

# **Voimalaitospolttimien mitoitusohjelman kehittäminen ja 3D-visualisointi**

**Henri Karvonen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Henri Karvonen	
Työn nimi Voimalaitospolttimien mitoitusohjelman kehittäminen ja 3D-visualisointi	
Päiväys 15.1.2013	Sivumäärä/Liitteet 42/0
Ohjaaja(t) Jukka Huttunen, Raija Lankinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Oy Clean Flame Ltd	
<p><b>Tiivistelmä</b> Tämä opinnäytetyö oli kaksivaiheinen. Ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli päivittää yrityksen jo olemassa olevista Excel-pohjaisista mitoitusohjelmista yksi kattavampi helppokäyttöinen ja kaavojen osalta tarkastettu laskentaohjelma. Laskentaohjelmalla on suuri merkitys polttimien suunnittelussa ja tarjouspyyntöihin vastattaessa.</p> <p>Ensimmäinen vaihe piti sisällään pääasiassa Microsoft Excel -ohjelmiston ominaisuuksien muistelu, laskukaavoihin perehtymistä sekä laskentaohjelman käytännöllisyyden ja ulkonäön miettimistä.</p> <p>Toisessa vaiheessa tavoitteena oli tuottaa Oy Clean Flame Ltd:lle yrityksellä jo olemassa olevista 2D-työkuvista 3D-mallinnokset yrityksen omista voimalaitospolttimista. Tarkoituksena 3D-mallintamisella oli saada aikaiseksi mainoksiin ja esittelytilaisuuksiin käyvät selkeät 3D-mallit joita voitaisiin tulevaisuudessa käyttää myös polttimien jatkokehityksessä.</p> <p>Yhteenvetona voidaan todeta työn onnistuneen aikataulun pettämisestä huolimatta ensimmäisen vaiheen osalta yrityksen toiveet täyttävällä tavalla. Toisessa vaiheessa kuvista tuli jopa yrityksen odotuksia tarkempia ja näin toivottavasti tulevaisuudessa kehitys- ja markkinointityössä käytännöllisempiä.</p>	
Avainsanat Voimalaitospoltin, Suunnittelu, 3D-mallinnus, Laskentaohjelma, Excel	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology			
Author(s) Henri Karvonen			
Title of Thesis Development of Power Plant Burner's Calculation Program and 3D Visualisation			
Date	15.1.2013	Pages/Appendices	42/0
Supervisor(s) Jukka Huttunen, Raija Lankinen			
Client Organisation/Partners Oy Clean Flame Ltd			
<p><b>Abstract</b> This thesis consists of two phases. The objective of the first phase was to update the already existing Excel-based calculation programs and to make those programs into one calculation program that would be completely checked and easy to use. The calculation program is important when designing the burners and replying to the queries.</p> <p>The first phase of the thesis contained the recollect of the features of the Microsoft Excel software and full inspection of the program formulas, as well as their practicality and appearance.</p> <p>The objective of the second phase was to draw 3D-images of the Oy Clean Flame Ltd's own products. The images were based on 2D- technical drawings. The 3D-images were meant to be clear and easy to read. They were supposed to be used in product advertising and display purposes. The images could also be useful in the further development and marketing.</p> <p>As a summary it can be said that both of the phases were a success. The calculation program became much clearer and more useful and the 3D-images were even more accurate than expected. Only the schedule failed despite planning.</p>			
<b>Keywords</b> Power plant burners, 3D visualisation, 3D images, Excel, calculation program			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	Oy Clean Flame Ltd.....	7
	2.1 Yleistä .....	7
	2.2 Oy Clean Flame Ltd:n historia .....	8
	2.3 Organisaatio.....	9
	2.4 Asiakkaat .....	9
3	Oy Clean Flame Ltd:n poltinlaitteet.....	10
	3.1 Käynnistyspolttimet.....	11
	3.2 Kuormapolttimet.....	12
4	Voimalaitospolttimien mitoitushjelman kehittäminen.....	14
	4.1 Taulukkolaskentaohjelmien perusteet.....	14
	4.1.1 Ohjelman laatiminen taulukkolaskentaohjelmalla.....	15
	4.2 Mitoitushjelman kehittäminen .....	16
	4.3 Savukaasulaskut.....	18
	4.3.1 Öljyn pääkomponenttien reaktiot palamisessa.....	20
	4.3.2 Palamisilmantarve .....	22
	4.4 Laskentaohjelma .....	24
5	Polttimien 3D-visualisointi .....	27
	5.1 3D-grafiikka .....	27
	5.2 3D-grafiikka eri aloilla .....	28
	5.2.1 Rakentaminen.....	28
	5.2.2 Tiede .....	29
	5.2.3 Konesuunnittelu .....	30
	5.2.4 Simulointi .....	31
	5.3 Voimalaitospolttimien 3D-visualisointi .....	32
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....	38
	LÄHDELUETTELO .....	39
	KUVALÄHTEET .....	41

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä oli kaksi pääosa-aluetta, joista ensimmäisen tavoitteena oli tuottaa yritykselle jo olemassa olevista Excel-pohjaisista ohjelmista yksi tarkastettu ja pidemmälle jalostettu versio, joka olisi myös visuaalisesti helposti omaksuttava ja toimiva.

Suurin osa laskukaavoista käytiin vain läpi ja yhdistettiin yhteen ohjelmaan. Kaavoista löytyikin muutamia virheitä, jotka omalta osaltaan ovat todennäköisesti aiheuttaneet virheitä tuloksiin. Lisäksi ohjelmaan lisättiin savukaasulaskentaa ohjaaja Jukka Huttusen (Huttunen, 2012) avustuksella. Myös ohjelman visuaaliseen puoleen panostettiin. Tavoitteena oli selkeä ja helposti omaksuttava ohjelma, joka toteutettiin pääasiassa erottelemalla ennen yhdessä olleet öljy- ja kaasupolttimien laskennat.

Opinnäytetyön toisen vaiheen tavoitteena oli tuottaa yritykselle yrityksen valmistamien voimalaitospolttimien 2D-työkuvista yksityiskohtaiset ja selkeät 3D-mallinnokset. Kuvien tekemiseen käytettiin SolidWorks 2011 – ohjelmistoa, koska se oli työn alkuvaiheessa todennäköisin 3D-mallinnusohjelmisto, jonka yritys tulisi hankkimaan käyttöönsä.

Työ toteutettiin piirtämällä miltei osa osalta yksi kokovaihtoehto molemmista sekä öljy- että kaasupolttimista. Kuvia osista tuli kaiken kaikkiaan yli 200 johon lisättiin vielä osakokonaisuuksien ja kokonaisten polttimien kokoonpanokuvat.

Työn raportti alkaa lyhyellä selvityksellä Oy Clean Flame Ltd:n toiminnasta ja yrityksen valmistamista poltinlaitteista. Työnvaiheita käsittelevien osien alussa on lyhyt johdanto, joiden jälkeen kerrotaan vaihekohtaisesti itse työstä, sen haasteista ja saavutuksista.

## 2 Oy Clean Flame Ltd

### 2.1 Yleistä

Oy Clean Flame Ltd on varkautelainen vuonna 1985 Sisä-Savon Metallipörssi Oy nimellä aloittanut keskiraskas konepaja, jonka päätoimialana ovat polttolaitteiden kokonaistoimitukset aina suunnittelusta asennukseen asti. (Nupponen. 2008. 6)

Yritys on valmistanut polttolaitteita jo vuodesta 1986 alkaen ensin A. Ahlström Oy:lle ja sen jälkeen Foster Wheeler Energia Oy:lle. Vuonna 1995 yritykselle siirrettiin kokonaisuudessaan polttolaitteiden kehitystyö ja mekaaninen suunnittelu. (Nupponen. 2008. 6)

Vuoden 2004 alussa yritykselle siirrettiin myös kokonaisuudessaan Foster Wheeler Energia Oy:n polttolaiteteknologian käyttöoikeus. Sopimuksen myötä yrityksestä kasvoi polttolaitteiden kokonaistoimittaja, joka toimittaa tuotteitaan suoraan voimalaitoksille ja voimalaitostoitimittajille. (Nupponen. 2008. 6)

Vuoden 2011 lopussa yrityksen liikevaihto oli noin 2,9 miljoonaa euroa. Yritys työllistää omistajien lisäksi noin 20–35 henkilöä tilauskannasta riippuen.

## 2.2 Oy Clean Flame Ltd:n historia

Oy Clean Flame Ltd perustettiin joulukuussa 1985 Sisä-Savon Metallipörssi nimellä. Yrityksen toiminta on saanut alkunsa voimakattiloiden poltinlaitteita valmistaneesta Hakemet osakeyhtiöstä. (Kainulainen, 2007, s. 7)

Hakemet Oy:n lopettaessa toimintansa kolme yrityksen entistä työntekijää ja yksi ulkopuolinen henkilö perustivat Sisä-Savon Metallipörssin täyttämään Hakemetin lopettamisesta jääneet tarpeet. Ensimmäisen ulkopuolisen työntekijänsä yritys palkasi jo ennen vuoden 1985 loppua. Vuonna 1987 yritykseen palkattiin ensimmäinen toimistosihteri ja toimistotyöntekijä, ja vuonna 1994 ensimmäinen tekninen suunnittelija. (Kainulainen, 2007, s. 7)

Tuotantonsa yritys aloitti Mestarintieltä Varkaudesta vuokratessa 430 m<sup>2</sup> tuotantohallissa. Syksyllä 1989 yritys muutti myös Mestarintiellä sijainneeseen 1200 m<sup>2</sup> tuotantohalliin. Nykyiset 2700 m<sup>2</sup> tuotantotilat yritys rakennutti yhteistyössä Keski-Savon Teollisuuskylä osakeyhtiön kanssa Varkauteen Leijukujalle vuonna 1998. (Kainulainen, 2007, s. 7)

Vuonna 2008 yritys vaihtoi nimensä Sisä-Savon Metallipörssistä, Oy Clean Flame Ltd:ksi. Uuden nimen ajateltiin toimivan paremmin kansainvälisillä markkinoilla. Samalla nimi kertoi yrityksen aikeista keskittyä enemmän polttimien valmistamiseen päätuotteena.



### 2.3 Organisaatio

Oy Clean Flame Ltd:llä on kaksi omistajaa. Omistajat myös muodostavat yrityksen hallituksen neljän työntekijän kanssa ja toimivat aktiivisesti yrityksen päivittäisessä toiminnassa. (Nupponen, 2008, s. 8)

Yrityksen henkilöstöön kuuluu tällä hetkellä noin 26 henkilöä omistajat mukaan luki-en, mutta henkilöstön määrä vaihtelee 20–35 henkilön välillä tilauskannasta riippuen. Toimistossa työskentelee yksi toimistotyöntekijä, myyjä, rahoituspäällikkö, tuotanto-päällikkö, kaksi suunnittelijaa ja toimitusjohtaja. Lisäksi yrityksellä on ulkopuolinen laatupäällikkö. (Nupponen, 2008, s. 8)

### 2.4 Asiakkaat

Tällä hetkellä Oy Clean Flame Ltd:n pääasiakkaita ovat Andritz Oy, Foster Wheeler energia, Foster Wheeler Service, Stora Enso Oy ja YIT Power Oy sekä Aikawa Fiber Technologies (AFT) Oy. (Kainulainen, 2007, s. 7)

### 3 Oy Clean Flame Ltd:n poltinlaitteet

Jo yrityksen perustamisvuodesta 1986 alkaen Oy Clean Flame Ltd:n valmistamiin tuotteisiin ovat kuuluneet poltinlaitteet. Aluksi laitteita valmistettiin A. Ahlströmille ja sittemmin Foster Wheeler Oy:lle. Vuodesta 1995 myös polttolaitteiden mekaaninen suunnittelu ja kehitystyö ovat kuuluneet kokonaisuudessaan Oy Clean Flame Ltd:lle. (Nupponen, 2008, s. 8)

Vuonna 2004 Oy Clean Flame Ltd:lle siirrettiin sopimuksella kokonaisuudessaan Foster Wheeler Oy:n polttolaiteteknologian käyttöoikeus. Sopimuksen myötä Oy Clean Flame Ltd.:stä tuli polttolaitteiden kokonaistoimittaja ja myös aikaisemmin voimassa ollut myyntirajoitus poistui. (Nupponen, 2008, s. 9)

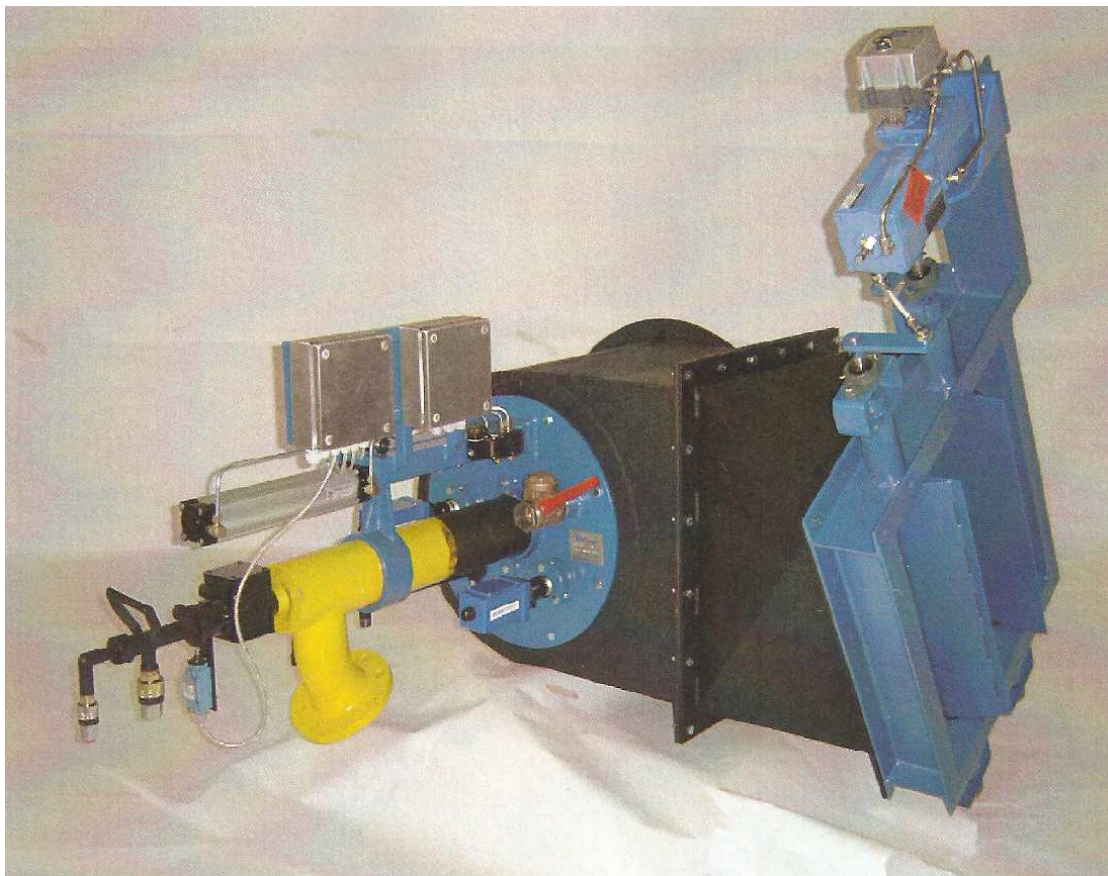
Oy Clean Flame Ltd suunnittelee ja valmistaa käynnistys-, kuorma- ja erikoispolttimia pääasiassa voimalaitoskäyttöön. Polttoaineena yrityksen suunnittelemissa polttimissa voidaan käyttää kevyt- ja raskasöljyä sekä maakaasua. Polttolaitteiden kokonaistoimitukset kattavat myös sytytyskaasuasemat, pumppuasemat, lukitustaulut, määrämittausryhmät, putkistot sekä tarvittaessa ohjauslogiikan. Laitteet räätälöidään aina asiakkaiden tarpeiden mukaan ja asiakkaalle toimitetaan laitteiden dokumentaatiot sekä tarvittavat huolto- ja käyttöohjeet. (Nupponen, 2008, s. 9)

### 3.1 Käynnistyspolttimet

Käynnistyspolttimia joita usein myös kutsutaan starttipolttimiksi, käytetään leiju- ja kiertopetikattiloissa esilämmitykseen. Esilämmityksellä tarkoitetaan sitä, että pedin ylä- sekä alapuoleinen petimateriaali lämmitetään 600–650 asteiseksi ennen kiinteän polttoaineen polton aloittamista. Käynnistyspolttimia käytetään myös kattilan alasajon yhteydessä lämpötilan hallittuun pudottamiseen ja joissain tapauksissa myös niin sanottuina tukipolttimina, joilla ylläpidetään määrättyä lämpötilaa silloin kun poltetaan matalan lämpöarvon omaavaa tai kosteaa kiinteää polttoainetta. (Nupponen, 2008, s. 9)

Kattiloiden suurien lämpökapasiteettien vuoksi nopeat lämpötilavaihtelut eivät ole suotavia. Tämän vuoksi ylös- ja alasajo tilanteissa käynnistyspolttimia käytetäänkin yhtäjaksoisesti yleensä jopa toistakymmentä tuntia. (Nupponen, 2008, s. 9)

Käynnistyspolttimien polttoaineena voidaan käyttää kevyt- ja raskasöljyjä sekä maakaasua. Tehoalueet ovat väliltä 4-40MW ja säätöalue on tyypillisesti 1:5. Leiju- ja kiertopetikattiloissa käynnistyspolttimet sijoitetaan poltinpää alaspäin 30 asteen kulmassa kattilan alaosaan sivu- tai päätyseinille. (Nupponen, 2008, s. 9)



Kuva 1. Käynnistyspoltin, kevytöljy/maakaasu. (Nupponen, 2008, s. 10)

### 3.2 Kuormapolttimet

Kuormapolttimet ovat rakenteeltaan lähes käynnistyspolttimien kaltaisia ja niitä voidaan käyttää käynnistyspolttimien tukena prosessin ylösajossa. Kuormapolttimien päätarkoituksena on kattilakuorman ylläpitäminen ja niitä käytetäänkin yleensä silloin, kun kattilassa ei polteta kiinteää polttoainetta. Kuitenkin kuormapolttimia voidaan kuitenkin käyttää myös tukipolttimina silloin, kun kiinteää polttoainetta poltettaessa polttoaineen syöttöön tulee häiriöitä, polttoaineen lämpöarvo on matala tai polttoaine on liian kostea. (Nupponen, 2008, s. 10)

Tehoalueet kuormapolttimilla ovat väliltä 4-60MW:n ja tyypillinen säätöalue 1:5. Polttoaineena kuormapolttimissa voidaan käyttää kevyt- ja raskasöljyä sekä maakaasua. Kuormapolttimet sijoitetaan käynnistyspolttimien yläpuolelle 30 asteen kulmaan poltinpää alaspäin tai vaakasuoraan sivu- ja päätyseinille. (Nupponen, 2008, s. 10)

Nykyaikaiset kuormapolttimet ovat yleensä Low-NO<sub>x</sub>-polttimia, joissa palamisilma ja polttoaineen syöttö on vaiheistettu. (Nupponen, 2008, s. 11)



Kuva 2. Low-NO<sub>x</sub> kuormapoltin, maakaasu. (Nupponen, 2008, s. 11)

## 4 Voimalaitospolttimien mitoitusohjelman kehittäminen

Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa tavoitteena oli päivittää yrityksen jo olemassa olevista Excel-pohjaisista mitoitusohjelmista yksi kattavampi helppokäyttöinen ja kaavojen osalta tarkastettu laskentaohjelma.

### 4.1 Taulukkolaskentaohjelmien perusteet

Taulukkolaskentaohjelma on tietokoneohjelma, joka on tarkoitettu numeerisen datan käsittelyyn. Taulukkolaskentaohjelmassa kaikki data tallennetaan kaksiulotteisen taulukon ruutuihin joita kutsutaan soluiksi (Mäkinen, 2009, s. 1). Taulukon kuhunkin soluun voidaan tallentaa tietoa joko tekstinä, numeroina tai matemaattisina kaavoina (Pitkänen, 2012). Tallettavaa dataa kutsutaan syötteeksi ja saatavaa dataa tulosteeksi.

Taulukkolaskenta soveltuu parhaiten numeerisen tiedon visualisointiin ja numeerisessa muodossa olevien ongelmien toistuvaan käsittelyyn. Tällöin joko yksinkertaisia laskuja tarvitaan useasti tai samassa laskennassa käytetään samoja operaatioita toistuvasti. Taulukkolaskentaohjelmia voidaan käyttää myös esimerkiksi taulukkomuotoiseen tekstinkäsittelyyn tai yksinkertaisen kortistotietokannan ylläpitoon (Pitkänen, 2012). Lisäksi taulukkolaskentaan voidaan liittää kehittyneitä makrokieliä, joilla voi toteuttaa monimutkaisia laskuoperaatioita tai joista esimerkiksi tehdä soluarvojen hakukoneen. Solujen arvoista voidaan myös muodostaa erilaisia kuvaajia, esimerkiksi pylväikköjä ja piirakoita.

#### 4.1.1 Ohjelman laatiminen taulukkolaskentaohjelmalla

Kuten edellä mainittiin, taulukkolaskenta ohjelmalla voidaan ratkaista yksittäisiä ongelmia, ylläpitää kortistotietokantoja ja käsitellä taulukko muotoista tekstiä, mutta sillä voidaan myös luoda laskentaohjelma. Tämän mahdollistaa ominaisuus, jonka avulla samojen solujen arvoa voidaan käyttää useisiin eri soluissa sijaitseviin laskuihin ja jo saatuja tulosteita voidaan käyttää syötteinä toisessa laskussa. Näin ollen ensimmäisen laskun syötettä muutettaessa myös muiden laskutoimituksien, jotka esimerkiksi käyttävät muutettavan laskun tulosta laskutoimituksen arvona, tulos päivittyy.

Ohjelma on mahdollista saada toimimaan hyvin, kun tiedämme miten ongelma ratkaistaan, eli kuinka tietyistä syötteistä saadaan asianmukaiset tulosteet. Käytännössä ei siis ole mahdollista luoda ohjelmaa, joka on älykkäämpi kuin tekijänsä. Toimiva ohjelma on myös ulkoasultaan selkeä eli tietojen asettelu soluihin tulisi olla luonnollista ja havainnollista. Tämä voidaan toteuttaa usealla tavalla esimerkiksi erottelemalla syötteet ja tulosteet toisistaan:

- muuttamalla solujen pohjaväriä tai kokoa
- muuttamalla fonttia, fontin väriä tai kokoa
- lihavoimalla tai kursivoimalla fonttia
- reunustamalla soluja

Jos on tarpeen, välitulokset voidaan esimerkiksi tulostaa eri taulukoihin tai muuttaa näkymättömiksi, mikä myös selkeyttää ulkoasua.

Ohjelman laatimisen alussa kannattaa selvittää, mitä muuttujia tarvitaan mihinkin laskuun ja voidaanko esimerkiksi toisesta laskusta saatua tulostetta käyttää muuttujana. Muuttujat kannattaa kirjata taulukkoon selkeyden vuoksi esimerkiksi muodossa:

Selite	Syöte	Yksikön tunnus
--------	-------	----------------

Syötteiden kirjauksen jälkeen voidaan alkaa laatimaan tulosteita. Käytännössä tulosteet kannattaa kirjata samassa järjestyksessä kuin syötteet. Erona siis vain, että syötteen paikalle luodaan kaava, johon käytetään syötteiden soluviitteitä ja mahdollisesti vakioita.

## 4.2 Mitoitusohjelman kehittäminen

Ennen opinnäytetyön aloittamista yrityksellä oli käytössä kaksi eri Excel-pohjaista laskentaohjelmaa, joissa molemmissa oli omat hyvät ja huonot puolensa. Syy kahdelle ohjelmalle oli pääohjelmassa eli kattavammassa ohjelmassa epäilty virhe ohjelman antamissa tuloksissa. Pääohjelman tehneet työntekijät eivät kuitenkaan enää olleet yrityksen palveluksessa ja vaikka nykyiset käyttäjät olivat useaan otteeseen ajatelleet itse tarkistavansa ja kehittävänsä ohjelmaa sen kaavojen tarkastaminen ja korjaaminen oli jäänyt odottamaan. Kaavat olisivatkin vaatineet perehtymistä ja työhön olisi kulunut huomattavasti aikaa muun työn ohella. Käyttäjät olivatkin tehneet ominaisuuksiltaan suppeamman ohjelman yksinkertaisilla kaavoilla. Tästä ohjelmasta puuttui kuitenkin suunnittelussa ja tarjouslaskennassa tarvittavia ominaisuuksia, joten ohjelmia jouduttiin käyttämään ristiin.

Aloittaessamme uuden ohjelman kasausta päätimme ottaa pohjaksi uudelle ohjelmalle kattavamman ohjelman, koska ohjelma sisälsi paljon käyttäjille tarpeellisia tulosteita, muun muassa tarjouksiin liitettävät valmiit tulostussivut, joista käy ilmi laskettujen polttimien tiedot. Ensimmäisenä tarkastelimme kuitenkin suppeampaa ohjelmaa ja huomasimme ohjelman sisältävän kohdan, jossa käyttäjän täytyy itse visuaalisesti etsiä kerroin korkeuden vaikutukselle ilman tiheyteen diagrammista polttimen tulevan sijoituspaikan korkeuden merenpinnasta perusteella. Tällainen visuaalinen diagrammin tarkastelu tietysti voi aiheuttaa virhettä ja hajontaa saatuihin tuloksiin. Kyseinen arvo puuttui kattavammasta ohjelmasta kuitenkin kokonaan, joten tämä olikin ensimmäinen liitettävä kohta uuteen ohjelmaan kuitenkin siten, että käyttäjän tarvitsee syöttää vain polttimen sijoituspaikan korkeus ja ohjelma laskee kertoimen.

Keskusteltuamme ohjelman käyttäjien kanssa kävi ilmi, että kattavammassa ohjelmassa oli myös laskennan lähtökohtaan liittyvä virhe, jonka käyttäjät olivat kuitenkin korjanneet omaan suppeampaan ohjelmaansa. Kattavamman ohjelman laskenta lähti liikkeelle polttoaineen kulutuksesta vaikka käyttäjien näkökulmasta lähdetään liikkeelle suunniteltavan polttimen tehosta, mistä sitten saadaan polttimen polttoaineen kulutus. Virhe teki ohjelmalla laskemisesta kokeilemista halutun poltintehon löytämiseksi. Kattavammasta ohjelmasta löysimme myös muutamia muita pieniä virheitä, jotka kuitenkin aiheuttivat huomattavasti virhettä tuloksiin, esimerkiksi muuttujia jotka ovat syystä tai toisesta vaihtuneet kiinteiksi luvuiksi eli vakioiksi.



Kaavojen tarkistamisen ja virheiden korjaamisen lisäksi ohjelman selkeyttä ja käytettävyyttä parannettiin myös esimerkiksi erottelemalla öljy- ja kaasulaskenta sekä lisäämällä tiettyjen arvojen sisälle pyrkivien tulosteiden perään huomautus "YLITYS" jos arvo ylitetään ja "OK" kun ollaan tavoitearvojen sisällä.

Ohjelmaan ehkä suurimpina lisäominaisuuksina tulivat poltto- ja savukaasulaskenta sekä polttoaineen valintaa helpottava välilehti. Ominaisuuksia tehdessä ohjaaja Jukka Huttunen (Huttunen, 2012) olikin suureksi avuksi tarjoamalla pohjan sekä ohjeita välilehtien tekemiseen, sillä nämä ominaisuudet sisälsivät kuitenkin huomattavan määrän kaavoja sekä polttoaineen valinta-välilehti tietoja poimivan makron. Näiden avulla ohjelmasta tuli huomattavasti monipuolisempi ja tarkempi sekä polttoaineen valinta välilehden avulla helppokäyttöisempi. Näistä sekä yrityksen ajatuksissa olleista ohjelman jatkojalostus ideoista lisää kuitenkin seuraavissa kappaleissa 4.3 ja 4.4.

### 4.3 Savukaasulaskut

Savukaasulaskut olivat ehkä suurin lisä Excel -ohjelmaan. Savukaasulaskuissa pyritään selvittämään useita asioita, muun muassa kuinka:

- paljon happea tarvitaan tietyn polttoainemäärän polttamiseen täydellisesti
- paljon (kuivaa ja kosteaa) ilmaa tarvitaan, että saadaan tarpeeksi happea.
- paljon savukaasuja muodostuu.
- kuinka suuret savukaasujen eri komponentti pitoisuudet ja kokonaismäärä ovat. Etenkin:
  - Hiilidioksidi CO<sub>2</sub>
  - Vesi H<sub>2</sub>O
  - Typpioksidi eli typpimonoksidi NO
  - Rikkidioksidi SO<sub>2</sub>

Saadut pitoisuudet redusoidaan yleensä vaadittuun savukaasun tilaan, joka vaihtelee laitoksen koon ja kohdemaan mukaan. Suomessa polttolaitoksilla hapen määrä savukaasuissa saa olla 6 tilavuusprosenttia ja pienpoltossa 13 tilavuusprosenttia.

- Palamisessa vapautuva energia:
  - Reaktiolarmpö eli palamisen lämpösisältö (entalpia). Reaktiolarmpöä ei voida mitata, mutta se voidaan laskea kaavalla:

$$H=U+pV$$

missä U on systeemin sisäenergia, p systeemin paine ja V tilavuus.

- Polttoaineen lämpöarvo (MJ/kg)
- Energiahäviöt

(Puttonen, 2009)

Savukaasulaskuissa on huomioitava polttoaineen komponentit ja niiden pitoisuudet. Työssä laadittujen polttolaskujen huomioon otetut komponentit olivat:

Polttoaineen ollessa öljy:

- Hiili (C)
- Vety ( $H_2$ )
- Rikki (S)
- Happi ( $O_2$ )
- Typpi ( $N_2$ )
- Vesi ( $H_2O$ )
- Tuhka
- Mekaaniset epäpuhtaudet

Polttoaineen ollessa kaasu:

- Metaani ( $CH_4$ )
- Etaani ( $C_2H_6$ )
- Propani ( $C_3H_8$ )
- Butaani ( $C_4H_{10}$ )
- Vety ( $H_2$ )
- Rikki ( $H_2S$ )
- Hiilimonoksidi (CO)
- Hiilidioksidi ( $CO_2$ )
- Vesi ( $H_2O$ )
- Typpi ( $N_2$ )

Osan näistä komponenteista yritys saa polttoaine analyseistä. Osa jää kuitenkin yleensä nolaksi. Ainemäärät ilmoitetaan tilavuusprosentteina, eli kuinka monta prosenttia mitäkin komponenttia on polttoaineessa.

Itse laskuissa käytetään kemiallisia reaktioita ja niiden kertoimien osoittamia aine-määriä. Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla määritetään ilman absoluuttinen kosteus, useimmiten veden höyryn paineena tai mooleina. On myös huomi-oitava, että paine ja lämpötila vaikuttavat kaasujen tilavuuteen.

Vaikka laskemalla voidaankin arvioida päästöt melko tarkasti, on tärkeää että savukaasujen komponentit mitataan. Laskuista saadaan vain täydellisen palamisen aiheuttamat teoreettiset päästöt. Laskemalla ei saada todellisia typenoksidipäästöjä, koska ne riippuvat paljon palamisolosuhteista. Myöskään hiukkaspäästöjä ei saada laskemalla, koska ne riippuvat monista eri tekijöistä palamisessa.

#### 4.3.1 Öljyn pääkomponenttien reaktiot palamisessa

Polttoaineet sisältävät palavina komponentteina ainoastaan hiiltä (C), vetyä (H<sub>2</sub>) ja rikkiä (S). Palamisilmantarve- ja savukaasulaskuja tehdessä on tärkeää tuntee näiden aineiden reaktiot hapen kanssa.

Reaktiot tapahtuvat todellisuudessa monimutkaisten, eri välivaiheita sisältävien reaktio ketjujen kautta, mutta reaktiot voidaan myös esittää yksinkertaisempina nettoreaktioina. Nettoreaktioissa esitetään vain lähtöaineet ja lopputuotteet.

Kuitenkin palamisilmantarvetta tai savukaasuja laskettaessa saadaan riittävät tiedot nettoreaktiokaavoista. (Huhtinen, 2006, s. 53)

- **Hiili C**

Hiili on tärkein palava komponentti kaikissa yleisimmin käytetyissä polttoaineissa.

Hiilen palamista kuvaava nettoreaktiokaava on:



Eli mooli hiiltä vaatii täydellisesti palaakseen moolin happea ja tuloksena on mooli hiilidioksidia. Samalla vapautuu lämpöä 411 kJ/mol. Jos hiili ei pala täydellisesti muodostuu hiilimonoksidia CO. (Huhtinen, 2006, s. 53)

- **Vety H<sub>2</sub>**

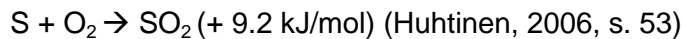
Vedyn palamisen nettoreaktiokaava on:



Eli kaksi moolia vetyä tarvitsee palaakseen moolin happea ja tuloksena on kaksi moolia divetyoksidia, eli vettä. Samalla vapautuu lämpöä 252 kJ/mol. Vedyn palaessa syntyy siis puhdasta vesihöyryä. (Huhtinen, 2006, s. 53)

- **Rikki S**

Rikin palamisen nettoreaktiokaava on:



Rikin katsotaan muuttuvan palamisessa lähes täydellisesti rikkidioksidiksi  $\text{SO}_2$ . Hyvin pieni osuus reagoi rikkitrioksidiksi  $\text{SO}_3$ . (Huhtinen, 2006, s. 53)

Polttoaineissa on myös komponentteja, jotka eivät pala mutta vaikuttavat kuitenkin palamistapahtumaan. Tällaisia komponentteja ovat polttoaineen sisältämä happi, typpi, kosteus ja tuhka. (Huhtinen, 2006, s. 53)

- **Happi:** Polttoaineen sisältämä happi pienentää palamisilman tarvetta. (Huhtinen, 2006, s. 53)
- **Kosteus:** Polttoaineen kosteus höyrystyy ennen palamista pienentäen polttoaineen lämpöarvoa. (Huhtinen, 2006, s. 53)
- **Typpi:** Osa polttoaineen typestä muodostaa ympäristön kannalta haitallisia typpioksideja. (Huhtinen, 2006, s. 53)
- **Tuhka:** Polttoaineen sisältämä palamaton tuhka puolestaan lisää savukaasujen pölypitoisuutta ja puhdistustarvetta. Tietyt tuhkan komponentit (Natrium (Na), Vanadiini (V)) toimivat myös palamisreaktioiden katalyytteinä, jolloin palamisnopeudet moninkertaistuvat. (Huhtinen, 2006, s. 53)

Ilmantarvetta ja savukaasumääriä laskettaessa voidaan polttoaineen sisältämän tyypin, kosteuden ja tuhkan olettaa siirtyvän sellaisinaan savukaasuihin. (Huhtinen, 2006, s. 55)

### 4.3.2 Palamisilmantarve

Palamisilmantarve on yksi tärkeimmistä laskettavista suureista poltinlaitteita suunniteltaessa. Teoreettista palamisen tarvitsemää ilmamäärää sanotaan stökiometriseksi ilmamääräksi, jolloin ilmakerroin on yksi. Stökiometrisellä palamisella tarkoitetaan ideaalista palamista, jossa polttoaineen palavat komponentit reagoivat täydellisesti ideaaliseen lopputuotteeseen. (Vakkilainen, 2008, s. 25)

Palamiseen tarvittava hapen määrä saadaan laskettua reaktioyhtälöiden avulla. Kuten kappaleessa 4.3.1 käytiin läpi, hiilen reaktioyhtälön mukaan tietty moolimäärä hiiltä tarvitsee täydellistä palamista varten saman moolimäärän happea. Samoin rikin palamisessa tietty moolimäärä vaatii saman moolimäärän happea, kun taas vedyn palaessa tarvittava happimoolimäärä on vain puolet vedyn moolimäärästä. (Huhtinen, 2006, s. 54)

Koko polttoaineen palamisen edellyttävä hapentarve saadaan selville laskettaessa yhteen eri komponenttien hapentarve ja vähentämällä tästä polttoaineessa oleva hapen määrä. Näin saatu ilmamäärä on teoreettinen ilmakertoimella yksi tapahtuvassa palamisessa eli niin sanotussa stökiometrisessä palamisessa. Palamiseen tarvittava happi saadaan ilmasta. Ilma sisältää 21 prosenttia happea ja 79 prosenttia typpeä. Näin yhtälöksi saadaan, että ilman tarve on  $1/0,21$  eli 4,76-kertainen laskettuun hapen tarpeeseen nähden. Näin saatu ilmamäärä on mooleina. Kertomalla luku ilman molekyylipainolla (28.96 g/mol) saadaan ilmamäärä grammoina. Jos taas halutaan ilmoittaa ilmamäärä tilavuusyksiköissä, kerrotaan moolimäärä ilman moolitilavuudella (22.40 l/mol). (Huhtinen, 2006, s. 54)

Käytännössä polttoaineen täydellistä palamista ei kuitenkaan saavuteta teoreettisella ilman minimimäärällä vaan tulipesään täytyy aina syöttää jonkin verran tätä enemmän ilmaa. Käytetyn todellisen ilmamäärän suhdetta teoreettiseen ilmamäärään nimitetään ilmakertoimeksi ( $\lambda$ ). (Huhtinen, 2006, s. 54)

Kaasumaisilla ja nestemäisillä polttoaineilla voidaan käyttää suhteellisen pientä tyypillisesti luokkaa 1,05 - 1,3 olevaa ilmakerrointa. Todellinen ilmamäärä saadaan ilmakertoimen ja teoreettisen ilmamäärän avulla käyttämällä kaavaa:

$$V_i(\text{tod}) = \lambda \cdot V_i(\text{teor}) \quad (\text{Huhtinen, 2006, s. 54})$$

## 4.4 Laskentaohjelma

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Öljy																				
2																					
3																					
4	= Syötetään																				
5	= Saadaan																				
6	Palamislaskenta																				
7	Ilmanpaine	p	1,0133	bar	Vesihöyrynpaine	Ph	2,337	Vesihöyryä ilmassa	0,015223	mol											
8	Ilman lämpötila	t	200	°C	Suhteellinen kosteus		66 %	Kosteuden suhteellinen	0,015458												
9		T	473,15	K																	
10																					
11																					
12																					
13																					
14	LHV 45 MJ/kg																				
15	Tiheys 0,88 kg/dm³																				
16	Polttoaine Kerät polttoöljy																				
17	Polttoaine																				
18		Kuiva p%	Koste a p%	m (g)	M (g/mol)	a (mol)	Ilmaa	aO2	aCO2	aN2	aH2O	aSO2									
19	C	85,00 %	85,00 %	850	12,01	70,77	70,77	70,77													
20	N2	0,00 %	0,00 %	0	28,01	0,00				0,00											
21	H2	14,00 %	14,00 %	140	2,02	69,44	34,72				69,44										
22	O2	0,00 %	0,00 %	0	32,00	0,00	0,00														
23	H2O	0,00 %	0,00 %	0	18,02	0,00															
24	S	0,10 %	0,10 %	1	32,07	0,03	0,03						0,03								
25	Cl	0,00 %	0,00 %	0							0,00			0,03							
26	teikka	0,30 %	0,30 %	3																	
27	Yhteensä	#####	#####	1000			105,52	70,77	0,00	69,44	0,03										
28							337,82			337,82											
29							503,34														
30							7,78			7,78											
31								70,77	337,82	77,22	0,03										
32																					
33																					
34	Kosteaa ilmaa	511,12	aO2	Kosteaa savuka	545,84	aH2O															
35	Tyypin ilmassa vrt. happeen			Kosteutta ilmassa		0,0155															
36				1 mol =	0,022414	m3a															
37																					
38	Palamisilman ominaistarve	11,45624	m3a / kgP	Savukaasujen ominaism	12,235	m3a / kgP															
39	Savukaasut																				
40																					
41	Säätälämpötila A= 1,31 t= 200 °C 473,15 K																				
42																					
43	Korkeus	100	m	Savukaasun tiheys	1,34	kg / m3a	O2 kuivissa savukaasuissa	5,24 %													
44	Korkeuden vaikutus ilman tiheys:	1,19	kg/m3	Palamisilmaa	15,01	m3a / kgP	CO2 kuivissa savukaasuissa	11,33 %													
45	Ilman tiheys	0,68	kg/m3	Savukaasua	15,73	m3a / kgP	SO2 kuivissa savukaasuissa	142,7 mg / m3a													
46																					
47																					
48		mol	mol	g	g / mol	% til.	m3a														
49	CO2	70,77	70,77	3114,52	44,01	0,100	1,53														
50	N2	337,82	521,14	14598,72	28,01	0,740	11,68														
51	O2	105,52	32,71	1046,74	32,00	0,046	0,73														
52	H2O	77,22	79,64	1434,66	18,02	0,113	1,78														
53	Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00														
54	SO2	0,03	0,03	2,00	64,07	0,000	0,00														
55	Yhteensä	704,23	20196,64	28,68	100,00 %	15,73															
56	Yhteensä kuivat savukaasut	624,65	18761,38	30,04	14,00																
57																					
58																					

Kuva 3. Polttolaskenta työssä kehitetystä ohjelmasta. (Oy Clean Flame Ltd., POLTTIMEN MITOITUS V1.05.xls)

Kuvassa 3 on Jukka Huttusen (Huttunen, 2012) avustuksella laskentaohjelmaan laadittu öljypolttimen polttolaskenta, jossa alimmaisena on myös nähtävillä savukaasulaskenta. Polttolaskenta hakee tarvittavat tiedot suoraan laskentaohjelman pääsivulta, johon muuttujat täytetään. Polttoaineille on oma välilehti, johon niiden komponenttipitoisuuksia voidaan listata useampien polttoaineanalyysien perusteella.



Tulevaisuudessa yritys aikoo kehittää laskentaohjelman savukaasupuolta hiilimonoksidin eli hään (CO), typen oksidien (NOx), ja mahdollisesti orgaanisen kokonaishiilen (TOC) laskennalla.

- Hiilimonoksidi eli häkä (CO)  
Hiilen ja hapen yhdiste joka on hajuton, väritön, myrkyllinen, reaktioherkkä ja erittäin helposti syttyvä kaasu. Hiilimonoksidia syntyy kun hiili tai hiiltä sisältävät aineet palavat epätäydellisesti eli liian vähässä happimäärässä tai kun palaminen tapahtuu hyvin korkeassa lämpötilassa (Työterveyslaitos).
- Typen oksidit NOx  
Yleensä typen oksideista puhuttaessa puhutaan typpimonoksidista NO ja typpidioksidista NO<sub>2</sub>. NOx päästöistä tavallisesti 95% on typpimonoksidia ja 5% typpidioksidia. Typpimonoksidi ja typpidioksidi ovat kaasuja, joita esiintyy ilmakehässä pieniä määriä jo luonnostaankin, mutta pääasiassa ihmisen toiminnasta aiheutuvina ilmansaasteina. (Hengitysliitto)  
  
Typen oksideja muodostuu tpestä ja hapesta korkeissa lämpötiloissa, esimerkiksi palamisen yhteydessä. Typen oksidien muodostumiseen voidaan kuitenkin vaikuttaa polttotekniikalla, polttoaineen ominaisuuksilla sekä kattilan palamisolosuhteilla, esimerkiksi lämpötilalla, ilmamäärällä ja kattilan ilman- syötöllä. (Poltto ja Palaminen, 2002)
- Orgaaninen kokonaishiili TOC (Total Organic Carbon)  
Muodostuu kovalenttisesti sitoutuneista orgaanisista hiilyhdisteistä.

Öljytaulukko														
	Rivi	16	28	20	21	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Sarake	2	2	2	2	10	10	10	10	10	10	10	10	
		Light / heavy	cSt	kJ/kg	kg/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	%	%	%	%	
	Kauppanimi	Öljynlaatu	Viskositeetti	Lämpöarvo	Tiheys	C	H <sub>2</sub>	S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	tuhka	mek. epäpuhtaus	
	Valitse	Kevyt öljy	Light oil	10	42000	853,5	86 %	13,71 %	0,10 %	0 %	0 %	0 %	0,19 %	0 %

Kuva 4. Polttoaineen valinta -välilehti opinnäytetyössä kehitetystä ohjelmasta (Oy Clean Flame Ltd, POLTTIMEN MITOITUS V1.05.xls)

Kuvassa 4 on polttoaineen valinta –välilehti, jollainen tehtiin öljylle ja kaasulle. Välilehdelle voidaan täyttää polttoaineanalyysistä saatuja tietoja eli kuinka paljon mitäkin komponenttia on prosentteina polttoaineessa. Jukka Huttusen (Huttunen, 2012) avustuksella saatiin makro, joka helpottaa tietojen poimimista. Makron avulla ei tarvitse kuin valita poimittavan polttoaineen kauppanimi ja klikata ”Valitse”-ruutua, jolloin makro vie valitun polttoaineen komponentti tiedot niitä käyttäviin soluihin.

Polttoaineen valinta-välilehden lisäksi laskentaohjelman niin sanotuille päälaskentasivuille tehtiin mahdollisuus syöttää polttoaineen komponentit suoraan laskettavaksi, ilman taulukkoon lisäämistä ja sieltä valitsemista.

## 5 Polttimien 3D-visualisointi

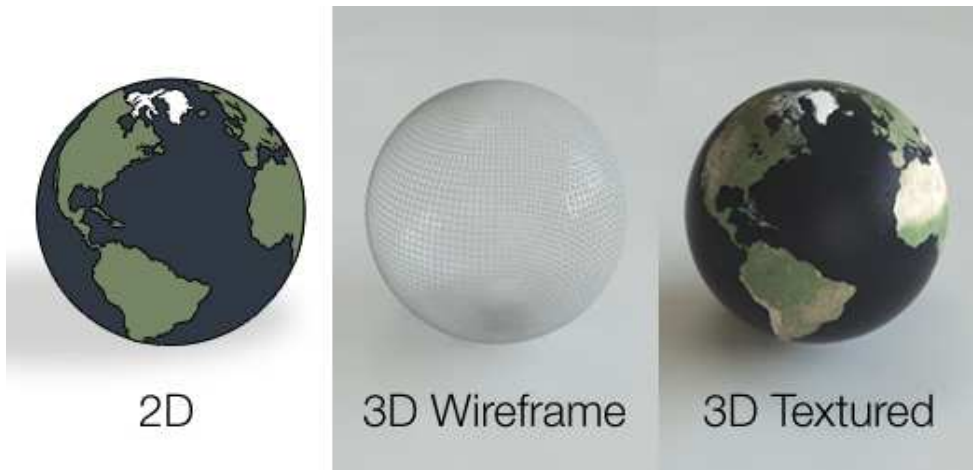
### 5.1 3D-grafiikka

3D-grafiikka eli kolmiulotteinen grafiikka on tietokonegrafiikkaa, joka on sisäisesti mallinnettu kolmen tilaulottuvuuden suhteen. Vaikka 3D-grafiikassa onkin kolmas ulottuvuus, esitetään se yleensä kaksiulotteiselle kuvapinnalle projisoituna (Lehtiranta, 2010). Tämä tarkoittaa sitä, että kuva näytetään tasopinnalla, mutta silmä hahmottaa kuvasta syvyysmuodon. On kuitenkin olemassa erilaisia näyttöjä ja apuvälineitä, joilla kuva saadaan ikään kuin "nousemaan" tasopinnasta ja näyttämään näin todellisemmalta.

Nykypäivänä 3D-grafiikkaa näkee tyypillisimmin tietokoneavusteisessa suunnittelussa, aikakauslehtien ja television kuvituksessa, elokuvissa ja tv-ohjelmissa, sekä tietokone- ja videopeleissä. (Lehtiranta, 2010)

3D-grafiikka on yleensä vektorigrafiikkaa, eli se perustuu koordinaatistoon sidottuihin objekteihin. Tyypillinen peruselementti on kolmio tai muu monikulmio eli polygoni. Parhaimmat 3D-mallinnusohjelmistot osaavat myös käsitellä pintoja, joita ei ole monikulmioitu, vaan pinnat määräytyvät käyrien perusteella. (Wikipedia, 2012)

3D-grafiikka voi muodostua myös käyrämäisistä primitiiveistä, janoista tai kolmiulotteisten perusprimitiivien yhdistelmistä. Olemassa on myös vokseligrafiikkaa eli kolmiulotteista bittikarttagrafiikkaa. Vokseligrafiikassa peruselementtinä on kuutiomainen vokseli neliömäisen pikselin sijaan. Vokseligrafiikkaa käytetään muun muassa radiologiassa lääketieteelliseen kuvantamiseen. (Wikipedia, 2012)



Kuva 5. Esimerkki 2D- ja 3D-kuvista. (DBS> Interactive. globes\_compare.jpg [viitattu 27.11.2012])

## 5.2 3D-grafiikka eri aloilla

### 5.2.1 Rakentaminen

3D-grafiikka on nykypäivänä korvaamaton työkalu monentyyppisissä suunnittelutehtävissä. Erilaisten 3D-ohjelmistojen avulla mallin luominen on tärkeä osa esimerkiksi asuinrakennusten, teollisuuslaitosten, julkisten tilojen ja kaupunkien suunnittelua. Visualisoitaessa suunnittelijat voivat kulkea suunniteltujen kohteiden sisä- tai ulkopuolella ja tarkastella suunnitelmien toimivuutta tilan, ulkonäön, materiaalien suhteen ja jopa simuloida erilaisia sääolosuhteita ja luonnonmullistuksia. Näin saadaan visuaalista vaikutelmaa tulevasta rakennuksesta ja samalla kokeiltua rakenteiden toimivuutta ennen kuin ryhdytään kalliiseen ja aikaa vievään rakennustyöhön. (Puhakka, 2010)

Julkisia tiloja mallintaessa voidaan tietyillä ohjelmilla myös tehdä simulointeja siitä, kuinka suuret ihmismassat saadaan poistumaan hätäpoistumisteitä esimerkiksi metrotunnelista tulipalon sattuessa. Näin saaduilla tiedoilla voidaan arvioida tilojen esteettömyyttä ja hätäpoistumisteiden toimivuutta.

Myös sisustussuunnittelun saralla on alettu käyttämään 3D-grafiikkaa. 3D-grafiikan avulla voidaan esimerkiksi sovittaa huonekaluja ja luoda valmis malli huoneistosta ennen kuin koko huoneistoa on vielä olemassakaan. Näitä kuvia käytetään usein myös uudiskohteiden markkinoinnissa.



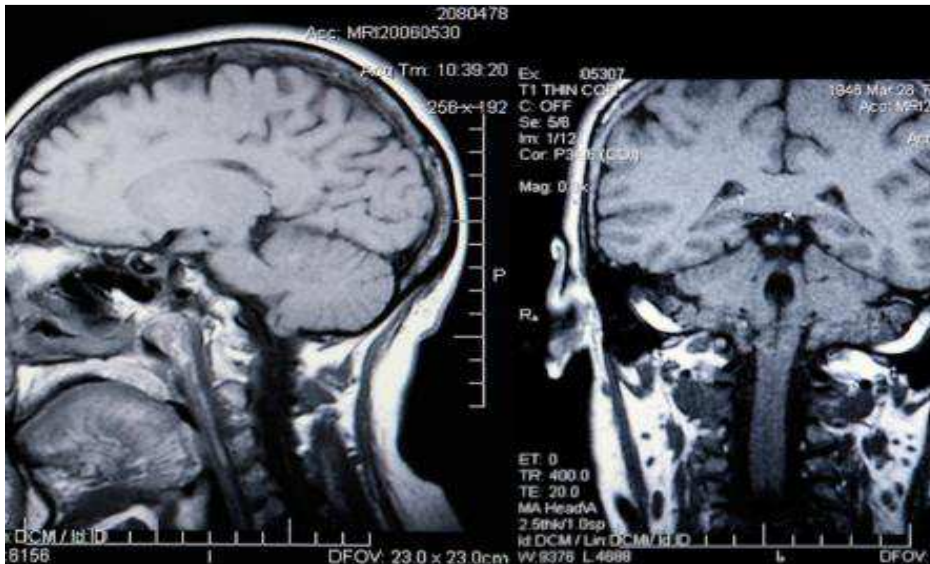
Kuva 6. Esimerkki Sweet Home 3D -ilmaisohjelmalla tehdystä sisustusmallista.  
(Download.fi, 6103.jpg [viitattu 28.11.2012])

### 5.2.2 Tiede

3D-tiedon visualisointi on tärkeää myös monella tieteen osa-alueella. Lääketieteessä nykyaikaiset kuvantamismenetelmät, kuten PET- ja magneettikuvaus, tuottavat kolmiulotteista tietoa ihmiskehosta. 3D-grafiikan keinoin tätä suurta tietomäärää voidaan esittää ihmiselle havainnollisella tavalla. (Puhakka, 2010, s. 24)

Kasvavana alana 3D-visualisoinnissa on myös arkeologia. Arkeologiassa vanhoja kohteita voidaan mallintaa tulevien sukupolvien nähtäväksi, mutta samoin voidaan myös mallintaa esimerkiksi alueita nykyisten ja vanhojen karttojen, luonnontieteellisten seikkojen ynnä muiden aikojen saatossa kerättyjen tietojen perusteella. Näin voidaan saada kuva siitä, millaista on ollut esimerkiksi rautakaudella. (Arksystems Oy, 2009)

3D-visualisoinnin avulla voidaan myös havainnollistaa esimerkiksi sähkökenttiä, virtauksia, ilmakehän ilmiöitä tai kosmologisia tapahtumia. (Puhakka. 2010)



Kuva 7. Magneettikuva ihmisen aivoista. (terve.fi, aivot\_hermostokallo\_paa\_magneettikuva\_101799505.jpg [viitattu 27.11.2012])

### 5.2.3 Konesuunnittelu

3D-visualisointi on pikkuhiljaa vakiinnuttamassa paikkansa korvaamattomana työkaluna yhä useamman yrityksen konesuunnittelu puolella. Koneensuunnittelussa monimutkainen koneisto voidaan rakentaa valmiiksi ja sen toimivuutta tutkia virtuaalisena mallina. Mallien avulla voidaan tarkastella koneen kokoonpanoa ja löytää mahdolliset virheet, jotka aiheuttaisivat osien yhteensopimattomuutta todellisessa ympäristössä (Hietikko, 2012). Myös esimerkiksi törmäystarkastelut ja liikeradat voidaan simuloida ennen kuin konetta tarvitsee rakentaa oikeasti.

Useilla ohjelmilla on myös mahdollista määrittellä materiaalit ja simuloida rasitus-tilanne. Tuloksina saadaan taipumia, voimia määritellyissä pisteissä ja jopa helposti havainnollistettavaa visuaalista kuvaa, jossa on esimerkiksi värein ilmaistuna rasituksen määrä kappaleessa, jolloin suurimmat rasitukset nähdään tummemmalla värillä. (Hietikko, 2012)

#### 5.2.4 Simulointi

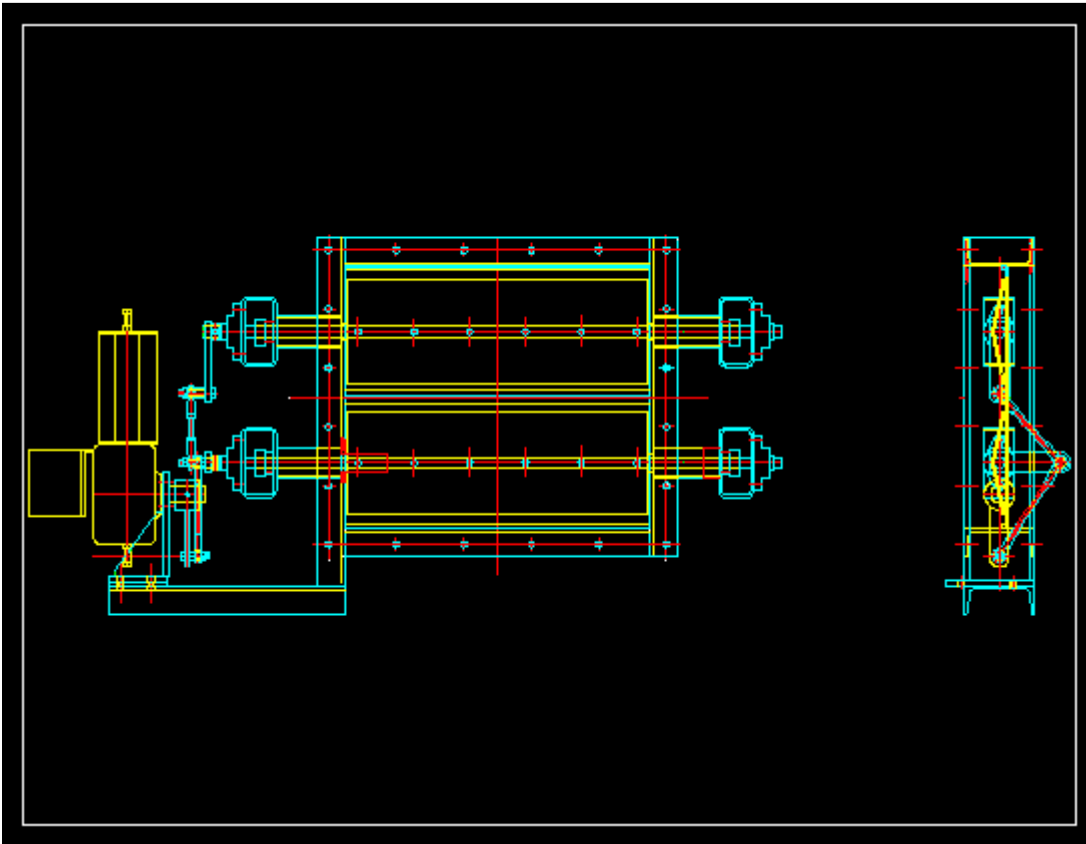
Simulointi tai simulaatio on todellisuuden jäljittelyä. Ihminen simuloi todellisuutta omassa mielikuvitusmaailmassaan. Tietokonesimulointi on merkittävä ja kasvava simuloinnin ala, jossa tietokoneen sisään rakennetaan keinotekoinen todellisuus, joka yrittää jäljitellä mahdollisimman hyvin oikeaa todellisuutta. (Puhakka, 2010, s. 24)

Erilaisista simulaattoreista on suuri hyöty, koska niillä on mahdollista esimerkiksi harjoitella turvallisesti laitteiden ja kulkuvälineiden ohjaamista, erilaisia sääolosuhteita sekä erilaisia hätätilanteita jo ennen siirtymistä laitteen tai ajoneuvon ohjaimiin. Esimerkkeinä tästä ovat lentokoneiden, helikoptereiden, laivojen, junien tai metsäkoneiden simulaattorit. Jopa autokoulun pimeäajoa ajetaan nykypäivänä simulaattorissa, jolloin pimeäajo voidaan suorittaa myös valoisana vuodenaikana. (Puhakka, 2010, s. 24)



Kuva 8. Ponsse Oy:n metsäkonesimulaattori. (Ponsse Oyj, operator-training\_reference.jpg [viitattu 27.11.2012])

### 5.3 Voimalaitospolttimien 3D-visualisointi

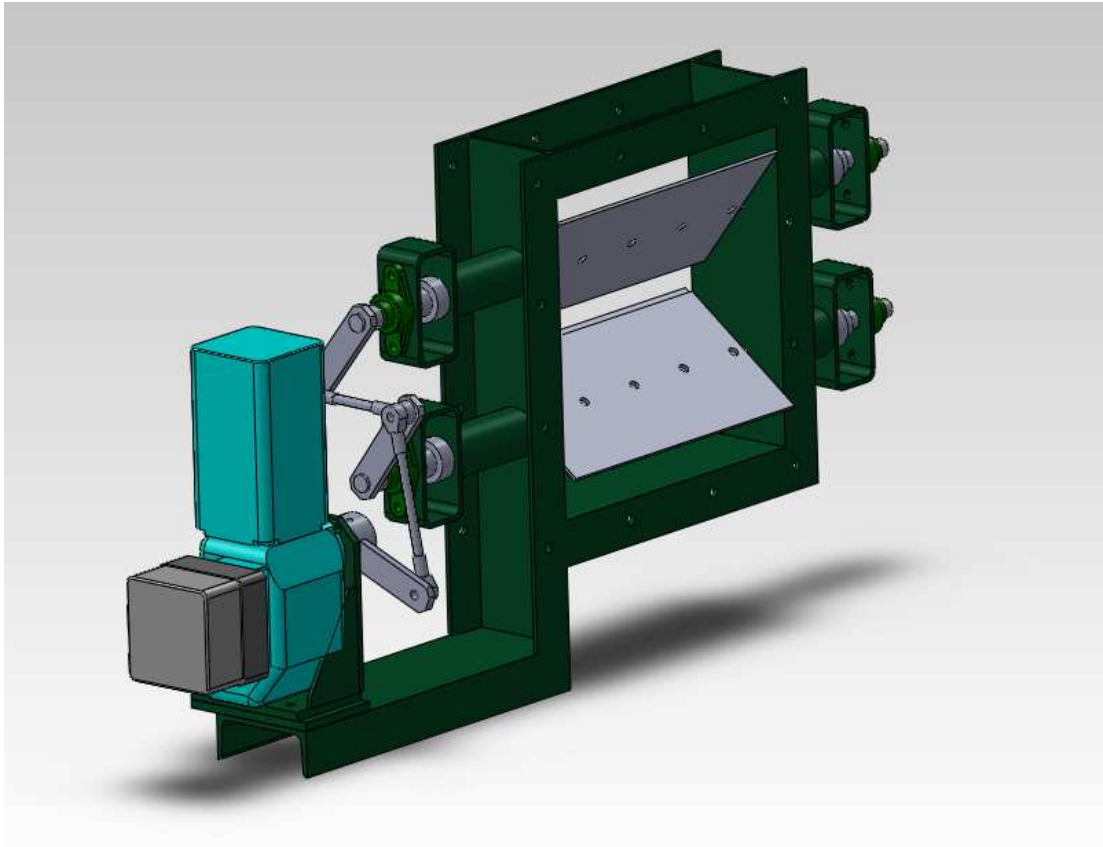


Kuva 9. 2D-kokoonpanokuva öljypolttimen ilmapellistä. (Oy Clean Flame Ltd., Julkaisematon, 20064035041.dwg)

Kuvassa 9 on EU-poltin PP-350 ilmapelti, jonka on piirtänyt Jani Nupponen AutoCAD -ohjelmalla. Kuvasta on poistettu kuvan selventämiseksi mitat ja osien viitenumerot tähän dokumenttiin lisättäessä.

Kuvasta voi helposti havaita, että varsinkin vielä monimuotoisemmissa työkuivissa toistensa yli kulkevat muodot ja puuttuva syvyys efekti vaativat osan hahmottamiseksi kuvienlukutaitoa. Varsinkin, jos kuvia katsoo ensimmäistä kertaa, ei aina osaa erottaa tärkeimpiä muotoja ja yksityiskohtia.

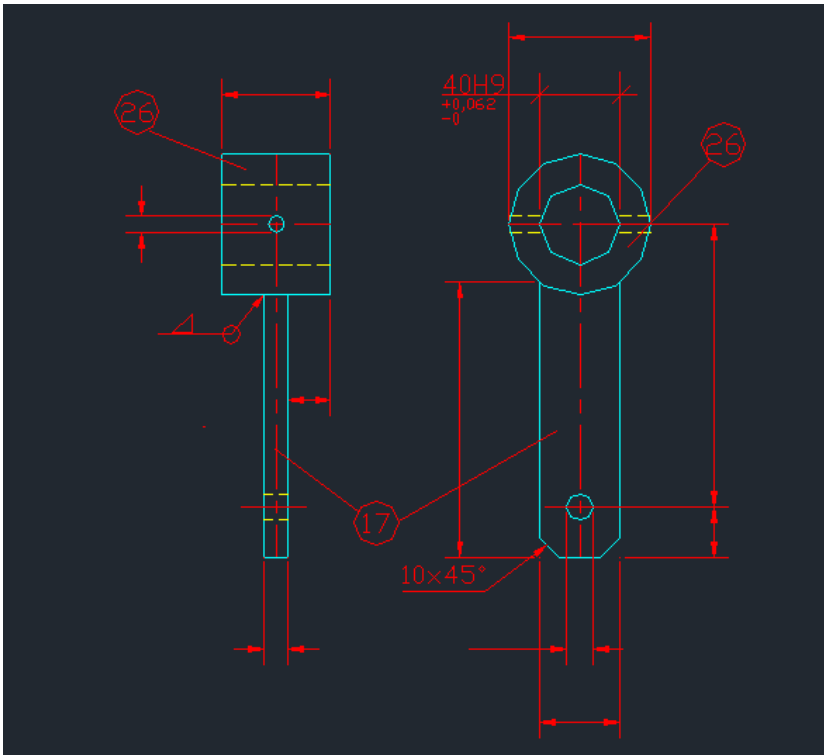




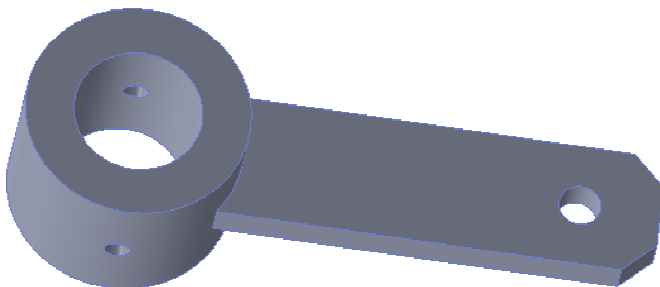
Kuva 10. Opinnäytetyössä toteutettu 3D-kokoonpanokuva ilmapelistä. (Työssä itse tehty materiaali, 20064035041 v 1.0.SLDASM)

Kuvassa 10 on 3D-kuva edellä 2D-kuvana olleesta EU-poltin PP-350:n ilmapelistä. Kuvia katsoessa huomaa hyvin kuinka 3D-kuvat helpottavat osien havainnollistamista 2D-työkuvissa kun kuvia katsotaan yhtä aikaa. Lisäksi esimerkiksi mainoksena 3D-kuva on väreineen ja syvyys muotoineen työkuvia harvemmin katsoville huomattavasti helpompi sisäistää. 3D-kuvia voidaan myös ohjelmien avulla katsella mistä tahansa suunnasta. Ohjelmilla voidaan myös luoda leikkauskuvia ja piilottaa epäolennaisia osia jos ne esimerkiksi vaikeuttavat tietyn osakokonaisuuden näkemistä.

Kuvassa 10 näkyvään kokonaisuuteen erillisiä osakuvia tuli yhdistää noin 35 kappaletta.

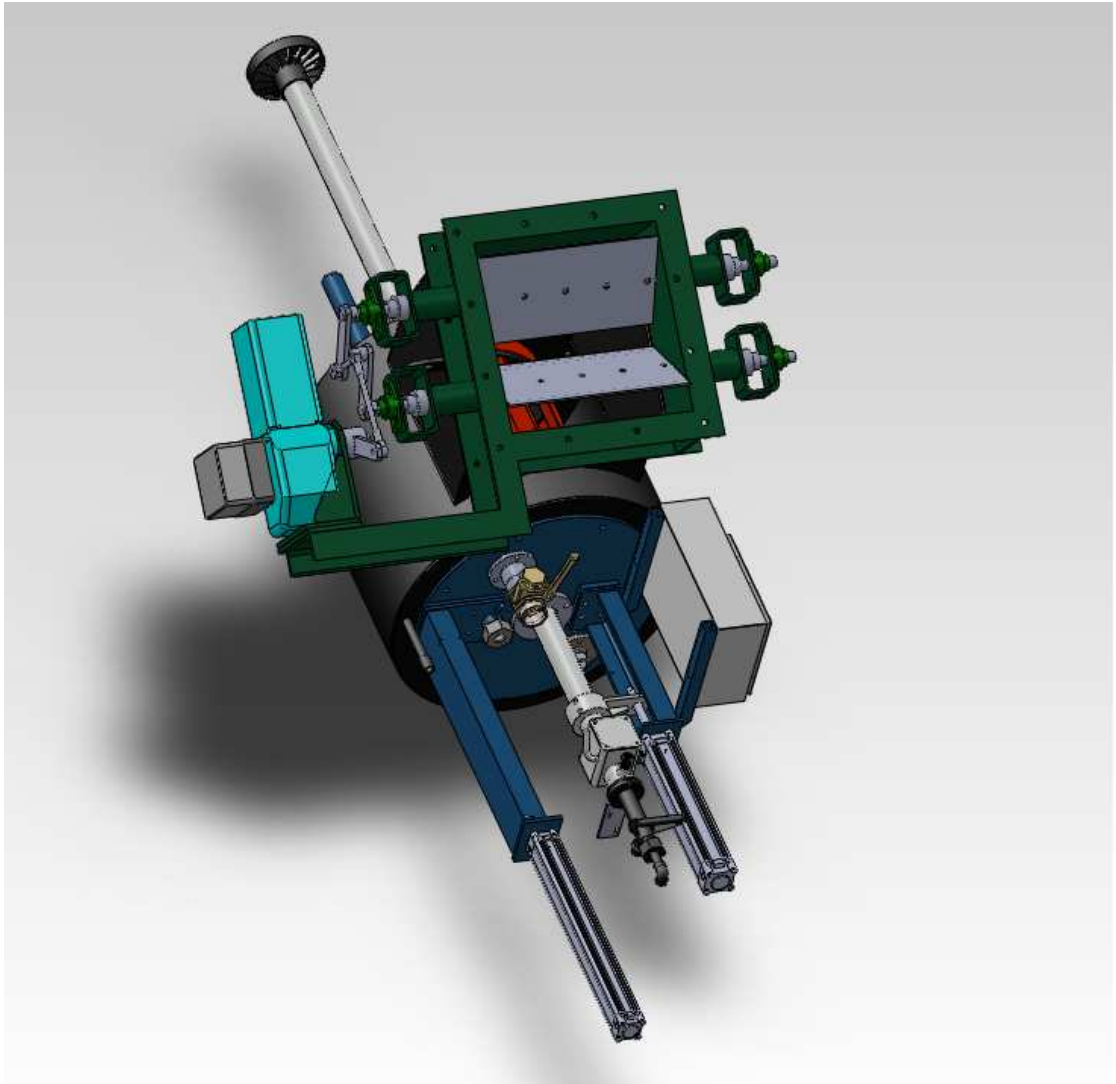


Kuva 11. 2D-työkuvaa ilmapellin avausmekanismin osasta. (Oy Clean Flame Ltd, Julkaisematon, 20064035041.dwg)



Kuva 12. 3D-kuvaa ilmapellin avausmekanismin osasta. (Työssä itse tehty materiaali, 20064035041 (17, 26) v1.0.SLDPRT)

Kuvissa 11 ja 12 on yksittäinen osa edellisestä ilmapelti osakokonaisuudesta 2D- ja 3D-kuvana. Käytännössä osa valmistetaan kahdesta eri kappaleesta, kuitenkin kappaleiden yksinkertaisuudesta ja pienestä määrästä johtuen projisoitiin ne yhdeksi osakuvaksi.

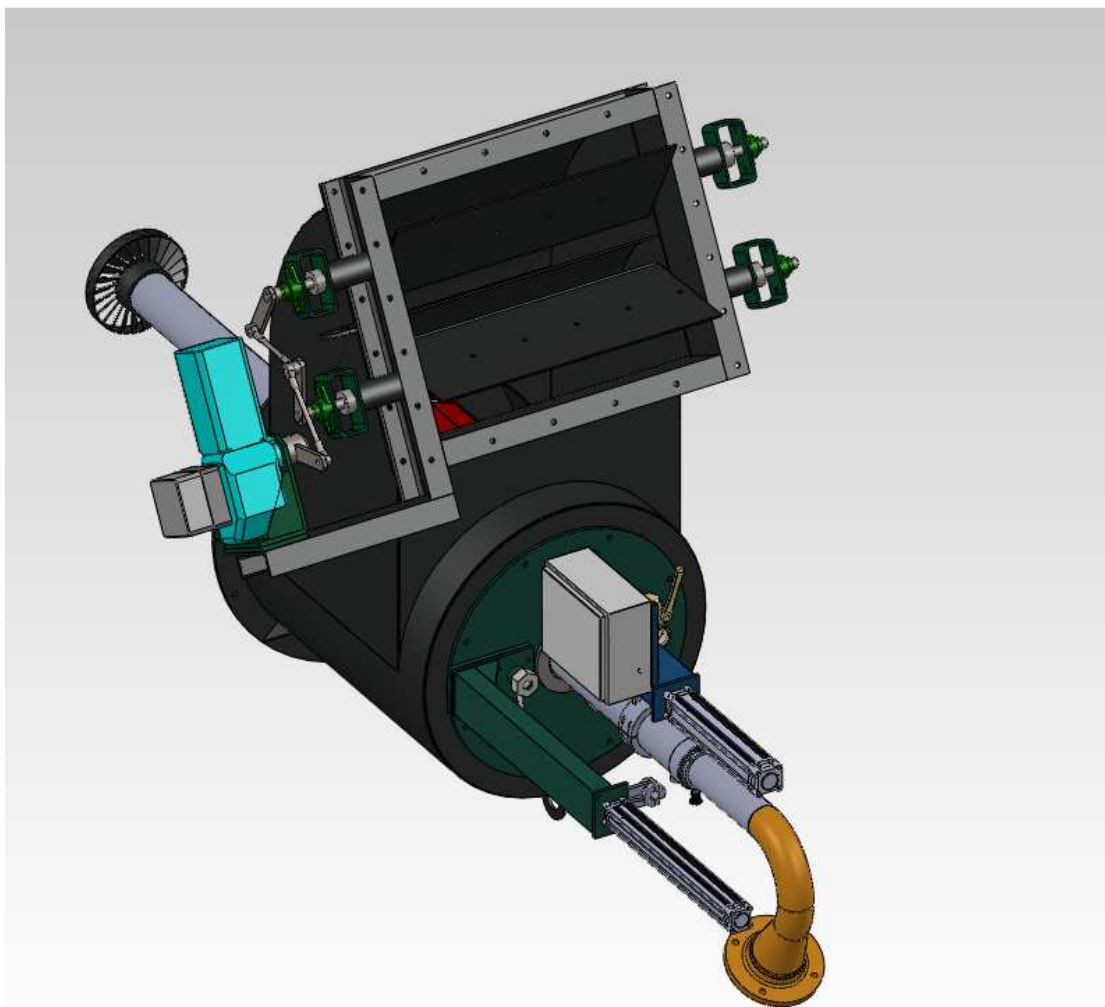


Kuva 13. EU-poltin PP-350. (Työssä itse tehty materiaali, EU burner PP-350.SLDASM)

Kuvassa 13 on opinnäytetyössä mallinnettu 3D-kuva EU-poltin PP-350 kokonaisuus. Kaikki paitsi polttimen perässä olevat pneumaattiset sylinterit ja muutama yritykselle valmiina tuleva osa on mallinnettu osakohtaisesti yrityksen suunnittelijoiden tekemien työkuvien perusteella 3D-kuviksi.

EU-polttimen PP-350 pääosat:

1. Impelleri
2. Öljylanssi
3. Ilmakaappi
4. Ilmapellit
5. Lanssin säätösylinteri



Kuva 14. Start-up burner PP-550-K. (Työssä itse tehty materiaali, Start-up burner PP-550-K v1.0.SLDASM)

Kuvassa 14 on opinnäytetyössä mallinnettu Start-up burner PP-550-K kokonaisuus. Kaikki paitsi polttimen perässä olevat pneumaattiset sylinterit ja muutama yritykselle valmiina tuleva osa on mallinnettu osakohtaisesti yrityksen suunnittelijoiden tekemien työkuvien perusteella 3D-kuviksi.

Start-up burner PP-550-K pääosat:

1. Impelleri
2. Kaasulanssi
3. Ilmakaappi
4. Ilmapellit
5. Lanssin säätösylinteri
6. Sytyttimen säätösylinteri

Polttimien osien tarkoitus lyhyesti:

- **Impelleri**

Impelleri aiheuttaa ilmavirtaan pyörrettä ja muotoilee näin sydänliekkiä, minkä lisäksi se aiheuttaa myös niin sanotun akanvirran, joka pitää liekkiä miltei kiinni palopäässä.

- **Öljy- ja kaasulanssi**

Lanssia pitkin polttoaine kulkee tarpeeksi pitkälle kattilaan. Lanssin päässä on suutin, jolla polttoainevirta saadaan hajotettua ja suunnattua palamisen kannalta oikein.

- **Ilmakaappi ja kaapin sisällä oleva siivistö**

Ilmakaappi aiheuttaa polttoilmaan pyörrettä ja nostaa ilman virtausnopeutta sekä muotoilee hiukan liekkiä.

- **Ilmapellit**

Ilmapelleillä rajoitetaan ilmakaappiin menevän ilman määrää ja näin säädetään palamistapahtumaa.

- **Lanssin säätösylinteri**

Tällä pneumaattisella sylinterillä vedetään lanssi pois palotapahtumasta, kun poltin on lepotilassa. Varsinkin leijupetikattiloissa leijutettavan hiekan kuluttavan vaikutuksen takia on hyvä, että lanssi saadaan vedettyä suojaan kun kattilaprosessi on saatu käynnistettyä tai käynnistys- tai kuormapoltinta ei muuten enää tarvita.

- **Sytyttimen säätösylinteri**

Sytyttimen säätösylinteri on miltei kuin lanssin säätösylinteri, mutta sytytintä tarvitaan vain polttimen käynnistämiseen.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Opinnäytetyöllä oli kaksi päätavoitetta, joista ensimmäinen oli päivittää yrityksen jo olemassa olevista Excel-pohjaisista mitoitusohjelmista yksi kattavampi helppokäyttöinen ja kaavojen osalta tarkastettu laskentaohjelma.

Jo käytössä olleista laskentaohjelmista kattavammasta löytyi muutamia merkittäviä kaavavirheitä, jotka omalta osaltaan ovat todennäköisesti vääristäneet saatuja tuloksia. Lisäksi kahden ohjelman vuoronperään käyttäminen ei ollut kovin käytännöllistä. Onnistuimme räätälöimään ohjelmasta yhden laajemman ja kuitenkin selkeä lukuisen kokonaisuuden. Lisäksi työnohjaaja Jukka Huttusen kokemuksella ja avustuksella lisäsimme toiveissa olleen savukaasulaskentaominaisuuden, jossa hyödynnetään polttoaineanalyysistä saatavia arvoja.

Työn toinen osa keskittyi yrityksen valmistavien polttimien visualisointiin eli 3D-mallinnukseen. 3D-mallinnus oli vasta tulossa osaksi yrityksen tuotesuunnittelua ja työn alkuvaiheessa käytössä olivatkin vain 2D-työkuvat. 3D-kuvia on tarkoitus jatkossa käyttää markkinoinnissa ja tuotteiden kehittämisessä. Kuvat toteutettiin SolidWorks 2011 -ohjelmalla, koska SolidWorks -ohjelmisto oli työn alkuvaiheessa todennäköisin ohjelmisto, jonka yritys tulisi hankkimaan. Kuvat pyrittiin toteuttamaan osalta mahdollisimman yksityiskohtaisina, työkuvien perusteella osa-osalta. Näin kuvilla on mahdollista toteuttaa jatkossa myös kokoonpano- ja muita kuvakokonaisuuksia ja kuvat ovat helposti myös jatkojalostettavissa.

Kokonaisuutena työ oli melko monipuolinen kahden osa-alueen ansiosta. Työ sujui alkumyöhästymisen jälkeen suurin piirtein suunnitellussa aikataulussa, mutta opinnäytetyön tekstidokumentin kirjoittaminen venyi erinäisistä syistä kohtuuttoman pitkäksi.

## LÄHDELUETTELO

*Arksystems Oy.* (27. 02 2009). Haettu 05. 11 2012 osoitteesta 3D-visualisoijilta eivät työt lopu hetkessä: <http://www.arksystems.fi/uutinen-090227-1.htm>

*Energiateollisuus ry.* (ei pvm). Haettu 26. 11 2012 osoitteesta Happamoituminen: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ymparisto-ja-kestava-kehitys/ymparistovaikutukset/happamoituminen>

*Hengitysliitto.* (ei pvm). Haettu 28. 11 2012 osoitteesta Typenoksidit: <http://www.heli.fi/Hengitysilma/Ulkoilma/Ilmansaasteet/Typen-oksidit>

Hietikko, E. (2012). *SolidWorks Tietokoneavusteinen suunnittelu.* Savonia ammattikorkeakoulu.

Huhtinen, M. (2006). *Raskaan polttoöljyn käyttöopas.* Suomi: Neste oil Oyj.

Huttunen, J. (2012). *Palaverikeskustelut sekä ohjeistus.* Varkaus: Savonia AMK.

Kainulainen, P. (2. 28 2007). *Tuotantotalouden opinnäytetyö. ISO 9001:2000 Laadunhallintajärjestelmän rakentaminen .* Varkaus, Suomi: Savonia ammattikorkeakoulu.

Lehtiranta, K. (2010). *Ktech.* Haettu 26. 11 2012 osoitteesta Teknologiat: [http://www.paimio.fi/opetus/koulut/yla/ar/8atp\\_2010\\_atp2/teknologiat.html](http://www.paimio.fi/opetus/koulut/yla/ar/8atp_2010_atp2/teknologiat.html)

Mäkinen, S. (14. 11 2009). <http://www.freewebs.com/samimakinen/>. Haettu 24. 11 2012 osoitteesta <http://www.freewebs.com/samimakinen/Calc.pdf>

Nupponen, J. (29. 8 2008). *Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö. Low-NOx raskanöljypolttimen kehitystyö .* Varkaus, Suomi: Savonia ammattikorkeakoulu.

Pitkänen, S. H. (3. 9 2012). <https://wiki.uef.fi/display/opkmateriaalit/Etusivu>. Haettu 16. 10 2012 osoitteesta <https://wiki.uef.fi/display/opkmateriaalit/Taulukkolaskenta+ja+-ohjelmat>

*Poltto ja Palaminen.* (2002). Jyväskylä: International Flame Research Foundation-Suomen kansallinen osasto.

Puhakka, A. (2010). *3D-grafiikka*. Talentum.

Puttonen, A. (27. 5 2009). *Suomen virtuaaliammattikorkeakoulu*. Haettu 20. 11 2012 osoitteesta [Savukaasujen\\_laskeminen.doc](http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5plQn/Savukaasujen_laskeminen.doc):  
[http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5plQn/Savukaasujen\\_laskeminen.doc](http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5plQn/Savukaasujen_laskeminen.doc)

*Työterveyslaitos*. (ei pvm). Haettu 26. 11 2012 osoitteesta OVA-ohje: Hiilimonoksidi:  
<http://www.ttl.fi/ova/hiilmono.html>

Vakkilainen, E. K. (2. 3 2008). *Lappeenrannan teknillinen yliopisto*. Haettu 24. 11 2012 osoitteesta Poltto- ja kattilatekniikan perusteet:  
[https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh50a0500/luennot/bh50a0500\\_poltto\\_ja\\_kattilatekniikka\\_01\\_palaminen.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bh50a0500/luennot/bh50a0500_poltto_ja_kattilatekniikka_01_palaminen.pdf)

*Wikipedia*. (12. 11 2012). Haettu 20. 11 2012 osoitteesta 3D-grafiikka:  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/3D-grafiikka>.



## KUALÄHTEET

Kuva 1. Nupponen, J. (29. 8 2008). Käynnistyspoltin, kevytöljy/maakaasu. Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö. *Low-NOx raskanöljypolttimen kehitystyö*. Varkaus, Suomi: Savonia ammattikorkeakoulu. s. 10.

Kuva 2. Nupponen, J. (29. 8 2008). Low-NOx kuormapoltin, maakaasu. Kone- ja tuotantotekniikan opinnäytetyö. *Low-NOx raskanöljypolttimen kehitystyö*. Varkaus, Suomi: Savonia ammattikorkeakoulu. s. 11.

Kuva 3. Oy Clean Flame Ltd. Polttolaskenta. POLTTIMEN MITOITUS V1.05.xls. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 4. Oy Clean Flame Ltd. Polttoaineen valinta välilehti. POLTTIMEN MITOITUS V1.05.xls. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 5. DBS> Interactive. What is difference between 3D and 2D animation. globes\_compare.jpg [viitattu 27.11.2012]. Saatavissa: <http://www.dbswebsite.com/blog/2010/01/29/what-is-the-difference-between-3d-and-2d-animation>

Kuva 6. Download.fi. Sweet home 3D. 6103.jpg [viitattu 28.11.2012]. Saatavissa: [http://www.download.fi/tyopoyta/3d-mallinnus/sweet\\_home\\_3d.cfm](http://www.download.fi/tyopoyta/3d-mallinnus/sweet_home_3d.cfm)

Kuva 7. Terve.fi. MS-tauti. aivot\_hermostokallo\_paa\_magneettikuva\_101799505.jpg [viitattu 28.11.2012]. Saatavissa: <http://www.terve.fi/ms-tauti>

Kuva 8. Ponsse Oyj. Simulaattori. operator-training\_reference.jpg [viitattu 27.11.2012]. Saatavissa: <http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/opti-tietojarjestelmat/simulaattori>

Kuva 9. Oy Clean Flame Ltd. EU-poltin PP-350 ilmapelti. 20064035041.dwg. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 15. Työssä itse tehty materiaali. 3D-kokoonpanokuva ilmapelistä. 20064035041 v 1.0.SLDASM. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva11. Oy Clean Flame Ltd. EU-poltin PP-350 ilmapelti. 20064035041.dwg. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 16. Työssä itse tehty materiaali. 3D-kuva ilmapellin avausmekanismin osasta. 20064035041 (17, 26) v1.0.SLDPRT. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 17. Työssä itse tehty materiaali. EU-poltin PP-350. EU burner PP-350.SLDASM. Ei yleisesti saatavissa.

Kuva 18. Työssä itse tehty materiaali. Start-up burner PP-550-K. Start-up burner PP-550-K v1.0.SLDASM. Ei yleisesti saatavissa.