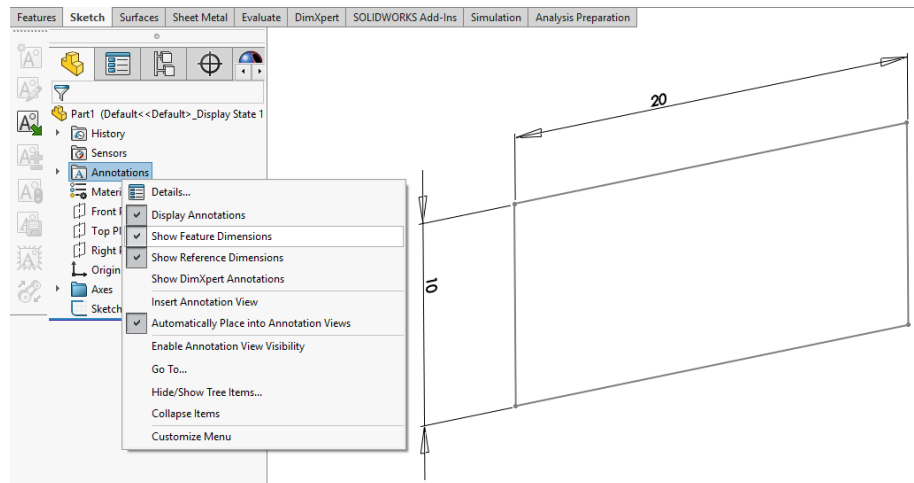
 The screenshot shows the "Equations, Global Variables, and Dimensions" window in a software application. At the top, there are several icons: a summation symbol, a refresh symbol, a delete symbol, a "1 2" icon with a downward arrow (highlighted with a red circle), and a "Filter All Fields" button. Below the icons is a table with three columns: "Name", "Value / Equation", and an unlabeled column for the order. The table contains several rows of equations, with row 19 highlighted in blue and a red arrow pointing to it from below.

	Name	Value / Equation
17	"D5@Dimensions fr	= "Tube_OD"
18	"D6@Dimensions fr	= "Tube_Wall_Thick
19	"D1@Dimensions fr	= "Double_Tube_In
20	"D7@Dimensions fr	= "Double_Tube_O
21	"OR@2TA Top Path	= "Double_Tube_O
22	"D3@Dimensions fr	= "DSV"

Kuva 6-6. Ordered view -välilehti ja Yhtälöiden järjestyksen muuttaminen.

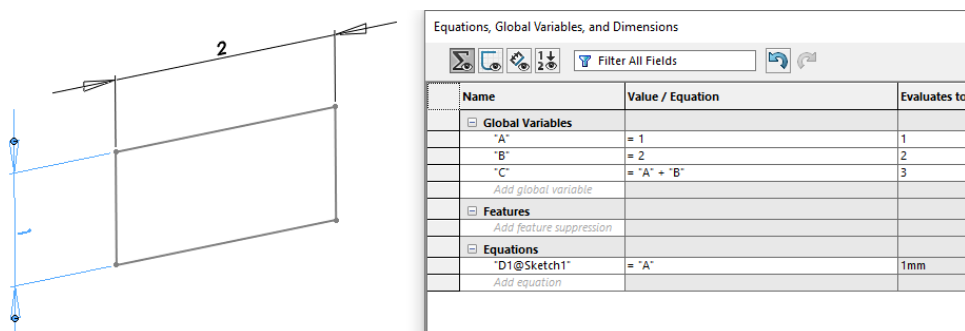
6.1.4 Arvojen siirtäminen kappaleen mittoihin

Kun alustava sketch on tehty ja mitoitettu, kannattaa ottaa mitat näkyviin komennolla *Show Feature Dimensions* (kuva 6-7). Tällöin mitat jäävät näkyviin, vaikka sketch itse on jo suljettu. Tämä tekee seuraavat vaiheet helpommaksi.



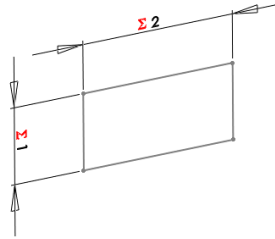
Kuva 6-7. Mittojen tuominen näkyviin *Show Feature Dimensions* -vaihtoehdolla.

Seuraavaksi klikataan aktiiviseksi ensimmäinen vapaa Equations-rivi, minkä jälkeen klikataan haluttua mitta (1). Sen jälkeen Value/Equation saraketta varten klikataan muuttujaa "A" Sen voi klikkaamisen sijaan myös kirjoittaa. (Kuva 6-8).



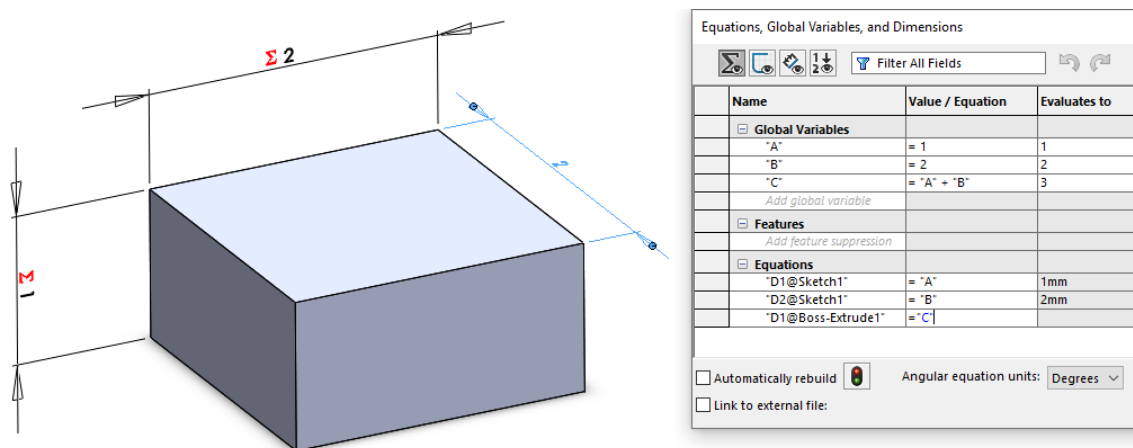
Kuva 6-8. Mitan määrittäminen muuttujan avulla.

Teemme saman myös toiselle mitalle antaen sille arvon "B". Kun halutut mitat on näin määritetty, klikataan OK. Yhtälöiden määrittämien mittojen eteen ilmestyy nyt punainen Σ -symboli (epsilon). (Kuva 6-9.)



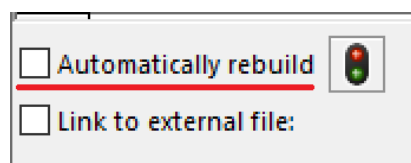
Kuva 6-9. Punainen Σ -merkki kertoo, että mitta hallitsee yhtälö.

Jos sketchiä nyt pursotetaan esimerkiksi 3 mm, uusi mitta ilmestyy sinisellä värillä. Myös tätä mitta voi säätää yhtälöillä. Antakaamme sille arvoksi "C" (kuva 6-10):



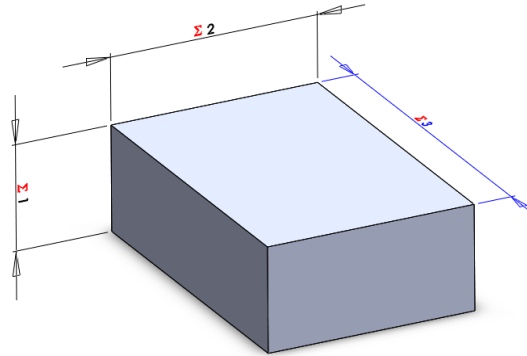
Kuva 6-10. Pursotuksen mitan sitominen yhtälöihin.

Huomaa, että mikäli *Automatically rebuild* -vaihtoehto (kuva 6-11) on käytössä, kappale päivittyy saman tien joka kerta, kun yhtäkin arvoa muutetaan. Etenkin mutkikkaissa kappaleissa tämä voi hidastaa työskentelyä, joten usein voi olla käytännöllisempää pitää vaihtoehto tsekkaamatta ja päivittää kappale manuaalisesti punavihreästä Rebuild-painikkeesta vasta kun kaikki halutut muutokset on tehty. Kappale toki päivittyy myös, kun yhtälöikkuna suljetaan OK-painikkeesta.



Kuva 6-11. Automatically rebuild -vaihtoehto.

Mutta nyt meillä on siis kolmiulotteinen kappale, jonka kaikkia mittoja hallitaan yhtälöillä. Kun muuttujia tämän jälkeen muokataan, myös mitat kappaleessa muuttuvat (kuva 6-12).

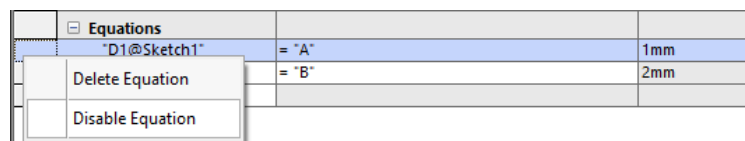


Kuva 6-12. Yhtälöiden hallitsema kolmiulotteinen kappale.

Tällainen kappale on kuitenkin lyöty sikäli lukkoon, että sen mittoja voi muuttaa ainoastaan Equations-ikkunasta käsin. Mikäli mittoja kuitenkin halutaan säätää ”manuaalisesti” suoraan sketchistä, voi muuttujien arvot määrittää myös sketchin tai kappaleen mitan perusteella. Tällöin mitta hallitseeikin muuttujaa, eikä toisin päin.

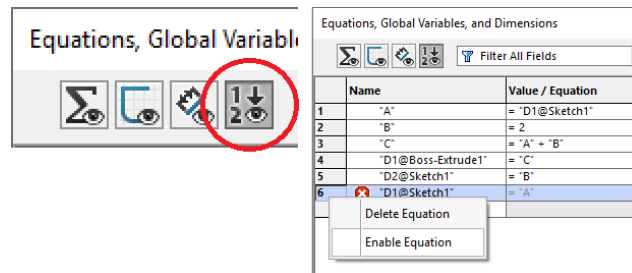
Esimerkin vuoksi teemme näin muuttujalle ”A”. Ensin D1@Sketch1-mittaa kontrolloiva yhtälö kannattaa kuitenkin tuhota Deletellä tai deaktivoida Disable-komennolla, tai muuten syntyy ristiriitaisuuksia: ”A” määrittäisi D1@Sketch1:n samaan aikaan kun D1@Sketch1 määrittäisi ”A”:n.

Tämä tapahtuu yksinkertaisesti kakkosklikkaamalla yhtälöriivin päällä ja valitsemalla sopivin vaihtoehto (kuva 6-13):



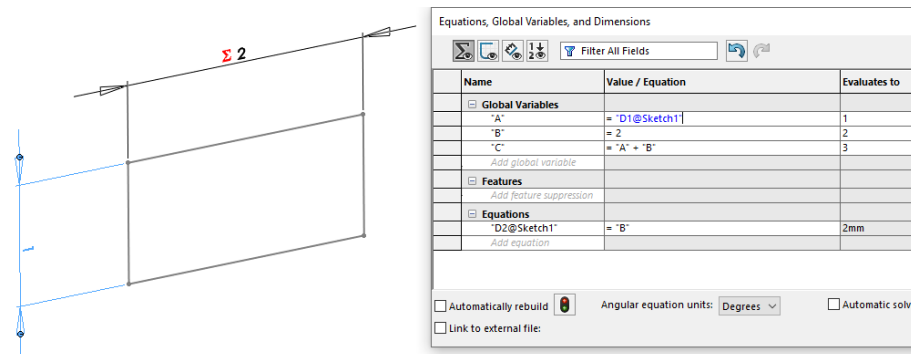
Kuva 6-13. Yhtälön deaktivointi *Disable Equation* -komennolla.

Disable on suositeltavampi suunnittelun ollessa vielä kesken, sillä deaktivoidun yhtälön voi vielä palauttaa takaisin tarpeen vaatiessa. Tämä onnistuu vaihtamalla *Ordered View* -näkömään, joka näyttää deaktivoidutkin yhtälöt (kuva 6-14). *Ordered View* -näkömässä myös yhtälöiden järjestystä voi muuttaa vetämällä niitä ylös tai alas. Tällöin *Automatic solve order* -vaihtoehdon on oltava pois päältä.



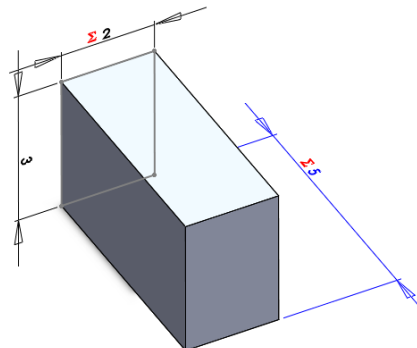
Kuva 6-14. *Ordered view* -näkymä ja yhtälön aktivointi *Enable Equation* -komennolla.

Nyt mennään muuttujan "A" Value/Equation -kenttään, poistetaan sen aiempi arvo, ja klikataan mittaa 1. Nyt muuttuja "A" muuttuu, kun mittaa 1 muutetaan, ja Σ -merkki katoaa mitan edestä. Huomaa, että tällä ei ole vaikutusta muuttujaa "C" kontrolloivan yhtälön toimintaan. Vain tapa, jolla muuttuja "A" on määritelty, on muuttunut (kuva 6-15).



Kuva 6-15. Muuttujan arvon määrittely mitan avulla.

Nyt alkuperäistä mittaa voidaan muuttaa tarvitsematta avata Equations-ikkunaa. Muut yhtälöt toimivat edelleen normaalisti (kuva 6-16).



Kuva 6-16. Σ -merkki on kadonnut ensimmäisestä mitasta, ja sitä voi nyt säätää suoraan.

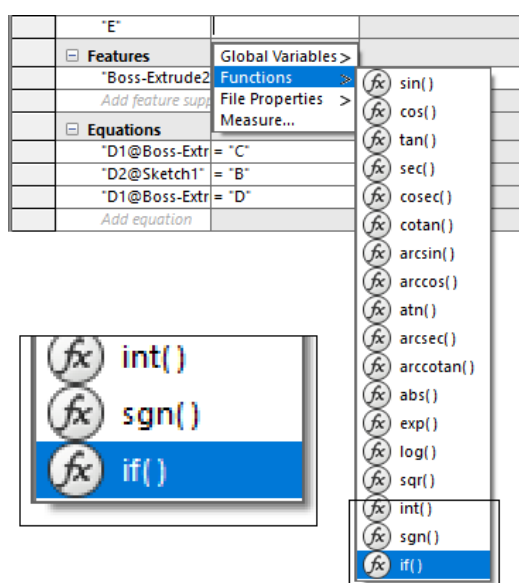
Yhtälöt voi linkittää lähes mihin tahansa kappaleen tai kokoonpanon piirteisiin. Jokaista piirrettä, jolla on mitta (esim. D1@Sketch2), voi joko hallita yhtälöillä tai käyttää muuttujana – olipa kyse sitten sketchistä, pursotuksesta, pattern-kuvion lukumäärästä tai levynpaksuudesta.

6.2 IIF ja AND -komennot

SolidWorksin yhtälöihin on saatavilla erinäisiä erikoiskomentoja, joista hyödyllisimmiksi projektissa osoittautuivat IF- (tai IIF) ja AND-komennot.

If ja *And* ovat termejä, joihin törmää myös varsinaisessa ohjelmoinnissa. Jotkin SolidWorksin aikaisemmat versiot käyttivät IF-komentoa, mutta syystä tai toisesta se on sittemmin muutettu muotoon IIF. Funktiovalikossa se kuitenkin näkyy edelleen IF-muodossa, mutta muuttuu yhtälöruudussa muotoon IIF, kun yhtälö on luotu.

Valikko eri vaihtoehtoineen avautuu automaattisesti, kun yhtälöä aletaan kirjoittaa. Haluamansa komennon voi myös kirjoittaa käsin niin halutessaan. (Kuva 6-17.)



Kuva 6-17. Kun uutta yhtälöä kirjoitetaan, ohjelma tarjoaa itsestään valikkoa, josta löytyy erilaisia komentoja.

AND-komentoa sieltä ei kuitenkaan löydy, eikä sen koko olemassaoloa mainita kovin monessa paikassa. Hyvin suuri osa SolidWorksin käyttäjistä ei edes tiedä sen olemassaolosta. Yhtälöiden ominaisuuksia käsitellään SolidWorks-peruskoulutuksessa

yleensä varsin vähän, ja pääpaino on useimmiten Design Tablen kaltaisissa piirteissä. Näin jää huomiotta suuri osa SolidWorksin koko potentiaalista.

Yhdistämällä IIF ja AND -komennot voidaan luoda rajattoman kokoinen ryhmä ehtoja, joiden täytyessä jotakin haluttua tapahtuu.

Esimerkiksi voimme luoda muuttujan "X" ja sille seuraavan yhtälön:

$$= \text{IIF} ("A" = 1 \text{ AND } "B" = 2 \text{ AND } "C" \leq 3, 10, 15)$$

Toisin sanoen: jos *kaikki* ehdot toteutuvat, eli A on *tasan* 1 ja B on *tasan* 2 ja C *pienempi tai yhtäsuuri* kuin 3, on X:n arvo 10; mutta jos yksikin näistä ehdoista jää toteutumatta, on X:n arvo 15.

Huomaa myös, että yhdistelemällä merkkejä >, < ja = voidaan antaa matemaattisia \leq ja \geq -symboleja vastaavia komentoja.

THEN- tai ELSE-tyyppisiä komentoja taas ei ole. Niiden virkaa toimittavat pilkut. Tämän takia desimaaliluvuissa on käytettävä pisteitä; pilkut on varattu yhtälöiden toiminnalle.

Yhtälöihin ei ole tarvetta syöttää mittayksiköitä, kuten mm tai deg. Ohjelma yleensä ymmärtää käyttää oikeaa yksikköä riippuen siitä, minkä tyyppiseen mittaan yhtälöt vaikuttavat.

6.3 Sisäkkäiset IIF-komennot

IIF-ehtoja voidaan asettaa samaa yhtälöön myös monta sisäkkäin. Näin yksi yhtälö voi kontrolloida monia erikoistapauksia. Tähän voimme ottaa käytännön esimerkin suoraan tulistinmallista.

Yhtälöillä voidaan esimerkiksi ennaltaehkäistä ongelmia luomalla reunaehtoja, jotka rajoittavat tiettyjen piirteiden määrää tai kokoa. Näin voidaan esimerkiksi ehkäistä joidenkin tärkeiden mittojen lipsahtamista vahingossa nolnaan tai negatiivisiksi. Näin niillä voidaan jossakin määrin ehkäistä inhimillisen sähläyksen pahimpia vaikutuksia.

Tällaiset ehdot saattavat tulla tarpeeseen myös esimerkiksi silloin, kun jokin osa on saatava sopimaan tiettyihin valmiskomponentteihin. Tällöin voidaan luoda yhtälö, joka tiettyjen ehtojen perusteella antaa oikean arvon, vaikka käyttäjä olisikin tehnyt virheen arvoja syöttäessään.

Seuraavassa asiaa havainnollistavassa esimerkissä käytetään kaksiputkisen tulistinelementin layout-tiedoston sketchejä ohjaavia yhtälöitä.

Tulistin voi edustaa kahta perustyyppiä (1 ja 2). 2-tyypin tulistimessa käytetään valmiita ripustuselementtejä. Näitä on kahdelle eri kokoiselle putkelle, kolmelle taivutussäteelle, ja vaihtelevalla maksimimäärälle lenkkejä. Tulistimen putket on saatava sopimaan näihin elementteihin.

Tämä varmistetaan seuraavilla yhtälöillä, jotka on kuvassa rajattu punaisella (kuva 6-18). Ne ovat niin pitkiä, että ne eivät mahdu kokonaan näkyviin sarakkeeseensa, mutta otamme ne näkyviin myöhemmin.

Name	Value / Equation	Evaluates to
Global Variables		
"Type"	= ROUND ("D9@Dimensions")	2mm
"EB"	= "D8@Dimensions"	2mm
"OD"	= IIF ("Type" = 2 AND "D5@Dimensions" < 38 , 38 , "D5@Dimensions")	38mm
"R"	= ROUND ("D1@Dimensions")	50mm
"BNR"	= "D2@Dimensions"	65mm
"A"	= "D2@2T basic reference points"	320mm
"B"	= "D1@2T basic reference points"	1920mm
"C"	= ROUND ("B" / "A")	6
"E"	= "D5@Wall frame"	79mm
"F"	= "D1@Wall frame"	119mm
"G"	= "F" / "E"	1.50633
"R_fixed"	= IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R" < 40 , 40 , IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R" < 40 , 40 , "R"))	50mm
"Loop_Limit"	= IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 AND "C" > 8 , 8 , IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 , 8 , "C"))	6mm
"Vertical_Spacing"	= IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 , 80 , IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 , 80 , "R"))	60mm
"Height_fixed"	= "A" * "Loop_Limit"	1920mm

Kuva 6-18. Esimerkkiyhtälöt.

Yhtälöt käyttävät aiemmin syötettyjä muuttujia, kuten "Type" (tyyppi), "OD" (outer diameter, putken ulkohalkaisija) ja "R" (radius, taivutussäde).

Jotta tulistinelementti sopisi kannatinelementteihin, on taivutussäteen, kieppimäärän ja putkien välisen etäisyyden oltava oikeat. Sen vuoksi luodaan seuraavat muuttujat:

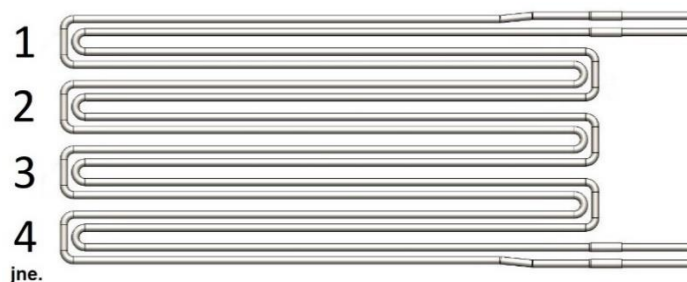
"R_fixed" varmistamaan taivutussäteen sopivuus

"Loop_limit" varmistamaan, ettei lenkkimäärä kasva liikaa

"Vertical_Spacing" varmistamaan, että putkien välinen etäisyys on oikea

Otamme esimerkiksi tulistinputken lenkkien (loop) määrää hallitsevan muuttujan, "Loop_limit".

Tässä tapauksessa lenkkien määrä lasketaan kuvan 6-19 osoittamaa logiikkaa noudattaen:



Kuva 6-19. Tulistinelementin lenkkimäärän laskeminen.

Yhtälö käyttää apunaan mm. aiemmin luotua muuttujaa "R_fixed" sekä muuttujaa "C", joka on pääkokoontaan syötetty lenkkimäärä.

= IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 AND "C" > 8 , 8 , IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" = 50 AND "C" > 7 , 7 , IIF ("Type" = 2 AND "OD" > 40 AND "R_fixed" > 50 AND "C" > 6 , 6 , "C")))

Pitkän ja pelottavan näköinen yhtälö muuttuu ymmärrettävämmäksi, kun se jaetaan eri riville jokaisen uuden IIF-ehdon kohdalta. Huomaa, että jokainen IIF-ehto tarvitsee omat sulkeensa, ja että viimeisen rivin lopussa sulkeet suljetaan.

= IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" < 50 AND "C" > 8 , 8 ,
 IIF ("Type" = 2 AND "OD" < 40 AND "R_fixed" = 50 AND "C" > 7 , 7 ,
 IIF ("Type" = 2 AND "OD" > 40 AND "R_fixed" > 50 AND "C" > 6 , 6 , "C")))

Pitkät yhtälöt eivät aina mahdu sarakkeeseen näkyviin kokonaan. Niinpä yhtälön kopiointi ja jakaminen osiin tarkastelua varten vaikkapa NotePadissa (muistiossa) helpottaa usein sen hahmottamista ja virheiden löytämistä.

Mutta mitä tämä kaikki tarkoittaa?

Ensinnäkin voidaan havaita, että vaikuttavia ehtoja on neljä. Toiseksi kaikki IIF-ehdot ovat voimassa ainoastaan silloin, kun "Type" eli tulistimen tyyppi on 2. Kolmanneksi putken halkaisija ("OD") ja taivutussäde (nyt "R_fixed") vaikuttavat putken lenkkimäärään.

Tarkastellaan ensimmäistä riviä, joka aloittaa yhtälön:

$$= \text{IIF} (\text{"Type"} = 2 \text{ AND } \text{"OD"} < 40 \text{ AND } \text{"R_fixed"} < 50 \text{ AND } \text{"C"} > 8 , 8 ,$$

Jos Type on 2 ja OD < 40 ja R_fixed < 50 ja C > 8, on arvo 8.

Toisin sanoen: jos käyttäjä yrittää antaa putkelle, jonka halkaisija on alle 40 ja taivutussäde alle 50 liian suuren lenkkimäärän, se korjaantuu arvoon 8.

Toinen rivi:

$$\text{IIF} (\text{"Type"} = 2 \text{ AND } \text{"OD"} < 40 \text{ AND } \text{"R_fixed"} = 50 \text{ AND } \text{"C"} > 7 , 7 ,$$

Jos Type on 2 ja OD < 40 ja R_fixed = 50 ja C > 7, on arvo 7.

Toisin sanoen: jos käyttäjä yrittää antaa putkelle, jonka halkaisija on alle 40 ja taivutussäde *tasan* 50 liian suuren lenkkimäärän, se korjaantuu arvoon 7.

Kolmas rivi:

$$\text{IIF} (\text{"Type"} = 2 \text{ AND } \text{"OD"} > 40 \text{ AND } \text{"R_fixed"} > 50 \text{ AND } \text{"C"} > 6 , 6 , \text{"C"}))$$

Jos Type on 2 ja OD > 40 ja R_fixed > 50 ja C > 6, on arvo 6; *muuten* se on C.

Toisin sanoen: jos käyttäjä yrittää antaa putkelle, jonka halkaisija on *yli* 40 ja taivutussäde *yli* 50 liian suuren lenkkimäärän, se korjaantuu arvoon 6. *Kaikissa muissa tapauksissa* käytetään arvoa "C", joka käyttäjän manuaalisesti syöttämä arvo.

Tämä tarkoittaa, että jos käyttäjä on antanut C:n arvoksi esimerkiksi 5, mitään ongelmaa ei ole. Mutta jos käyttäjä onkin antanut arvoksi 10, yhtälö rajoittaa lenkkimäärää putkikoon ja taivutussäteen perusteella. Näin tulistinelementin putken mitat eivät koskaan ylitä kannatinelementin maksimikokoa.

Saman tiedoston Equations-osiossa nähdään, kuinka äsken määritellyt muuttujat vaikuttavat sketchien mittoihin useissa eri paikoissa (kuva 6-20).

Equations	
"D1@Sketch10"	= "Loop_Limit"
"D4@2T basic reference points"	= "Height_fixed"
"D5@2T basic reference points"	= "Height_fixed"
"D8@2T basic reference points"	= IIF ("C" = 3 , "E" , "F")
"OR@2TB Top Path 1"	= "OR@2TA Top Path 1"
"OR@2TB Bottom Path 1"	= "OR@2TA Top Path 1"
"OR@2TA Bottom Path 1"	= "OR@2TA Top Path 1"
"D10@Dimensions"	= "R_fixed"
"D1@Block1"	= "Vertical_Spacing"
"D2@Block1"	= "R_fixed"
"D3@Block1"	= "R_fixed" + 5
"D5@Block1"	= "D4@Dimensions"
"D8@Block1"	= "Bend_distance"
"D10@Block1"	= "Bend_distance"
"D9@Block1"	= "Bend_distance"
"D1@End bend Block 1"	= "Vertical_Spacing"
"D2@End bend Block 1"	= "D4@Wall frame"
"D5@End bend Block 1"	= "D3@Wall frame"
"D4@End bend Block 1"	= IIF ("Vertical_Spacing" > = 100 , ("Vertical_Spacing" + 10) , 100)
"D8@End bend block 2"	= "Vertical_Spacing"
"D4@End bend block 2"	= "D3@Wall frame"
"D7@End bend block 2"	= "D4@Wall frame"
"D1@End bend block 2"	= IIF ("Vertical_Spacing" > = 100 , ("Vertical_Spacing" + 10) , 100)
"D1@Tube Diameters"	= "OD"
"D2@Tube Diameters"	= "D6@Dimensions"
"D1@Mid path patterned (cosmetic)"	= "C" - 3
"D1@2TA Bottom Path 00"	= "R_fixed"
"D1@2TA Mid Path 1b"	= "D7@Dimensions"
"D2@Support Plate 1"	= (int ("D3@Support Plate 1" / 10)) * 10
"D1@2T End Bend Reference Points"	= IIF ("End_Bend" > = 2 , "D6@Wall frame" , ("D6@Wall frame" + "BlockDist"))
"D1@2TAb Bottom Path 00"	= "D2@Dimensions"
"D1@2TAb Bottom Path 01"	= "D2@Dimensions"
"D1@2TAb Bottom Path 02"	= "D2@Dimensions"
"D5@Support Plate Locations 1"	= "D3@Dimensions"
"D7@Wall frame"	= "D5@Dimensions"
"D11@Vertical bends - EDIT THIS"	= "R_fixed"
"D2@Sketch11"	= int ("OD" / 10) * 10
<i>Add equation</i>	

Kuva 6-20. Esimerkki yhden osatiedoston yhtälöistä.

Näemme myös muita käskyjä, kuten **int**-komennon, joka pyöristää numeron alaspäin lähimpään kokonaislukuun. Esimerkiksi komento = int (3.14) antaisi arvoksi 3. Tästä voi olla etua, jos halutaan esimerkiksi jonkin mitan muuttuvan tietyn suuruisina kokonaislukuina eikä piirustusten ja valmistuksen kannalta hankalina desimaaleina.

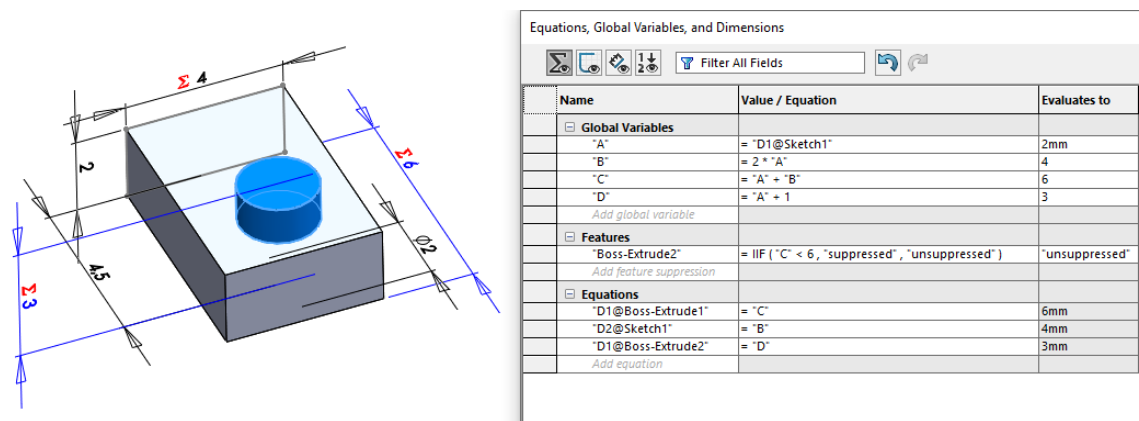
6.4 Feature suppression

Yhtälöitä voi käyttää myös suppressoimaan (engl. *suppress*) tai aktivoimaan erilaisia piirteitä haluttujen ehtojen mukaisesti. Tällainen piirre voi olla mikä vain; body, sketch, mate, tai kokonainen kappale tai alikokoonpano.

Aikaisempaan esimerkkipappaleeseemme on pursotettu uusi piirre, Boss-Extrude2, ja sille on annettu korkeuden (= "A" + 1) lisäksi seuraava ehto **Features**-osioon:

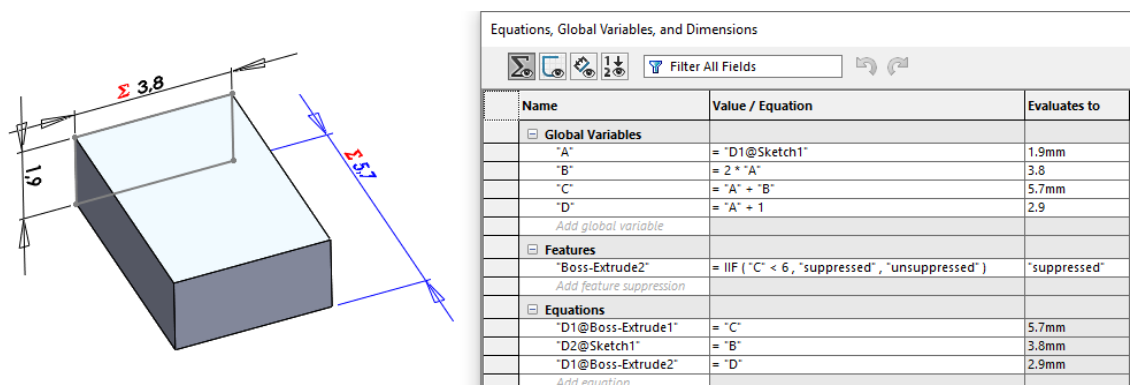
$$= \text{IIF} (C < 6, \text{"suppressed"}, \text{"unsuppressed"})$$

Tämä tarkoittaa siis, että mikäli C:n arvo on alle 6, piirre suppressoidaan (kuva 6-21).



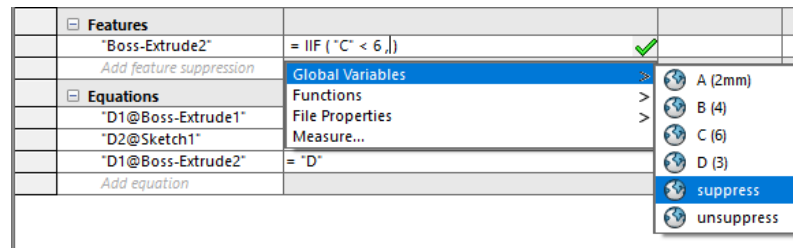
Kuva 6-21. Uusi piirre ja sen näkyvyyttä kontrolloiva yhtälö. C on 6, joten piirrettä ei ole suppressoitu.

Jos muutamme mittoja niin, että C:n arvo putoaa alle 6:n, piirre katoaa (kuva 6-22).



Kuva 6-22. C:n mitta on nyt alle 6, joten Boss-Extrude2 on suppressoitu.

Komennot voi joko valita itsestään ilmestyvästä valikosta tai kirjoittaa käsin. Yleensä ohjelma tarjoaa erilaisia vaihtoehtoja jo yhtälöä kirjoitettaessa (kuva 6-23):



Kuva 6-23. Komennon valinta itsestään ilmaantuvasta valikosta.

Nollat ja ykköset

Yhtälön lyhentämiseksi voidaan suppress- ja unsuppress-komentojen sijaan käyttää myös numeroita 0 ja 1. Tällöin 1 tarkoittaa, että piirre on suppressoitu (kuva 6-24).

Features	"Boss-Extrude2"	= IIF ("C" < 6, 1, 0)	0
	Add feature suppression		

Kuva 6-24. Numeroiden 0 ja 1 käyttäminen.

Seuraavassa esimerkissä nähdään, kuinka assembly-tiedoston yhtälöt kontrolloivat sekä yksittäisten osien, alikokoonpanojen että meittien (engl. *mate*) aktiivisuutta (kuva 6-25):

Features	"Hanger Tie 2T 38R40<1>."	= IIF ("Type" > 1 AND "R" < 50, 0, 1)	1
	"Hanger Tie 2T 38R50-44,5"	= IIF ("Type" > 1 AND "R" > = 50, 0, 1)	0
	"SH_2T_R_Support_Plate_A"	= IIF ("Type" < 2, 0, 1)	1
	"2T_Hinge_Assembly<1>."A	= IIF ("Type" < 2, 0, 1)	1
	"Coincident88"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 1	1mm
	"Coincident91"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 1	1mm
	"Coincident103"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 1	1mm
	"Coincident104"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 0	0mm
	"Coincident105"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 0	0mm
	"Coincident106"	= IIF ("RD5@Annotations" > "RD4@Annotations", 0	0mm
	"Sleeve_02<1>."Part	= IIF ("Type" < 2, 1, 0)	0
	"Sleeve_02<2>."Part	= IIF ("Type" < 2, 0, 1)	1
	"Sleeve_02<3>."Part	= IIF ("Type" < 2, 1, 0)	0
	"Sleeve_02<4>."Part	= IIF ("Type" < 2, 0, 1)	1
	Add feature suppression		

Kuva 6-25. Erilaisten piirteiden hallitseminen.

Kuten nähdään, toisinaan ohjelma erehtyy antamaan numeron perään mittayksikön. Näin voi käydä etenkin, kun yhtälössä käytetään jotakin arvoa suoraan sketchin mitoista. Mutta kun yhtälö on Features-osiossa, sillä ei ole merkitystä.

6.5 Konfiguraatiokohtaiset yhtälöt

On mahdollista valita, missä konfiguraatioissa yhtälö vaikuttaa. Vaihtoehtoja on kolme:

- pelkästään aktiivisessa konfiguraatioissa
- kaikissa konfiguraatioissa
- ainoastaan valikoiduissa konfiguraatioissa

Jotta vaihtoehto tulee näkyviin, pitää konfiguraatioita ensin olla enemmän kuin yksi.

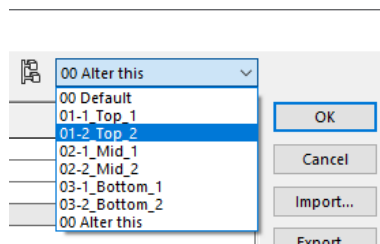
Silloin yhtälön perään ilmestyy alasvetovalikko (kuva 6-26):

Name	Value / Equation	Evaluates to	Comments
Global Variables			
"OD"	= "D1@Sketch1@Hanger_Tie_Layout_Sketch_02<1>."	38mm	
"R"	= "D2@Sketch1@Hanger_Tie_Layout_Sketch_02<1>."		
"A"	= "D4@Sketch1@Hanger_Tie_Layout_Sketch_02<1>."		
"B"	= "D3@Sketch1@Hanger_Tie_Layout_Sketch_02<1>."		
"C"	= ROUND ("A" / "B")		
Add global variable			
Features			

Kuva 6-26. Yhtälön hallitsemien konfiguraatioiden valinta.

Tämän seurauksena jokaiseen konfiguraatioon voi tarvittaessa kirjoittaa erilaisen yhtälön sen mukaan, mitä konfiguraatiolta vaaditaan. Values/Equations -kenttään syöttää myös suoraan loppukomento "=suppressed", "=unsuppressed", =1 tai =0 ilman varsinaista yhtälöä.

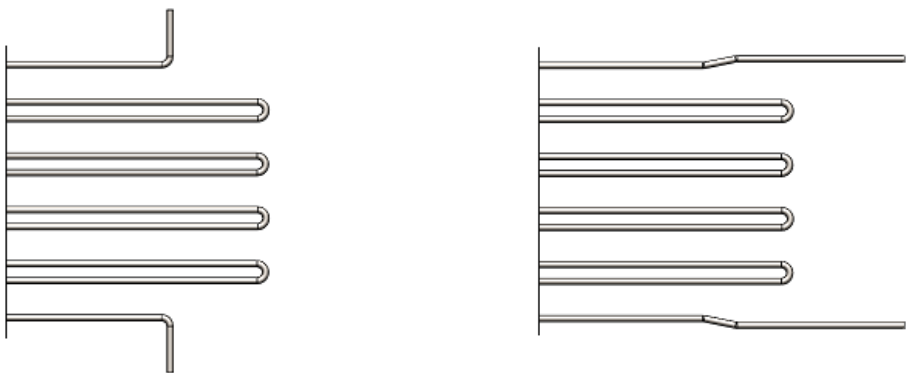
Konfiguraatiota vaihtaakseen ei yhtälöikkunaa tarvitse sulkea, vaan sen voi vaihtaa myös suoraan ikkunan oikeaan yläreunaan ilmestyvästä valikosta (kuva 6-27):



Kuva 6-27. Konfiguraation vaihtaminen Equations-ikkunassa.

Konfiguraatiokohtaiset yhtälöt ovat hyvin käyttökelpoisia etenkin, mikäli jokin piirre muuttuu paljon eri konfiguraatioissa. Seuraavassa esimerkissä nähdään, kuinka yhtälöt,

joita laskevat putken kokonaispituuden piirustuksen osalistaa varten, muuttuvat sen mukaan, millaiset päät putkessa on (kuva 6-28).



"Mid_length"	= "Mid_1" * "D1@Mid-01" + "Mid_2" *	13205.1
"End_length"	= "D1@Top-02" + "D1@Bottom-02"	12543.4mm
"Total_Length"	= "Mid_length" + "End_length"	25748.5

"Mid_length"	= "Mid_1" * "D1@Mid-01" + "Mid_2" *	13205.1
"End_length"	= "Top00" + "Bottom00"	14444.3
"Total_Length"	= "Mid_length" + "End_length"	27649.4mm

Kuva 6-28. Putken konfiguraatiokohtaisen pituuden laskevat yhtälöt. Huomaa muutokset "End_length" -muuttujan yhtälöissä.

Konfiguraatiokohtaisia yhtälöitä on käytetty myös valmiskomponenttien kanssa, joita tarkastelemme seuraavaksi.

6.6 Valmiskomponenttien ongelmat

Monilla 3D-suunnittelua hyödyntävillä yrityksillä on heidän omien standardiensa mukaisia peruskomponentteja sisältävä virtuaalinen kirjasto. Pulttien ja muttereiden kaltaisten osien lisäksi kirjasto voi sisältää myös kokonaisia laitteita tai näiden osia. Näitä osia ja kokoonpanoja suunnittelija voi sitten käyttää rakennelmansa osana ilman, että kaikkia yksityiskohtia pitäisi joka kerta mallintaa itse.

Tässä tapauksessa tärkeimmät – ja eniten päänvaivaa aiheuttaneet – valmiskomponentit olivat kannatinelementit, jotka pitävät tulistimen putkia paikoillaan.

Valmiskomponenttien ongelma on, että niitä ei yleensä pysty muokkaamaan, vaan ne on niiltä osin "lukittu", ja niiden muokkaaminen vaatisi erityiskäyttöoikeuksia. Näin on ymmärrettävästi oltava, koska samaa komponenttia on saatettu käyttää kymmenissä tai sadoissa eri projekteissa, jolloin muokkaukset vaikuttaisivat niihin kaikkiin. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia, mikäli jonkin osan pitäisi kasvaa tai kutistua skaalautuvan rakennelman kanssa.

Useimmiten tällaisilla komponenteilla on kuitenkin monta eri konfiguraatiota erilaisille perusmitoille. Suunnittelija voi sitten valita, mitä niistä hän käyttää. Mutta miten saada oikea konfiguraatio aktivoitumaan automaattisesti? SolidWorksin yhtälötyökalut mahdollistavat monia temppuja, mutta kaikenkattavia ne eivät ole. Osia, piirteitä ja alikokoonpanoja saa kyllä aktivoitua tai suppressoitua, mutta konfiguraatioiden aktivoiminen yhtälöiden tai design tablen kautta ei yksinkertaisesti toimi luotettavasti, ei ainakaan projektissa käytetyssä SW 2017 -versiossa.

Toimiva, joskin hieman työläs, kiertotie kuitenkin löytyi.

Ensin tehtiin yksinkertainen layout-osatiedosto, jonka mitat sidottiin tulistimen pääkokoonpanon muuttuviin mittoihin. Sitten tätä layoutia hyödynnettiin alikokoonpanossa, johon tuotiin layoutin lisäksi tarvittava määrä siderautoja. Jos kannatinelementillä oli esimerkiksi kuusi konfiguraatiota, tuotiin se kokoonpanoon kuusi kertaa. Sitten jokainen kuudesta kannatinelementistä asetettiin eri konfiguraatioon.

Layout-tiedoston mittojen avulla saatiin siirrettyä kokoonpanon Equations-osioon tarvittava informaatio tulistinelementin mittasuhteista. Sen jälkeen voitiin kuvan 6-29 mukaisesti luoda sarja yksinkertaisia yhtälöitä, jotka suppressoivat kannatinelementeistä piiloon aina kaikki muut paitsi juuri sen, joka oli oikean kokoisessa konfiguraatiossa. Näin saatiin aikaan yksi, kaikki vaihtoehdot sisältävä kannatinelementtikokoonpano, joka oli aina oikean kokoinen ja jonka saattoi sitten liittää osaksi tulistinelementin kokoonpanoa. Kannatinelementtejä oli useammalle eri materiaalille, joten sama prosessi tehtiin niille kaikille.

Kuvaesimerkissä 6-29 nähdään kaksi konfiguraatiota yhdestä kannatinelementtien kokoonpanosta. Kokoonpanon pohjana on layout-sketch, jonka mitat muuttuvat suuremman pääkokoonpanon mukana. Tämän skaalautuvan layout-sketchin mittojen perusteella määrätään, mikä osa on milloinkin aktiivinen, ja mitkä on suppressoitu. Aktiivinen osa (0) määräytyy yhtälöiden ehtojen perusteella, minkä lisäksi konfiguraation kannalta turhat komponentit on suppressoitu pois tieltä yksinkertaisesti kirjoittamalla yhtälöksi suoraan =1.

Yhdessä konfiguraatiossa ovat aktiivisina E- ja toisessa F-tyypiksi nimetyt elementit. Muuttuja "C" on aikaisemmin (kuva 6-19) näkemämme tulistinputken lenkkien lukumäärä ja "OD" putken halkaisija.

Features			Features		
"HT-E-38 = IIF ("C" <= 2 AND "OD" < 40, 0, 1)	1		"HT-E-3 = 1		1
"HT-E-38 = IIF ("C" = 3 AND "OD" < 40, 0, 1)	1		"HT-E-3 = 1		1
"HT-E-38 = IIF ("C" = 4 AND "OD" < 40, 0, 1)	1		"HT-E-3 = 1		1
"HT-E-38 = IIF ("C" = 5 AND "OD" < 40, 0, 1)	0		"HT-E-3 = 1		1
"HT-E-38 = IIF ("C" = 6 AND "OD" < 40, 0, 1)	1		"HT-E-3 = 1		1
"HT-E-38 = IIF ("C" >= 7 AND "OD" < 40, 0, 1)	1		"HT-E-3 = 1		1
"HT-F-38 = 1	1		"HT-F-3 = IIF ("C" <= 2 AND "OD" < 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-38 = 1	1		"HT-F-3 = IIF ("C" = 3 AND "OD" < 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-38 = 1	1		"HT-F-3 = IIF ("C" = 4 AND "OD" < 40, 0, 1)	0	1
"HT-F-38 = 1	1		"HT-F-3 = IIF ("C" = 5 AND "OD" < 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-38 = 1	1		"HT-F-3 = IIF ("C" >= 6 AND "OD" < 40, 0, 1)	1	1
"HT-E-44 = IIF ("C" <= 2 AND "OD" > 40, 0, 1)	1		"HT-E-4 = 1		1
"HT-E-44 = IIF ("C" = 3 AND "OD" > 40, 0, 1)	1		"HT-E-4 = 1		1
"HT-E-44 = IIF ("C" = 4 AND "OD" > 40, 0, 1)	1		"HT-E-4 = 1		1
"HT-E-44 = IIF ("C" = 5 AND "OD" > 40, 0, 1)	1		"HT-E-4 = 1		1
"HT-E-44 = IIF ("C" >= 6 AND "OD" > 40, 0, 1)	1		"HT-E-4 = 1		1
"HT-F-44 = 1	1		"HT-F-4 = IIF ("C" <= 2 AND "OD" > 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-44 = 1	1		"HT-F-4 = IIF ("C" = 3 AND "OD" > 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-44 = 1	1		"HT-F-4 = IIF ("C" = 4 AND "OD" > 40, 0, 1)	1	1
"HT-F-44 = 1	1		"HT-F-4 = IIF ("C" >= 5 AND "OD" > 40, 0, 1)	1	1
Add feat			Add feat		

Kuva 6-29. Kannatinelementtikokoonpanon eri konfiguraatioiden yhtälöiden eroavaisuuksia.

Tarpeettomat alikokoonpanot *voisi* suppressoida konfiguraatiokohtaisesti myös Feature Managerista. Mutta toisinaan hyvin monimutkaisissa malleissa voi jokin mennä pieleen, ja vääriä osia saattaa kadota tai putkahdella näkyviin väärässä paikassa ja väärään aikaan. Jos halutaan, että ne todella pysyvät piilossa kun niitä ei tarvita – tai vastaavasti pysyvät näkyvillä, kun niitä tarvitaan – voidaan tämä varmistaa yhtälöillä. Yhtälö ohittaa kaikki muut komennot; tällöin osia ei voi manuaalisesti tai muuten vahingossa tuoda näkyviin tai suppressoida, ennen kuin niitä hallitsevat yhtälöt on poistettu tai deaktivoitu. Tällainen automatisointi voi olla hyvinkin käytännöllistä sellaiseen soveltuviissa alikokoonpanoissa, jolloin käyttäjän ei tarvitse miettiä muuta kuin pääkokoonpanon parametrejä.

7 LOPPUSANAT

Työn varsinaiset dokumentit jäävät toimeksiantajan käyttöön, eikä niitä ole tarkoitettu julkiseen levitykseen. Julkisessa raportissa on pyritty tarkan työselostuksen sijaan antamaan siihen liittyviä kansantajuisia taustatietoja mm. työn tilaajasta, SolidWorks-ohjelmiston emoyhtiöstä ja polttokattiloiden ja tulistimien yleisistä toimintaperiaatteista.

Valmetin nimi on jo monen sukupolven ajan ollut tuttu kaikille suomalaisille, mutta siitä huolimatta kovinkaan moni tavallinen kansalainen ei tiedä, mitä yhtiölle tarkkaan ottaen kuuluu nykyään. Traktoreistaan ja paperikoneistaan tuttu yhtiö on vuosien varrella muuttunut melkoisesti ja tullut omalla alallaan yhdeksi maailman merkittävimmistä toimijoista.

Jokainen SolidWorksia käyttänyt lienee huomannut ruutuun ilmestyvän Dassault Systèmes -yhtiön logon. Mutta mistä tuleekaan tuo nimi *Dassault*, joka niin läheisesti muistuttaa englannin kielen sana *assault*? Nimelle on varsin hyvät syyt, ja kun niitä ryhtyy selvittämään, huomaakin äkkiä päätyneensä satavuotiselle matkalle keskelle maailmansotien melskettä, eurooppalaisen ilmailun pioneereja, modernin ajan sotahistorian suuria voittoja ja CAD-suunnittelun edelläkävijöitä. Näin monet näennäisesti erilliset asiat nivoutuvatkin toisiinsa tavoilla, joita näyttöpäätteensä edessä tuskaileva opiskelija ei välttämättä tule ajatelleeksikaan.

Työn pisin osuus, luku 6, kuvaa kaikkein tärkeintä varsinaisessa työssä käytettyä työkalua, SolidWorksin *Equations*-toimintoa. Tämä ohjelman ominaisuus, joka koulutuksessa jää usein varsin vähäiselle huomiolle, nousikin työn edetessä arvoon arvaamattomaan ja avasi silmät sille, kuinka laajat tekniset mallinnusmahdollisuudet ohjelma oikeastaan tarjoaakaan. Tässä osiossa on pyritty esittelemään niitä ominaisuuksia, joista oli kaikkein vaikeinta ottaa selvää. Esimerkiksi yksinkertaista AND-komentoa ei käsitelty yhdelläkään opetussivustolla, ja siihen tuli törmättyä aivan sattumalta. Toivon mukaan tästä tulee olemaan jonkinlaista apua niille, jotka painiskelevat samankaltaisten ongelmien parissa, olivatpa he sitten opiskelijoita tai jo työelämässä.

LÄHTEET

Aloni, Shlomo. Mirage III vs MiG-21: Six Day War 1967. Osprey Publishing 2010.

Babcock & Wilcox. Products. Radiant Boilers. Viitattu 27.1.2020.

<https://www.babcock.com/products/radiant-boiler>

Bauer, Eddy: Toinen maailmansota (osa 1/6). WSOY 1973-1976.

Dassault Aviation A. Marcel Dassault. Viitattu 12.11.2019.

<https://www.dassault-aviation.com/en/passion/history/men/marcel-dassault/>

Dassault Aviation B. Military Dassault Aircraft. Viitattu 3.1.2020.

<https://www.dassault-aviation.com/en/passion/aircraft/military-dassault-aircraft/>

Dassault Aviation C. Rafale Deployment History. Viitattu 20.1.2020.

<https://www.dassault-aviation.com/en/defense/rafale/rafale-deployment-history/>

Dassault Systèmes. History. Viitattu 15.11.2019.

<https://www.3ds.com/about-3ds/history/>

Fortune. SolidWorks vets raise \$64 million for Onshape (6.3.2015). Viitattu 22.1.2020 (vaatii rekisteröitymisen).

<https://fortune.com/2015/03/06/exclusive-solidworks-vets-raise-64-million-for-onshape/>

MarketScreener. Dassault Aviation (AM). Viitattu 7.2.2020.

<https://www.marketscreener.com/DASSAULT-AVIATION-5215/company/>

SiliconANGLE. Cloudified product design is here (9.7.2019). Viitattu 24.1.2020.

<https://siliconangle.com/2019/07/09/not-your-dads-cad-cloudified-product-design-is-here-datadriven19-startupoftheweek/>

Valmet Oyj. Valmet lyhyesti. Viitattu 28.11.2019.

<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>