

Vesa Myllymäki

SOLIDWORKS –OPETUSPAKETTI

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Toukokuu 2011



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Toukokuu 2011	Tekijä/tekijät Vesa Myllymäki
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi SOLIDWORKS -opetuspaketti		
Työn ohjaaja Heikki Salmela	Sivumäärä 28	
Työelämäohjaaja		
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuuksia tehdä opetusvideoita SolidWorks -ohjelman käyttämisestä. Tähän tarkoitukseen löydettiin menetelmään sopiva ohjelma, CamStudio, jota sitten sovellettiin käytännössä. Camstudio ja SolidWorks ohjelmia hyödyntäen luotiin videoita kolmiulotteisista mallinnusprosesseista. Menetelmä toimi, mutta sen käyttökelpoisuuteen liittyi ongelmia. Videoden laatu on heikko, mutta sen parantaminen merkitsisi suurempaa tiedostokokoa, mikä voi tuottaa tietokantaongelmia. Lisäksi opetusvideot vanhentuvat, ellei niitä uusita.</p>		
Asiasanat tietokoneavusteinen suunnittelu, SolidWorks, video		

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date May 2011	Author Vesa Myllymäki
Degree programme Tuotantotalous		
Name of thesis SOLIDWORKS -study aid material		
Instructor Heikki Salmela		Pages 28
Supervisor 		
Thesis was about examining possibilities to create video material out of computer-aided designing with SolidWorks. CamStudio was used for this purpose. Video material was created using CamStudio and SolidWorks. The method was functional. Problems in using this method arose from quality to file size ratio and the need to upgrade the material created.		
Key words computer-aided design, SolidWorks, video		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	2
3 SOLIDWORKS	4
3.1 3D-Suunnittelu.....	4
3.2 SolidWorksin käyttö	5
3.2.1 Käyttöliittymä	5
3.2.2 Mallinnussuunnitelma	6
3.2.3 Tiedon hallinta	7
3.2.4 Yleisiä vinkkejä piirtämiseen	7
3.3 Piirteiden luonti.....	8
3.4 eDrawings	9
4 CAMSTUDIO	11
4.1 GNU GPL	11
4.2 CamStudion käyttö	12
5 TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU	15
5.1 DFMA.....	15
5.2 Concurrent engineering	16
5.3 ISO 128.....	16
5.4 Parametrinen piirremallinnus	16
6 LAITTEET JA JÄRJESTELMÄ	18
7 TYÖN KUVAUS	20
7.1 Opetusvideon teko.....	20
7.2 Esimerkki työn kulusta	21
7.3 Käyttötarkoitus ja hyödyt.....	24
7.4 Ongelmat	25
8 POHDINTA.....	27
LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee SolidWorks 2009 SP3.0 –mallinnusohjelman opetuksen tukevia ratkaisuja. Ohjelman käytön aloittamiseen liittyy tyypillisesti ongelmia sen monimuotoisuuden vuoksi. Ajatuksena on tuottaa videotallenteita 3D-mallinnusprosessista, tuottaa tehtävänantoja ja tallentaa mallinnetut kappaleet eDrawings –muodossa. Toiminnan tarkoituksena on luoda itseopiskelua tukevaa materiaalia ja luoda pohja mallinnusprosessin nauhoittamisen mahdollisuuksiin.

Työssä hyödynnetään erilaisia ohjelmistoja ja laitteita, jotka ovat välttämättömiä sen tekemiseen. Mallinnustapahtumat ovat tehtävänantoja SolidWorks –ohjelmiston opetusmateriaalista. Tuotetun menetelmän käyttömahdollisuudet ovat riippuvaisia soveltajasta. Muutokset ohjelmistoissa, laitteissa ja käyttöjärjestelmissä voivat ja tulevat muuttamaan menetelmän käytettävyyttä. Itse hyöty riippuu siitä, miten valmiita ohjelman käyttäjät ovat valmiina hyödyntämään videotallenteita apuna ongelmanratkaisuun.

2 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työ rakentuu SolidWorks 2009 –ohjelman ympärille. SolidWorks –opetuspaketissa on hyödynnetty opiskelijalisenssiä, jolla voi käyttää SolidWorks Standard –sovellettua ohjelmistoa. Tarkoituksena on tuottaa videotallennetta mallinnusprosessista. Ensimmäinen ongelma liittyy tähän tarkoitukseen sopivien laitteiden ja ohjelmistojen määrittämiseen. Optimaaliset ohjelmat ovat käytettävyydeltään helppoja, samalla kun ne pitävät sisällään työn kannalta tarpeelliset toiminnot. Laitteiden osalta käytäntö on sama sillä erolla, että Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoululla on käytössään hieman erilaiset PC:t, sekä eri käyttöjärjestelmä. Ohjelmistot pyritään valitsemaan nämä asiat huomioon ottaen.

Seuraava ongelma liittyy itse tallennusprosessiin. Tallenteiden tekeminen tulee luoda niin, että samaa menetelmää voi soveltaa jokaiseen mallinnuskertaan. Tämä on ensisijaisen tärkeää lopputuloksen selkeyden ja ajankäytön osalta. Lisäksi tallenteen tiedostomuoto ja toistaminen tulevat harkintaan. Erityisesti videotallenteen toistaminen on asia, johon vaikuttaa eniten järjestelmä, jossa sitä yritetään toistaa, joten vaikutusmahdollisuudet tähän ovat tämän opinnäytetyön osalta vähäiset.

Ongelma ratkaistaan luomalla toistettava prosessi olemassa olevien ohjelmien ja laitteiden ympärille. Tarvittavat laitteet ovat PC, näppäimistö, hiiri ja mikrofoni. Ohjelmia tarvitaan itse mallintamiseen, videointiin, äänentallennukseen sekä mahdolliseen tallennusmuodon muokkaukseen. Viimeisenä tarvitaan ohjelma tuotetun tallenteen toistamiseen.

Ratkaisumenetelmiä on perimmiltään kaksi. Ensimmäinen tapa on yksinkertaisesti nauhoittaa mallinnustapahtuma ulkoisella kameralla. Tässä lähestymistavassa on kuitenkin isoja ongelmia liittyen kuvan laatuun. Lisäksi tämä vaatii kameran. Toinen tapa on tallentaa mallinnustapahtuma suoraan järjestelmästä ohjelmien avulla. Näin eliminoidaan suurimmat laatuongelmat sekä ulkoisen kameran tarve. Suoraan tallennukseen liittyvä ongelma on erillinen ääni- ja videoraita. Esimerkiksi SolidWorks Rx –ohjelma, on sisäisten ongelmien nauhoittamiseen tarkoitettu työkalu, ei tallenna ääniraitaa. Tässä tapauksessa ääni- ja videoraidan yhdistämiseen tarvitaan erillinen työkalu, kuten Microsoft Movie Maker. Yksin-

kertaisinta on siis valita ohjelma, joka tallentaa molemmat raidat yhteen tiedostoon yhdellä nauhoituskerralla.

Mallinnustapahtumaan käytettävä ohjelma on työn aiheena oleva SolidWorks. Mallinnusta nauhoitetaan taustalla toimivalla CamStudio –ohjelmalla. CamStudio voi nauhoittaa myös äänen, joten mallinnustapahtuma voidaan selostaa yhtäaikaisesti. Tiedosto tallennetaan mallinnettavan kappaleen nimellä avi-muotoon. Lisäksi mallinnettu kappale tallennetaan Part- ja eDrawings muotoon. Tämä on prosessin kulku.

3 SOLIDWORKS

SolidWorks on 3D-mekaniikkaa hyödyntävä CAD –ohjelmisto, jota käytetään tietokoneavusteiseen suunnitteluun. Ohjelma mahdollistaa kolmiulotteisten kappaleiden mallintamisen ja mitoituksen. Lisäksi ohjelmalla voidaan piirtää normaaleja kaksiulotteisia kuvia. Yleisesti ottaen, ohjelmiston sovellusmahdollisuudet ovat erittäin laajat, mahdollistaen tavallisten 3D-kappaleiden lisäksi mm. kokoonpanojen, ohutlevymallien, profiilirakenteiden ja muottien mallinnuksen

Ennen vuotta 1995, jolloin ensimmäinen SolidWorks -ohjelmisto tuli markkinoille, teollisuudelta puuttuivat helppokäyttöiset ohjelmistopakkaukset, jossa 3D-mallinnus yhdistyisi perusohjelmistojen helppokäyttöisyyteen. Nykyään SolidWorks on laajasti tunnettu CAD-ohjelmisto, jolla on yli 700 000 käyttäjää yli sadassa maassa. Lisäksi ohjelma on laajentunut globaaleille koulutusmarkkinoille ja sen käyttöä opiskellaan yli 14 500 oppilaitoksessa ympäri maailman. (SolidWorks Corp. 2011a.)

SolidWorks –ohjelman käyttöä opetetaan ympäri maailman ja niinkään myös Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa. Ohjelmaa hyödynnetään tietokoneavusteisen suunnittelun peruskursseilla ja useissa muissa tuotesuunnitteluun liittyvissä opintojaksoissa. 3D-CAD mallinnuksen peruskurssi sisältyy esimerkiksi tuotantotalouden koulutusohjelmaan.

3.1 3D-Suunnittelu

Ohjelmisto sisältää erilaisia hyödyllisiä työkaluja tuotesuunnitteluun. Yksi näistä on SWIFT (SolidWorks Intelligent Feature Technology) toiminto, joka automatisoi pienien yksityiskohtien luontia. Tämä mahdollistaa ajan käytön ohjaamisen itse suunnitteluun, monimutkaisempien toimintojen käytön sijaan. Toiminto ei sinällään luo valmiita piirteitä, vaan toimii enemmän apuna ominaisuuksien järjestyksiin, luonnosten suhteisiin ja mittojen käyttämiseen. Instant3D puolestaan helpottaa osamallinnusta helpottamalla kolmiulotteisten geometrinen piirteiden luontia. (SolidWorks Corp. 2011b.)

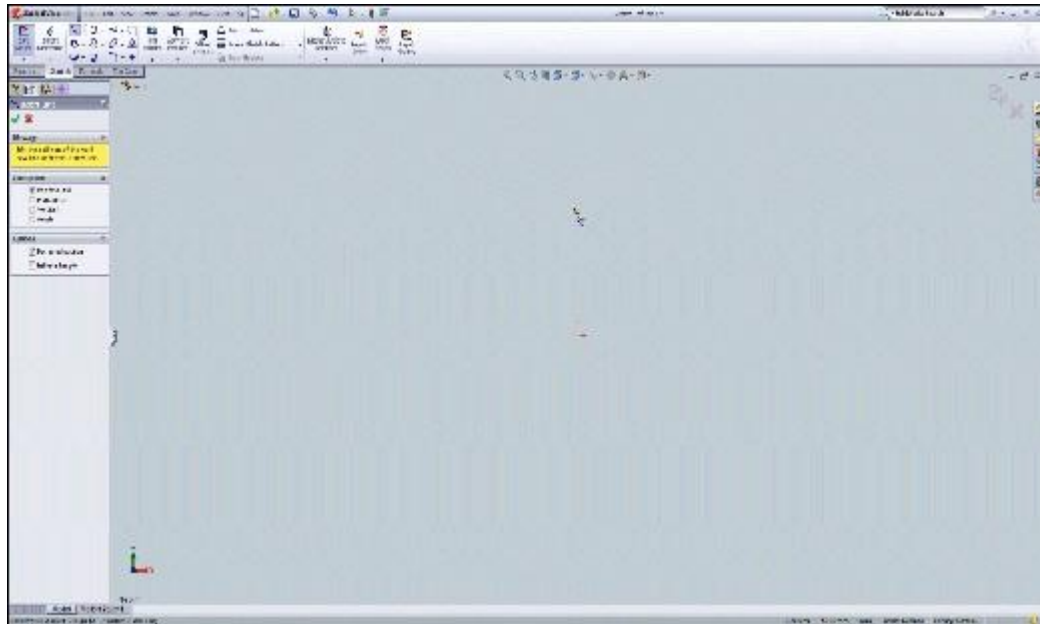
Kokoonpanomallinnuksen avuksi SolidWorks tarjoaa monia työkaluja. Ohjelmalla voi yhdistellä pintoja, reunoja, käyriä ja kärkipisteitä; luoda mekaanisia suhteita osien välille; linkittää osien liikkeitä; sekä suorittaa erilaisia törmäystarkastuksia. Lisäksi voit antaa ohjelman luoda mallista assosiatiivisen osaluettelon, joka päivittyy mallia muutettaessa. Osaluettelot on mahdollista siirtää esimerkiksi Excel –ohjelmaan. Mallinnusta auttavat myös SolidWorks Toolbox-, SolidWorks Design ClipArt- ja 3D ContentCentral –ohjelmat tarjoavat runsaasti virtuaalikirjastoja, joissa on tuhansia vakio-osia. (SolidWorks Corp. 2011b.)

3.2 SolidWorksin käyttö

Tämän osion tarkoituksena on selventää ohjelman käyttöä syvällisemmin. Minkälaisia ominaisuuksia, toimintoja ja muita yksityiskohtaisempia teknisiä asioita ohjelmalla voidaan tehdä. Perusasiat, jotka ovat ehdottamia kaikissa piirtämisohjelmistoissa ovat niinkään läsnä myös 3D-mallinnusohjelmissa. Ohjelman avulla voidaan tehdä myös eDrawings –julkaisuja, joiden käyttöä pyritään kuvaamaan.

3.2.1 Käyttöliittymä

SolidWorksin käyttöliittymä muodostuu kahdesta pääosista: Sovellus- ja grafiikkaikkunasta. Sovellusikkuna avautuu aina ohjelman käynnistyksessä ja se on aina näkyvässä ohjelman käytön aikana. Grafiikkaikkuna on löydettävissä sovellusikkunan sisältä (KUVIO 1). Tähän ikkunaan avataan muokattava tiedosto. Näitä ikkunoita voi olla avoinna monia useiden kappaleiden työstämiseen samanaikaisesti. Työstettävä grafiikkaikkuna on nimeltään aktiivinen ikkuna ja siinä työstettävä dokumentti on nimeltään aktiivinen dokumentti. (Hietikko 2007, 29)



KUVIO 1. Grafiikkaikkuna auki sovellusikkunan sisällä.

Grafiikkaikkunassa on kaksi aluetta: Paneelialue ja tehtäväruutu. Paneelialueessa voi olla näkyvillä piirrepuu, ominaisuuspaneeli, konfiguraatiopaneeli tai jokin muu paneeli. Tehtäväruudussa on erilaisia välilehtiä kuten SolidWorks Resources, File Explorer ja Design Library. Nämä toiminnot on tarkoitettu työn aloittamiseen, tiedostojen hallintaan ja standardiosien hakuun. Tehtäväruutu voi olla piilotettuna. Paneelialueen ja tehtäväruudun väliin jää itse grafiikka-alue, jossa itse kohdetta muokataan. (Hietikko 2007, 29)

3.2.2 Mallinnussuunnitelma

Mallinnussuunnitelmalla tarkoitetaan hahmotelmaa mallin rakentamisesta ja sen käyttäytymisestä mittoja muunneltaessa. Mekaniikkaosat voidaan mallintaa useilla eri tavoilla ja joissain menetelmissä osa saattaa käyttäytyä odottamattomasti kun sitä muutetaan. Suunnitellessa kappaletta on hyödyllisesti pohtia ainakin muutamia asioita: sketsin ehtojen hyödyntäminen, mittojen väliset matemaattiset yhtälöt ja mitoituksen toteutus. (Hietikko 2007, 32)

Aina ennen mallinnuksen aloittamista on hyvä tehdä mallinnussuunnitelma. Sketsi on hyvä määrittää täysin, mikäli siihen aiotaan tehdä muutoksia jälkeinpäin. Hyvä sketsi, on yksin-

kertainen sketsi, erityisesti jos se halutaan määrittää. Määritetty sketsi näkyy mustana, kun taas sininen väri kuvaa ehtojen tai mittojen puuttumista. (Savonia 2011.)

Mitoittamisen lisäksi on hyvä ottaa huomioon millaisista piirteistä osa muodostetaan. Esimerkiksi akselityyppisiä osia voidaan tehdä pinoamalla, pyöräyttämällä tai sorvaamalla. Pinoamismenetyksessä kappale ajatellaan palasina jotka on helppo luoda erikseen ja koota myöhemmin. Pyöräytys toimii kierrättämällä sketsin akselinsa ympäri. Sorvatessa luodaan kappale josta asteittain poistetaan ylimääräiset osat. Tämä osoittaa sen, että kappaleille on olemassa useita eri toteutusmenetelmiä ja tästä syystä menetelmän valitsemiseen kannattaa uhrata hetki aikaa. (Hietikko 2007, 35.)

3.2.3 Tiedon hallinta

Yksi 3D-suunnittelun perusasioista on hyvin suunniteltu tiedon hallinta. Suunnittelutiedostojen määrä saattaa helposti kasvaa siirryttäessä 2D-suunnittelusta 3D-suunnitteluun. Valmiissa tuotteessa saattaa olla sadoittain osia, joten niiden järjesteleminen ja nimeäminen ovat ensiarvoisen tärkeitä. Esimerkiksi yrityksissä on hyvä olla etukäteen suunnitellut järjestelmät nimeämistä varten, jotta tiedostot etsiminen on helppoa vielä vuosienkin kuluttua. Huomioitavia ominaisuuksia nimeämisessä ovat muutosten hallinta ja revisiotiedot. (Hietikko 2007, 36)

3.2.4 Yleisiä vinkkejä piirtämiseen

Näyttöä voi manipuloida rullahiirellä. Pitämällä rullaa pohjaan painettuna, näkymää voi pyörittää. Rullaa pyörittämällä näkymää voi tarkentaa sisään ja ulos, kohdistuen kursorin sijaintiin. Asettamalla pyöritystilan päälle ja valitsemalla geometrisen alkion, on näyttöä mahdollista pyörittää kyseisen alkion ympäri. Myös nuolinäppäimillä ohjaaminen on mahdollista. Pyöritystilan ollessa päällä, Shift-näppäin yhdistettynä nuolinäppäimiin pyörittää kappaletta 90 asteen välein. Alt-näppäin ja nuolinäppäimet pyörittää kappaletta näytön tasossa. (Savonia 2011.)

Sketsi kannattaa aina pitää yksinkertaisena. Se kannattaa aina piirtää mahdollisimman lähelle oikeaa muotoa ja kokoa. Esimerkiksi nurkkia ei kannata pyöristää, mikäli se voidaan tehdä jälkikäteen. Koon ja muodon määrittämisessä on hyvä käyttää apuna pisteverkkoa. Sketsi kannattaa aina kytkeä origoon. Peruspiirteiden jokin nurkka kannattaa aina kytkeä origoon. Parhaimmillaan origon paikka on kuitenkin keskellä sketsiä. Tämä auttaa esimerkiksi origon kautta kulkevien aputasojen luonnissa ja kokoonpanojen teossa. (Hietikko 2007, 72.)

3.3 Piirteiden luonti

Sketsi muodostetaan aina tasolle, joka voi olla joku dokumenttiin kuuluvista perustasoista (Front Plane, Top Plane, Right Plane), erikseen luotu aputaso tai mallinnuksen yhteydessä luotu tasomainen pinta. Uuden osan mallinnusta tehtäessä, on peruspiirteet aina luotava sketsattuna. SolidWork yrittää auttaa piirtämistä lisäämällä sketsiin mahdollisimman paljon automaattisia ehtoja. Nämä ehdot näkyvät piirrettäessä kohdistimen vieressä olevana symbolina. Geometria voidaan luoda piirtokomentojen lisäksi projisoimalla olemassa olevia osan reunoja sketsaustasolle. Itse sketsausgeometria voi muodostua kahdesta tyypistä: Piirre- ja konstruktiogeometriasta. Piirregeometrialla kuvataan muotoja, joista piirteet luodaan. Konstruktiogeometriassa käytetään apuna piirregeometriaa, muttei itse piirteiden luonnissa. (Hietikko 2007, 65.)

Piirteet ovat sellaisia osia mallista, mitä voidaan erikseen muokata. SolidWorks sisältää neljä piirretyyppiä: sketsattu piirre, sijoitettu piirre, monistettu piirre ja apupiirre. Sketsattuja piirteitä ovat: pursotus (Extrude), pyörähdys (Revolve), Sweep, Loft, Coil ja Hole. Näiden piirteiden toteuttamiseen tarvitaan peruspiirre ja siihen relaatiossa oleva piirre. Sijoitettuja piirteitä varten ei tarvita erillistä sketsiä. Näitä piirteitä ovat esimerkiksi Fillet ja Chamfer joilla voidaan muokata nurkkien muotoja. Monistepiirteet puolestaan on tarkoitettu yksittäisten piirteiden monistamiseen. Toiminnot Linear Pattern, Circular Pattern ja Mirror kaikki monistavat piirteitä tiettyyn muotoon tai tasoon nähden. Kun olemassa olevat piirteet eivät riitä osan määrittämiseen, voidaan avuksi ottaa apupiirteet. Näitä piirteitä ovat esimerkiksi Axis ja Plane, joilla voidaan luoda apuakseleita ja aputasoja. Apugeometriaa

voidaan käyttää hyväksi sketseissä projisoimalla ne sketsaustasolle. (Hietikko 2007, 72-73, 79, 88, 91-92)

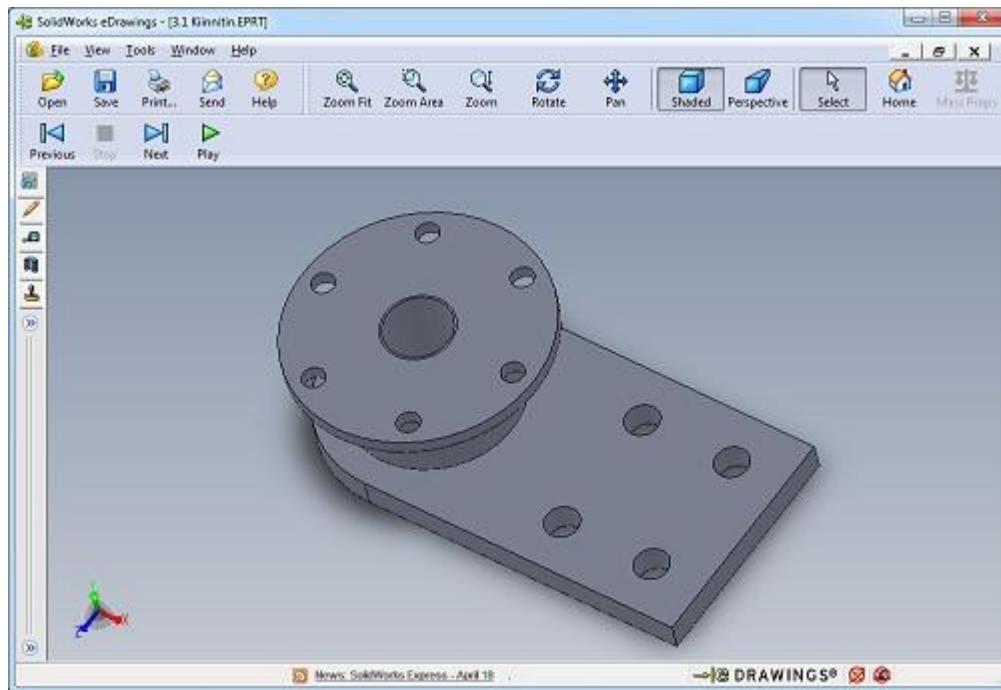
3.4 eDrawings

eDrawings, on työkalu joka on tarkoitettu kaksi- ja kolmiulotteisten CAD-mallien jakamiseen. Ohjelman avulla suunnitteluohjelmien käyttäjät voivat jakaa työnsä sidosryhmilleen kevennetyssä muodossa. eDrawings-muotoon tallennetun tiedoston katselija ei tarvitse välttämättä edes julkaisuohjelmaa asennettuna järjestelmäänsä, sillä tiedosto saattaa itsessään sisältää katseluohjelman. Toisin sanoen käyttäjä tarvitsee joko eDrawings viewer-, tai eDrawings Professional ohjelman tiedostojen tarkasteluun, muttei ohjelmaa jolla tiedosto on alunperin luotu. Ilmaisversio eDrawings Viewer on riittävä kappaleiden katseluun ja pyörittämiseen, kun taas maksullinen eDrawings Professional mahdollistaa kappaleiden räjäyttämisen ja mitoituksen. SolidWorks –opetuspaketin kannalta eDrawings on lähinnä hyödyllinen esikatseluun, muttei sinällään välttämätön apuväline. Edut ovat lähinnä siirrettävyydessä. (Convia 2011.)

Kappaleiden julkaisuun tarvitaan ohjelmaa eDrawings Publisher. Ohjelman avulla eDrawings tiedostoja voidaan julkaista suoraan eDrawings Publisher –ohjelmaa tukevista mallinnusohjelmista. Julkaisuohjelmaa tukevat ohjelmat SolidWorks®, AutoCAD®, Inventor®, Pro/ENGINEER® CATIA® V5, Unigraphics/NX®, Solid Edge®, CoCreate's OneSpace software, Google SketchUp® and eDrawings RapidFire Lite (View IGES, STEP & STL tiedostot). (Dassault Systèmes SolidWorks Corp 2011.)

eDrawings –ohjelmassa katselua ohjataan valikoilla ja hiiren oikeaa näppäintä painamalla avautuvalla pikavalikolla (KUVIO 2). Käyttöliittymän vasemmasta laidasta löytyy eDrawings-manager, jonka avulla eri dokumenttityyppejä voidaan manipuloida. Toiminnot sijaitsevat omilla välilehdillään, jotka löytyvät valitsemalla vasemmassa reunassa sijaitsevia painikkeita. Tavallisesta versiosta löytyvät painikkeet Reorder Views, Markup, Measure, Cross Section ja Stamp. Reorder Views –toiminnolla voidaan valita erilaisia katselukulmia. Measure- ja Markup –komennot mahdollistavat kommenttien ja mittojen katselemisen.

Kappaleen poikkileikkauksia voidaan tarkastella käyttämällä Cross Section –komentoa. (Hietikko 2007, 311-312.)



KUVIO 2. Kappale auki eDrawings –ohjelmassa.

4 CAMSTUDIO

CamStudio voi nauhoittaa kaiken näytöllä tapahtuvan toiminnan ja äänet. Ohjelma voi tallentaa tiedostot AVI- tai SWF muotoon. Ohjelman käyttötarkoitukset ovat ohjelmistojen esittelyvideoiden tekeminen, ongelmien tallentaminen teknistä tukea varten, opetusvideoiden tekeminen ja kaikenlaisen näytöllä tapahtuvan toiminnan tallennus. (CamStudio 2011a.)

Videon on mahdollista upottaa kuvia ja jopa ulkoista videotallennetta web-kameran kautta Annotations -toimintojen avulla. Ohjelmassa on vapaa hallinta videon kokoon ja sijaintiin. Toisin sanottuna, käyttäjä voi valita videoitavan alueen näytöllään käyttämällä Region-komentoja. Camstudio on ilmainen ohjelma, jota voi käyttää yksityisiin ja kaupallisiin tarkoituksiin. Tämän mahdollistaa se, että ohjelma on julkaistu GPL-lisenssin alla. (CamStudio 2011b.)

4.1 GNU GPL

GNU GPL (General Public License) on ilmaisten software ohjelmien julkaisuun tarkoitettu lisenssi. Lisenssin tarkoituksena on taata ohjelman käyttäjälle oikeus muokata ja jakaa tuotetta eteenpäin, taaten sen pysyvyyden vapaana ja ilmaisena ohjelmistona. Tämä on ihanneellinen ratkaisu ohjelmille, joiden tarkoitus on tuottaa suurin mahdollinen hyöty potentiaalisille käyttäjilleen. (Free Software Foundation Inc 2011.)

Vapaa lisenssi on erittäin hyödyllinen esimerkiksi juuri opetuskäyttöön tarkoitettujen videomateriaalin tekemiseen. Halutessaan sen voi asentaa mihin järjestelmiin tahansa ilman rajoituksia. Näin voidaan välttää laillisuusesteitä liittyen ohjelman käyttöön yksityisessä ja julkisessa käytössä.

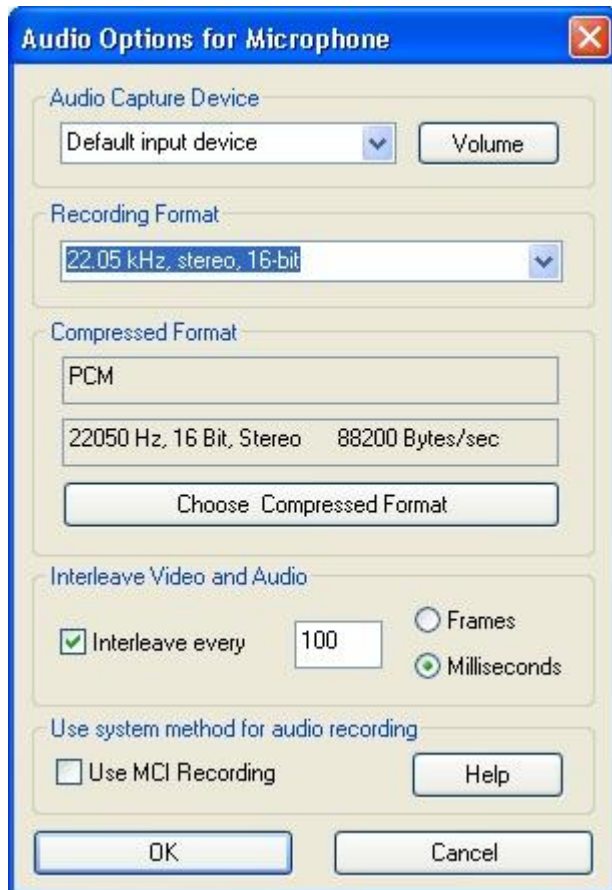
4.2 CamStudios käyttö

CamStudios peruskäyttö on hyvin yksinkertaista. Periaatteessa itse nauhoituksen hallinta onnistuu kolmesta napista (KUVIO 3). Record –valinta aloittaa nauhoituksen. Pause –valinnalla nauhoitus voidaan keskeyttää, jos näytöllä halutaan suorittaa muita toimintoja. Nauhoitus jatkuu uudelleen valitsemalla toiminnon Record. Nauhoitus lopetetaan Stop-valinnalla, jolloin näytölle ilmestyy ruutu tiedoston tallentamiseen. (CamStudio 2003.)



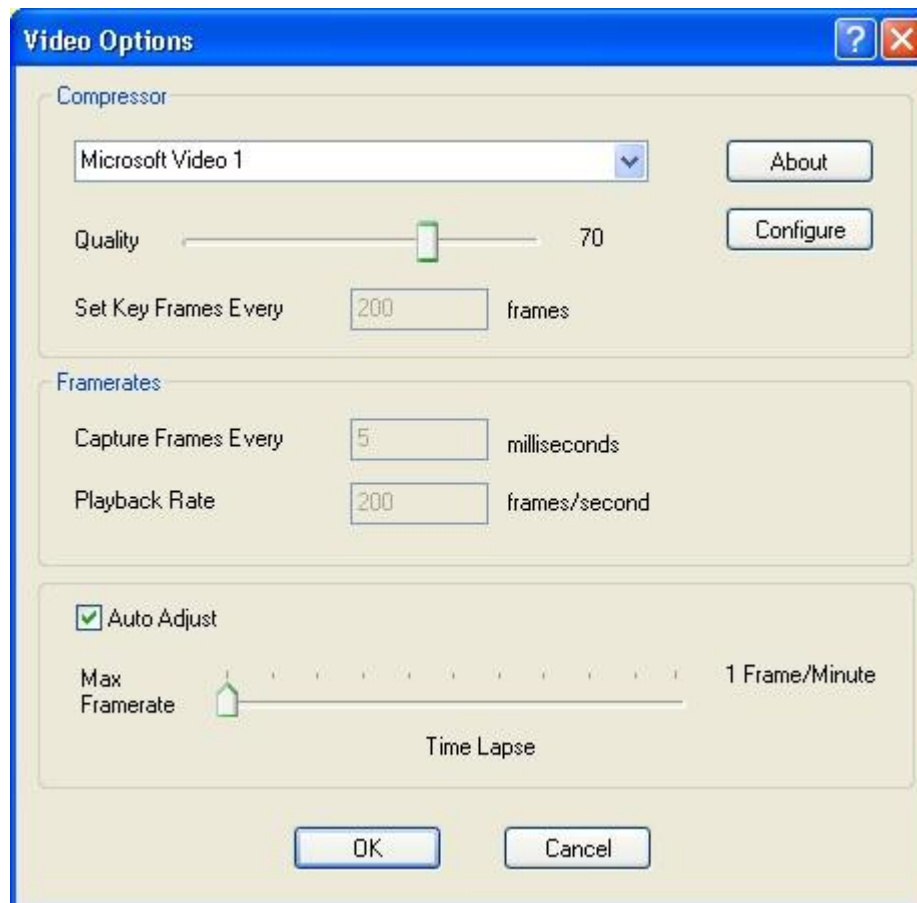
KUVIO 3. CamStudios perustoiminnot ympyröitynä.

CamStudio tukee mahdollisuutta nauhoittaa ääniraidan suoraan videoon. Tämä ominaisuus vaatii toimiakseen mikrofonin ja sitä tukevan äänikortin. Ääniraidan asetukset löytyvät valitsemalla Options, Audio Options ja Audio Options for Microphone (KUVIO 4). Valikosta voit asettaa nauhoitusformaatin (Recording Format), jonka pääominaisuudet ovat otantat sekunnissa, mono/stereo nauhoitus ja bitit per otanta. Yleisesti sanottuna suurempi määrä otantoja johtaa parempaan äänenlaatuun, mutta tiedostosta tulee tällöin isompi. Compressed Format – valikko määrittää ääniraidan tallennettavan muodon, mikä tallentuu lopulliseen videoon. (CamStudio 2003.)



KUVIO 4. Mikrofonin ääniasetusvalikko.

Nauhoittaessa videoita, nauhoitetaan todellisuudessa sarjaa bittikarttoja, jotka perättäisenä näyttävät liikkeeltä. Mitä korkeampi numero bittikarttoja on, sitä parempi kuvanlaatu saavutetaan. Toisaalta terävämpi kuva johtaa suurempaan tiedostokokoon. Tätä ominaisuutta voidaan säätää kohdasta Time Lapse, mikä asettaa tallennus- ja toisto nopeuden. Kohta Capture Frames määrittää tallennus-, ja Playback Rate toistonopeuden. Mikäli valinta Auto Adjust on päällä, tallennus- ja toistonopeus suhteutuu automaattisesti. Quality –valikosta voi säätää kuvantarkkuutta. Nämä valinnat löytyvät valikosta Video Options (KUVIO 5), joka on Options –valikon alavalikko. (CamStudio 2003.)



KUVIO 5. Video Options –valikko.

5 TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU

Tietokoneita on käytetty mallinnustehtäviin 1960-luvulta alkaen, mutta käytännössä se yleistyi vasta 1980-luvulla. Tunnettu piirto-ohjelma AutoCAD alkoi todella yleistyä mekaniikkasuunnittelijoiden kesken 1990-luvun alkupuolella. Alunperin suunnitteluohjelmat pyrkivät jäljittelemään perinteisten piirustuspöytien käyttöä. Piirtäminen tapahtui kaksiulotteisesti. Kolmiulotteista suunnittelua kehitettiin jo 1980-luvulla, mutta tulokset eivät olleet hyviä ja järjestelmät olivat suljettuja, mikä käytännössä esti tiedon siirron järjestelmästä toiseen. 1995 vuonna nähtiin ensimmäiset Windows-pohjaiset 3D-suunnitteluohjelmat, joihin myös SolidWorks kuuluu. Tämä oli suuri edistysaskel, sillä järjestelmän helppokäyttöisyys toi kolmiulotteisen suunnittelun monien käyttäjien ulottuville. (Hietikko 2007, 14-15.)

Computer Aided Design (CAD), eli tietokoneavusteinen suunnittelu, on monella alalla käytössä oleva apuväline. Maailmanlaajuisesti kolmiulotteinen suunnittelu ohitti kaksiulotteisen vuoden 2006 alussa. Esimerkiksi Suomessa 3D-suunnittelua hyödyntävät arkkitehti-, rakennus- ja lvi-suunnittelijat, mutta kaksiulotteinen suunnittelukin elää yhä esimerkiksi tie- ja yhdyskuntasuunnittelussa. Vaikka CAD on oiva apuväline, ei se ole ongelmaton. Ongelmia syntyy erilaisten CAD-järjestelmien yhteensopimattomuudesta. Tästä syystä varsinkin insinööritoimistoilla on käytössään useita CAD-järjestelmiä, koska niiden täytyy olla yhteensopivia asiakkaiden käytössä olevien järjestelmien kanssa. Ongelmia syntyy myös kun ohjelmien uudet versiot tulevat markkinoille ja asiakkaat kokevat ne keskeneräisinä. (Leino 2006.)

5.1 DFMA

Design For Manufacturing and Assembly (DFMA) on kokoonpano- ja valmistusmyönteistä suunnittelua. Tässä ajattelutavassa tuote pyritään suunnittelemaan siten, että se on mahdollisimman yksinkertainen valmistuksen ja kokoonpanon kannalta. DFMA -ajattelun ideana on minimoida huonosta suunnittelusta aiheutuvia kustannuksia valmistus- ja kokoonpanoprosesseissa. Ylimääräisten kustannusten lisäksi epäselvä suunnittelu johtaa usein tuotteen laadun heikentymiseen. (Hietikko 2007, 15.)

5.2 Concurrent engineering

Concurrent engineering, eli rinnakkaissuunnittelu, on tiimivetoinen suunnittelumenetelmä. Periaatteessa tällä tarkoitetaan sitä, että suunnittelijoiden lisäksi tiimissä on myös muiden osastojen edustajia. Tarkoituksena on tuoda esiin muiden osastojen näkemykset jo suunnitteluvaiheessa. Toisin sanoen, tuotteita ja niiden valmistusmenetelmiä kehitetään yhtä aikaa. Mikäli tarkoituksena on käyttää olemassa olevia valmistusmenetelmiä, on tuote suunniteltava siten, että se voidaan kyseisillä menetelmillä myös valmistaa. (Hietikko 2007, 17-18.)

5.3 ISO 128

International Organization for Standardization (ISO) on standardoimisjärjestö, jonka tehtävänä on tuottaa kansainvälisiä standardeja. Yksi näistä on ISO 128-1:2003, joka antaa yleisiä ohjeita teknisten piirustusten toteuttamiseen ja osien rakenteen esittämiseen. Standardi tarkentaa yksityiskohtaisesti kappaleiden graafisen esitysmuodon. Sen tarkoituksena on helpottaa teknisten piirustusten kansainvälistä vaihtoa ja taata niiden yhteensopivuus. (ISO 2011.)

5.4 Parametrinen piirremallinnus

Parametrinen piirremallinnusjärjestelmä on toinen nimi tietokoneavusteiselle suunnitteluohjelmistolle, jonka avulla suunniteltavia kappaleita mallinnetaan kolmiulotteisen geometrian avulla. Parametrisuus on käytännössä kohteen kytkettyjen mittojen muuttamista siten, että kohteen geometria muuttuu vastaavalla tavalla. Mallinnus helpottuu tämän ansiosta esimerkiksi silloin, kun suunniteltavan kohteen alkuvaiheissa ei tiedetä kohteen tarkkoja mittoja. Näin mitat voidaan jättää epämääräisiksi kunnes ne tarkentuvat suunnittelun edetessä. Lisäksi parametrisuus helpottaa muutosten tekemistä. Mittojen muuttaminen ei välttämättä edellytä muutoksia kohteen geometriaan. Mittalukuja muutamalla, siihen kytketty geometria muuttuu sekä itse kohteessa että kaikissa siihen kytketyissä kohteissa kuten kokoonpanoissa ja piirustuksissa. (Hietikko 2007, 21)

Piirremallinnus on kohteen mallin rakentamista piirteistä. Tällä tekniikalla mallinnus aloitetaan tekemällä peruspiirre, jota laajennetaan uusilla piirteillä siten, että lopputuloksena on tarkka malli. Useat piirteet muodostavat niin kutsutun piirrepuun, josta piirteet voi erotella muokkausta varten. Näin koko rakennelma ja kaikki siihen kuuluvat osat voidaan esittää yhdessä piirrepuussa, josta eri osiin ja piirteisiin päästään helposti käsiksi muutosten tekoon. (Hietikko 2007, 21)

6 LAITTEET JA JÄRJESTELMÄ

SolidWorks opetuspaketti on tehty Windows 7 Ultimate -käyttöjärjestelmällä, joka tukee kaikkia työssä käytettyjä ohjelmia. Ääniraidan nauhoittamiseen on käytetty Deltaco MF-21 –mikrofonia. Mikrofoni toimii kuulokeliitännän kautta. Sen herkkyys on 60 dB ja taajuusvaste 100-16000 Hz. Impedanssi on 2200 Ohm. Itse prosessin kannalta on yhdentekevää, mitä laitteita tai järjestelmää käytetään, kunhan ne täyttävät ohjelmien tekniset vaatimukset TAULUKKO 1. Suoritusteho voi vaihdella erityisesti minimivaatimuksia käytettäessä, joten vaativaan käyttöön on hyvä varata tehokkaampi järjestelmä.

TAULUKKO 1. SolidWorksin tekniset vaatimukset. (SolidWorks Corp. 2011c.)

Tuetut Microsoft Windows® käyttöjärjestelmät

	SolidWorks 2009	SolidWorks 2010	SolidWorks 2011
Windows 7 x86	Ei	Kyllä	Kyllä
Windows 7 x64	Ei	Kyllä	Kyllä
Vista x86	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Vista x64	Kyllä	Kyllä	Kyllä
XP Professional			
x86	Kyllä	Kyllä	Kyllä
XP Professional			
x64	Kyllä	Kyllä	Kyllä

Laitteisto- ja ohjelmistovaatimukset

RAM	Vähintään 1 GB RAM Suositus 6GB RAM tai enemmän Windows 7 64x käyttöjärjestelmille
------------	---

(jatkuu)

(jatkuu)

Video	Sertifoitu näytönohjain ja ajurit. Lisätietoja SolidWorks kotisivuilta.
CPU	Intel® tai AMD® prosessorit
Muut	DVD-asema Adobe Acrobat versio 7.0.7 tai uudempi Microsoft Internet Explorer versio 6.x tai uudempi Microsoft Office Excel 2003, 2007 tai 2010
Verkko	SolidWorks on testattu Microsoft Windows Networking ja Active Directory ympäristöissä

7 TYÖN KUVAUS

Prosessin kulku on pelkistettynä melko yksinkertainen. Ensin aloitetaan nauhoitus, jonka jälkeen mallinnetaan kappale. Kappaleen valmistuttua nauhoitus lopetetaan, jonka jälkeen kappale ja nauhoitus tallennetaan. Kappale tallennetaan Part- ja eDrawings muotoon. Työn kulkua on helpoin kuvata esimerkin avulla. Samaa käytäntöä voidaan soveltaa kaikkiin mallinnettaviin kappaleisiin.

Tallenteiden aiheet ovat SolidWorks-kurssilla tehtyjä harjoituksia. Osa niistä löytyy mm. Esa Hietikon kirjasta ”Solidworks – Tietokoneavusteinen suunnittelu”. Työssä käytetyt menetelmät piirtää kappaleita eivät ole ainoita mahdollisuuksia, sillä lähestymistapoja on monia. Osa harjoituksista on myös sovellettu puuttuvien mittatietojen ja epäselvien määritelmien vuoksi. Lopputulos on joka tapauksessa sama, eli kopio olemassa olevasta kuvasta.

Tämän työn puitteissa piirretyt ja videoidut kappaleet ovat: 3.1 Kiinnitin, 2.4 Lemmari, 4.3 Suppilo, 4.34 Sokka, 4.36 Vipuosa, 4.38 Laakeripesä ja 9.1 Ohutlevykotelo. Tiedostonimet on säilytetty samana kuin alkuperäisissä harjoitus numeroissa, jotta tiedonhallinta olisi helpompaa. Kaiken kaikkiaan tuotettua materiaalia on noin 55 minuuttia. Tämän lisäksi niistä on tallennettu eDrawings- (ERPT) ja Part (SLDPRT) –muotoon.

7.1 Opetusvideon teko

Videon tekeminen 3D-mallinnustapahtumasta vaatii hieman ennakkosuunnittelua. Teknis- ten asioiden lisäksi opetusvideon tekijän kannattaa miettiä miten paras tulos saavutetaan. Videon laadun parantamiseen on olemassa muutamia hyödyllisiä käytäntöjä. Ensimmäinen asia mikä kannattaa tehdä, on luonnollisesti testata nauhoituksen toimivuus siihen ohjelmaan, mihin sitä aiotaan soveltaa. Näin saadaan selville asetusten toimivuus ja niiden optimointi. Ennen varsinaista nauhoitusta kannattaa aina tehdä harjoituskerta ja kirjata ylös tärkeimmät vaiheet tueksi piirtämiseen ja selosteeseen.

Tämän työn selosteessa on painotettu yksinkertaisuutta ja selkeyttä. Selostus ajoitetaan toimintojen väliin, mutta vain kohtuullisissa määrissä, sillä videoiden on tarkoituksena toimia visuaalisena oppimisvälineenä. Seloste myös hidastaa itse piirtämistä, ellei videoon upoteta ääniraitaa jälkeinpäin, mikä puolestaan hidastaa videoiden tekoa ja asettaa koko prosessille ylimääräisiä ulottuvuuksia.

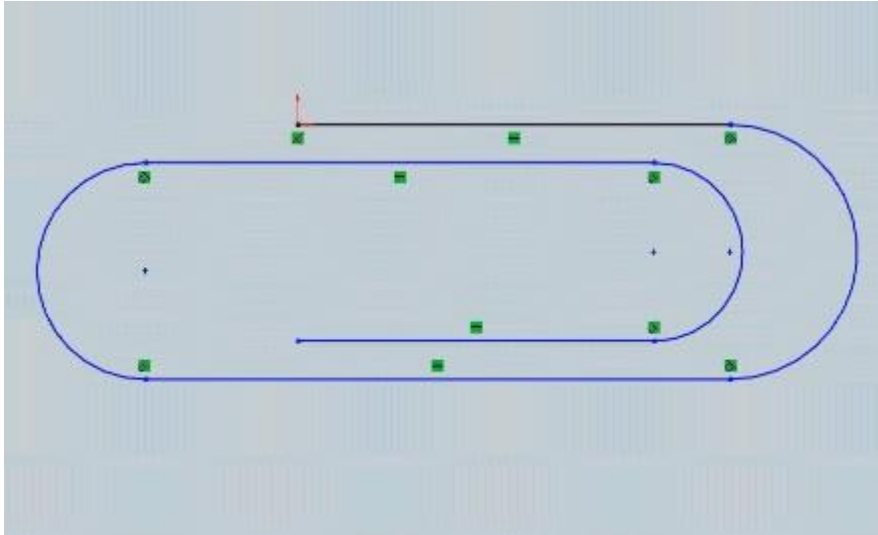
7.2 Esimerkki työn kulusta

Prosessi aloitetaan käynnistämällä tarvittavat laitteet: keskusyksikön, näytön ja mikrofonin. Tämän jälkeen avataan ohjelmistot CamStudio ja SolidWorks. Ennen mallinnustapahtuman aloittamista, CamStudio asetetaan nauhoittamaan koko näyttöä valitsemalla Full Screen -komento Region -valikosta. Tämän jälkeen siirrytään Options -valikkoon, josta valitaan komento Record audio from microphone. Tiedoston voi tallentaa joko Flash- tai AVI -muotoon valitsemalla kohta Record to Flash / AVI. Tässä työssä nauhoitukset on tallennettu AVI muotoon. Asetusten ollessa kohdallaan (KUVIO 7), käynnistetään nauhoitus Record -valinnasta.



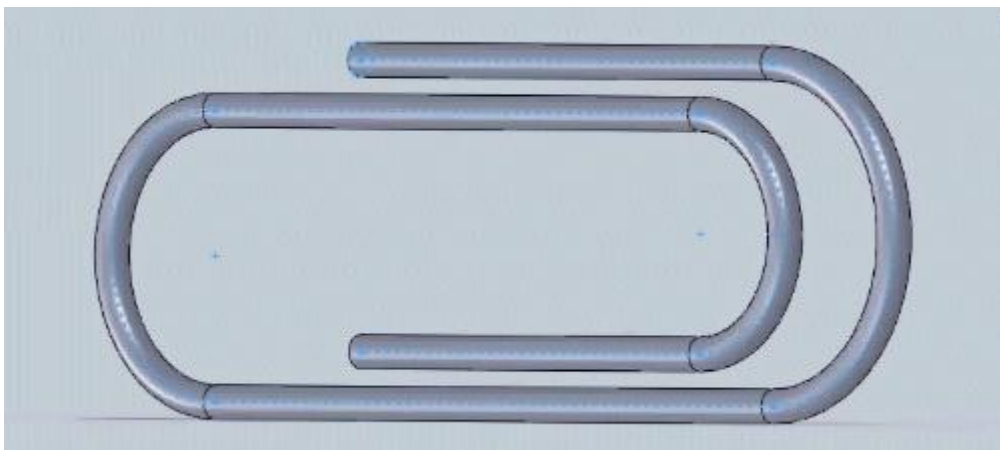
KUVIO 7. Camstudion asetukset nauhoitusta varten.

Nauhoitusasetusten ollessa kohdallaan, aloitetaan kohteen mallinnus SolidWorksilla. Ohjelman on hyvä olla valmiina taustalla, ettei aikaa kulu ohjelman käynnistämiseen. Sovellusikkunan ollessa auki, valitaan valikosta File, New ja Part. Seuraavaksi aloitetaan sketsin tekeminen valitsemalla Sketch ja osoittamalla piirrettävää tasoa. Tämä osio riippuu luonnollisesti siitä, minkälaista kappaletta mallinnetaan, mutta tässä esimerkissä käytetään kappaletta 4.2 Lemmari. Aluksi piirretään niin sanottu polkusketsi (KUVIO 8) käyttäen komentoa Line. Tähän profiiliin ei tarvita muita komentoja.



KUVIO 8. Lemmarin profiili.

Seuraavaksi lemmarin polkusketsiin piirretään niin kutsuttu profiilisketsi, jonka avulla kohteesta saadaan kolmiulotteinen. Tässä tapauksessa profiilisketsi piirretään lemmarin päätyyn. Piirrevalikosta valitaan Circle, joka piirretään 90 asteen kulmaan polkusketsin profiiliin nähden. Tämän jälkeen sketsi voidaan sulkea ja peruspiirteet pursottaa kappaleen viimeistelemiseksi. Tämä tapahtuu valitsemalla valikosta Features, ja sieltä toiminnon Swept Boss/Base. Pursottaminen tällä toiminnolla tapahtuu valitsemalla Profile and Path -valikon ensimmäiseen kohtaan profiilisketsin ja toiseen kohtaan polkusketsin. Toiminto hyväksytään ja kappale on valmis (KUVIO 9).



KUVIO 9. Valmis lemmari.

Viimeinen vaihe on kappaleen ja videon tallennus. Video tallennetaan avaamalla Camstudio ja valitsemalla valikosta Stop. Jos nauhoituksessa on nauhoitettu myös selostus, odo-

tetaan että ohjelma pakkaa ääniraidan. Tämän jälkeen tallennusvalikko avautuu automaattisesti ja käyttäjä voi nimetä tiedoston ja tallennuspolun (KUVIO 10). Lopuksi mallinnettu kappale tallennetaan SolidWorksilla eDrawings- (ERPT) ja Part (SLDPRT) –muotoon. Tallennusvalinnat löytyvät sovellusikkunan File- ja Save as –valintojen alta.



KUVIO 10. Camstudion loppuvalinnat.

7.3 Käyttötarkoitus ja hyödyt

Tuotetuilla tallenteilla, eli videoilla ja eDrawings -kappaleilla, on tarkoituksena toimia apuna itseohjautuvaan mallinnukseen. Videotapahtumaa voi halutessaan toistaa milloin

vain, mistä kohtaa tahansa mallinnustapahtumaa ja kuinka usein tahansa. Olettaen, että tehtävänantojen tasalla oleva mallinnuskirjasto on olemassa, opiskelijan on helpompi pysyä mukana opetuksessa esimerkiksi poissaolojen takia. Jos ohjelman käyttöä opetteleva henkilö pystyy hahmottamaan mallinnustapahtuman itsenäisesti, vaiheiden toistoa koko ryhmälle tarvitaan vähemmän.

Toisaalta suora imitointi ei ole yhtä hyödyllistä kuin oma-aloitteinen geometrinen hahmotus. Tapoja päästä samaan lopputulokseen on monia. eDrawings –kappaleilla on tässä mielessä se hyöty, että käyttäjä kykenee näkemään tavoiteltavan lopputuloksen ja jättää piirustustavan käyttäjän harkintaan. Toisinaan kaksiulotteiset profiilikuvat ovat vaikeaselkoisia, erityisesti jos käyttäjä ei ole ikinä nähnyt kappaletta. Tämä pätee erityisesti monimutkaisiin kokoonpano-osiin. eDrawings –muodossa kappaletta voi käänellä vapaasti ja hahmottaminen on helpompaa. Periaatteessa jos tähän lisätään kappaleen mitoitukset, voi koko tehtävänannon nähdä suoraan näyttöpäätteeltä.

Tapaa tallentaa mallinnusta voi toistaa kaikenlaisiin kappaleisiin, joten osaluettelo voi halutessaan päivittää. Prosessi on erittäin helppo toistaa harjaantuneelle SolidWorks –käyttäjälle. Käytännössä siihen tarvitaan SolidWorksin lisäksi vain nauhoitusohjelma kuten CamStudio ja mikrofoni mahdollisen selosteen tekoon. Näillä työkaluilla käyttäjä voi tallentaa halutunlaisen opetusvideon mistä tapauksesta tahansa. Videoita voi tehdä myös esimerkiksi yleisistä toimintaominaisuuksista, kuten valikkojen sisällöstä ja näkymän manipuloinnista.

7.4 Ongelmat

Teknisessä mielessä, ongelmat liittyvät lähinnä videoiden tietokantaan. Useat videot vievät nopeasti useamman gigatavun tilaa, joten verkossa oleva laaja kirjasto ei ole välttämättä mielekäs. Videoiden koko on suoraan verrannollinen niiden kestoon ja kuvataajuuteen. Osaava käyttäjä pystyy pienentämään kestoja, mutta kuvataajuutta ei voi mielekkäästi laskea kovin alhaiseksi tai videosta tulee pätkivä ja epämääräinen.

Opetuksen kannalta voidaan ajatella videoista olevan hyötyä ongelman ratkaisussa, mutta toisaalta tässä on olemassa ongelma liittyen henkilökohtaiseen pohdintaan. Mallintaminen opetusvideon avulla on kieltämättä helppoa, mutta liiallinen käyttö ei tue omien ratkaisukeinojen etsintää. Voidaan ajatella, että paras keino on jakaa lyhyitä opetusvideoita perustason mallinnustapahtumista aloittelijoiden käyttöön.

Eräs melko suuri huomioon otettava ongelma liittyy ohjelmistopäivityksiin. SolidWorks on ohjelma josta markkinoille tulee uudempia versiota, kuten esimerkiksi tässä työssä käytetty SolidWorks 2009. Tämä tarkoittaa uusia ominaisuuksia ja erilaista käyttöjärjestelmää, mikä voi tehdä vanhojen versioiden mallinnustapahtumat vähemmän hyödyllisiksi. Uuden version käyttöönotossa on syytä harkita videoiden päivitystä, jos niitä aiotaan vastaisuudessa hyödyntää. Myös tästä syystä on aiheellista harkita opetusvideoiden lukumäärää. Iso lukumäärä ikääntyy helposti. Pienempi ja kohdistetumpi valikoima on helpompi pitää ajan tasalla.

Yhteensopivuusongelmat eri käyttöjärjestelmien, ohjelmien ja laitteiden kannalta ovat asioita, joihin ei tämän työn puitteissa voi erityisemmin puuttua. Huomion arvoista on myös se, että henkilökohtaisissa järjestelmissä on aina eroja, mikäli tuotoksia tai menetelmää aiotaan niissä soveltaa. Ohjelmat ja laitteet päivittyvät jatkuvasti, joten ainoa pysyvämpi hyöty on itse menetelmä. Käytännössä jokaiselle tässä työssä käytetylle työkalulle, niin ohjelmille kuin laitteille, on olemassa useita vaihtoehtoja.

8 POHDINTA

Onko SolidWorks-opetuspaketista käytännön hyötyä, ja voidaanko sitä soveltaa? Asiassa on monta tekijää videoiden luojasta aina loppukäyttäjään. Lisäksi on huomioitava järjestelmien ja verkkojen rajoitukset. Yhdeltä osalta kattava videokirjasto olisi käytännöllinen tuki piirtäjälle, mutta toisaalta rasite verkoille ja siirrettävyydelle suuren tiedostokokonsa ja aikanaan tapahtuvien päivitysvaatimusten vuoksi. Opetusvideot eivät sinällään ole uusi asia, mutta menetelmää ei yleisesti ole käytetty 3D-mallinnukseen. Nykyään erilaisilta nettisivuilta on jo löydettävissä opetustarkoitukseen käytettäviä videoita, joten tässä voisi olla yksi julkaisumenetelmä olla kuormittamatta oppilaitosten verkkoja ja samalla eliminoida useita yhteensopivuusongelmia. Toisaalta tiedostojen suora käyttö helpottaa mahdollista kopiointia vapaaseen käyttöön sitä haluttaessa.

Itsessään menetelmä tehdä opetusvideoita on yksinkertainen kenen tahansa käyttää. Se vaatii vain hieman pitkäjänteisyyttä ja keskittymistä erityisesti tehtäessä pitkiä videoita. Monimutkaisimmat mallinnustapahtumat olisikin hyvä pilkkoa useampaan osaan, niin tekijän kuin käyttäjän kannalta. Mahdollisuuksia parantaa ja jäsentää videoita on aina. Tässä asiassa kokemus pelkästä SolidWorksin käytöstä ei yksistään takaa hyvää lopputulosta. Parempilaatuisiin videoihin tarvitaan kokemusta myös itse videon tekemisestä niin teknisessä osaamisessa, kuin myös käytännön kokemuksesta esimerkiksi selosteen tekoon, suunnitteluun ja jäsennykseen.

Koko työn lähtökohtia voi myös kyseenalaistaa hyödyltään. Voidaan ajatella, että laajan kappalevalikoiman sijaan olisi hyödyllisempää keskittyä muutamisiin oleellisiin toimintoihin kuten sketsin määrittämiseen, kokoonpanotoimintoihin ja ohutlevymallinnukseen. Etukäteissuunnittelulla olisi käytettävyyden kannalta paljon kehittämistä. Esimerkiksi sen sijaan että mallinnetaan tusina kohtuullisen yksinkertaisia kappaleita, voitaisiin ajatella yhdestä kattavasta videosta olevan yhtä paljon, tai enemmän hyötyä, mikäli sama aika käytetään yhden videon hiomiseen käyttäjäystävällisemmäksi.

LÄHTEET

CamStudio. 2003. Help. Sähköinen opas.

CamStudio. 2011a. What is it? Www-dokumentti. Saatavissa: <http://camstudio.org/>. Luettu 14.1.2011.

CamStudio. 2011b. Don't like the sound of your voice? No problem. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://camstudio.org/>. Luettu 14.1.2011.

Convia. eDrawings. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.convia.fi/fi/tuotteet/edrawings>. Luettu 2.3.2011.

Dassault Systèmes SolidWorks Corp. eDrawings Publisher. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.edrawingsviewer.com/pages/products/eDrawingsPublisher.html>. Luettu 2.5.2011.

Free Software Foundation, Inc. GNU General Public License. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.gnu.org/licences/gpl.html>. Luettu 14.1.2011.

Hietikko, E. 2007. SolidWorks – Tietokoneavusteinen suunnittelu. 2. uudistettu painos. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print: Savonia-ammattikorkeakoulu.

ISO. ISO 128-1:2003. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=32462. Luettu 4.5.2011.

Leino R. Tietokoneavusteinen suunnittelu on kaikkialla. Tekniikka & Talous. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/ict/article24480.ece>. Luettu 28.1.2011.

Savonia. Extra. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://webd.savonia-amk.fi/home/kthiees/3d/SolidWorks/Extra/extra.htm>. Luettu 4.5.2011.

SolidWorks Corp. 2011a. Tietoja SolidWorksista. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm. Luettu 13.1.2011.

SolidWorks Corp. 2011b. 3D-suunnittelu. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.solidworks.fi/sw/6455_SVF_HTML.htm. Luettu 14.1.2011.

SolidWorks Corp. 2011c. SolidWorks System Requirements. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.solidworks.com/sw/support/SystemRequirements.html>. Luettu 2.5.2011.