

RUISKUVALUMUOTIN SUUNNITTELU

Suunnitteluapuohjelman toteutus SolidWorks API SDK -ympäristössä

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Muovitekniikan koulutusohjelma
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Ville Leiniö

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikka

Ville Leiniö:

Ruiskuvalumuotin suunnittelu
Suunnitteluapuohjelman toteutus Solid-
Works API SDK-ympäristössä

Muovitekniikan opinnäytetyö, 39 sivua, 5 liitesivua

Kevät 2013

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia mahdollisuuksia automatisoida ruiskuvalu-muottisuunnittelua SolidWorks-ympäristössä ja luoda työkaluja helpottamaan ja nopeuttamaan suunnitteluprosessia. Työ tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun toimeksiantona.

Työn teoriaosuudessa selvitetään muottisuunnittelun olennaisia osa-alueita ja suunnittelunäkökohtia. Teoriaosuudessa käsitellään myös SolidWorks-suunnitteluympäristöä ja olemassa olevia apuohjelmia.

Toteutusosassa on ohjelmoitu apuohjelma muottiosien laskemiseen sekä työkalut muottikokoonpanon, jakokanavien ja jäähdytyskanavien luomiseen. Apuohjelma tekee tarvittavat laskutoimitukset käyttäjän antamien lähtötietojen sekä valitun kappaleen pohjalta ja antaa tulokset helposti käytettävässä muodossa työkaluja varten. Sovellukset on ohjelmoitu Visual Basic .NET -ohjelmointikielellä Visual Studio 2008:ssa.

Lopputuloksena on apuohjelma, joka auttaa muottisuunnittelijaa sopivien muottilaattojen valinnassa sekä muutamien muottiosien ja muottikokoonpanon mallintamisessa.

Avainsanat: SolidWorks, ruiskuvalu, muotti, muottisuunnittelu, Visual Basic .NET

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Technology

Ville Leiniö:

Injection mold design
Mold design application using Solid-
Works API SDK

Bachelor's Thesis in Plastics Technology, 39 pages, 5 appendixes

Spring 2013

ABSTRACT

The aim of the thesis is to study the possibilities of automating injection mold design in a SolidWorks modeling environment and to create tools to simplify the design process. The study was an assignment of Lahti University of Applied Sciences.

The theory section covers essential topics of injection mold design and design aspects. The focus is also on the SolidWorks design environment and other existing mold design applications.

The empirical section reports the programming of add-in applications for mold part calculation and tools for creating mold assemblies, runner systems and mold cooling channels. The calculation application processes information based on user input and a selected workpiece to calculate easy-to-use parameters for the other tools. The add-in applications are programmed using the Visual Basic .NET programming language in Microsoft Visual Studio 2008.

The result is an application that assists in choosing the correct mold size and the modelling of some mold parts and the mold assembly.

Key words: SolidWorks, injection molding, mold, mold design, Visual Basic .NET

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | RUISKUVALU | 3 |
| 2.1 | Ruiskuvalumuotti | 4 |
| 2.1.1 | Valukanavat | 5 |
| 2.1.2 | Lämmönsäätö | 6 |
| 3 | MUOTTISUUNNITTELU | 7 |
| 3.1 | Ruiskuvalumuotin suunnittelu | 7 |
| 3.1.1 | Pesien sijoittelu | 7 |
| 3.1.2 | Valukanavat ja portit | 8 |
| 3.1.3 | Lämmönsäätely | 10 |
| 3.1.4 | Ulostyöntö | 10 |
| 3.1.5 | Muottimateriaali | 11 |
| 4 | SOLIDWORKS | 12 |
| 4.1 | Toimintaperiaatteet | 12 |
| 4.2 | Ulkoasu ja työkalut | 13 |
| 5 | VISUAL BASIC .NET –OHJELMOINTI | 16 |
| 5.1 | API-ohjelmointi | 16 |
| 5.2 | SolidWorks API -sovellus | 17 |
| 6 | MUOTTISUUNNITTELU LIITÄNNÄINEN | 19 |
| 6.1 | SolidWorks Add-In Wizard | 19 |
| 6.2 | Muottiosien laskenta | 21 |
| 6.2.1 | Kappaleen mitat ja muottilaatan valinta | 22 |
| 6.2.2 | Jäähdytyskanavat | 25 |
| 6.2.3 | Laattojen paksuudet | 26 |
| 6.2.4 | Valukanavat | 27 |
| 6.3 | Valukanavatyökalu | 28 |
| 6.4 | Jäähdytyskanavatyökalu | 31 |
| 6.5 | Muottipakan luominen | 34 |
| 6.6 | Kaupallisia sovelluksia | 37 |

| | | |
|---|------------|----|
| 7 | YHTEENVETO | 38 |
| | LÄHTEET | 40 |
| | LIITTEET | 43 |

1 JOHDANTO

Muottisuunnitteluprosessissa käytetään toistuvasti hyvin samankaltaisia ratkaisuja, joissa on vain muutamia muuttujia. Tällaisten suunnitteluvaiheiden toisto on suunnitteluinsinöörin kannalta työlästä ja aikaavievää. Muottisuunnittelu tapahtuu nykyaikana hyvin vahvasti tietokoneavusteisena, mikä mahdollistaa valtavan laskentatehon ja -nopeuden. Toistuvien ja samankaltaisten suunnitteluvaiheiden siirtäminen väsymättömän tietokoneen tehtäväksi on tehokas ratkaisu, joka mahdollistaa muottisuunnittelijan käyttää osaamistaan muihin osa-alueisiin.

Edellämainittuja mekaanista toistoa vaativia suunnitteluvaiheita ovat mm. muottikokoonpanon tekeminen, muottipesien leikkaaminen, ulostyönnön kokoaminen ja valu- ja jäähdytyskanavien luominen. Lisäksi muottikokoonpanon mittojen määrittäminen ja kokoaminen on hyvin suoraviivainen mutta laaja prosessi, joka käsin tehtynä vie aikaa.

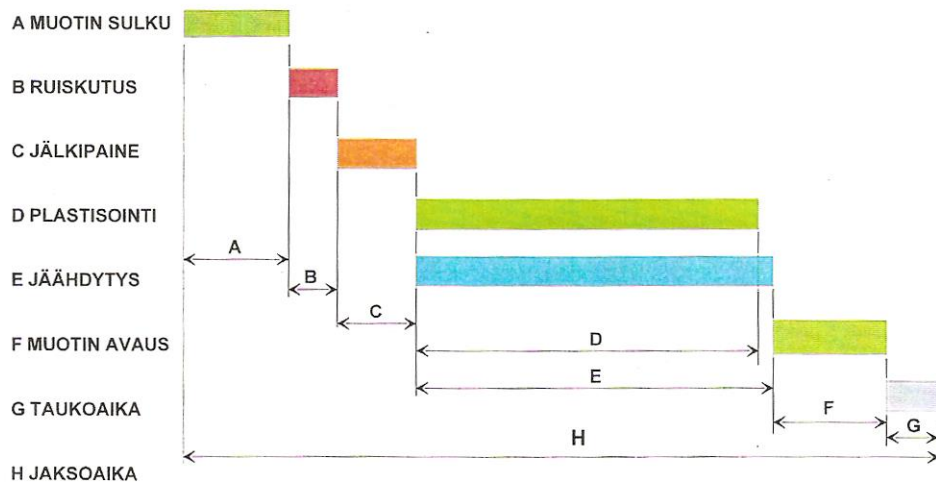
SolidWorks-suunnitteluympäristö tarjoaa jo valmiiksi muutamia muottisuunnitteluun liittyviä työkaluja, kuten päästökulma- ja vastapäästöanalyysit, jakotasojen määrityksen ja muotti-inserttien eristämisen kappaleesta. Tavoitteena oli luoda näiden rinnalle helppokäyttöiset työkalut, joilla nopeuttaa ja selkeyttää muottisuunnitteluprosessia. Tältä pohjalta lähdettiin tutkimaan mahdollisuuksia kehittää SolidWorks-työskentelyä ohjelmoimalla uusia työkaluja muottisuunnittelua varten. Yhtenä lähtökohtana oli kehittää olemassa olevia muottikokoonpanolaskureita toimimaan suoraan SolidWorksin kautta, sekä laajentaa niiden toimintaa. Eräs tällainen muottilaskuri on Joona Haaran muovitekniikan opinnäytetyö Ruiskuvalumuotin suunnittelu, avustajaohjelma muottiosien laskentaan syksyeltä 2008 (Haara 2008). Haaran opinnäytetyössä kuvataan yleisiä muottisuunnittelun näkökulmia sekä luodaan Microsoft Excel -pohjainen laskentaohjelma sekä tietokanta K-standardin muottilaatoista. Tässä opinnäytetyössä on jatkokehitetty näitä laskelmia sekä ohjelmoitu työkaluja, jotka käyttävät suoraan laskelmien tuloksia ja joiden lopputulos on valmis ruiskuvalumuotin osa.

Kehitetyt apuohjelmat hyödyntävät SolidWorks-asennuksen yhteydessä ladattavaa erillistä SolidWorks API SDK (*Application Programming Interface, Software Development Kit*) -ohjelmistokehityspakettia, jonka avulla voidaan luoda omia työkaluja käytettäväksi SolidWorks-ympäristössä. SolidWorks API mahdollistaa kaikkien olemassa olevien työkalujen käytön piirteiden (*Feature*), luonnosten (*Sketch*), osien, kokoonpanojen ja piirustusten luomiseen käyttäen tuttua SolidWorksin ulkoasua sekä joitain toimintoja, jotka ovat mahdollisia vain SolidWorks API:n kautta.

2 RUISKUVALU

Ruiskuvalu on yksi merkittävimpiä kestopuovituotteiden valmistustekniikoita, jossa valmistusajat ovat nopeita ja tuotantomäärät suuria. Menetelmä soveltuu niin yksinkertaisiin kulutustuotteisiin kuin tarkkuutta vaativiin teknisiin komponentteihin. (British Plastics Federation 2013.) Ruiskuvalun keskeinen ajatus on ruiskuttaa sula muovimassa paineenalaisena muottipesään, joka määrää kappaleen lopullisen muodon.

Ruiskuvalusykli alkaa muotin sulkemisesta. Ruiskuvalukoneen plastisointiruuvi tekee nopean liikkeen eteenpäin, mikä ruiskuttaa sulan muovimassan paineenalaisena muottiin. Kun muottipesä on lähes täyttynyt, alkaa jälkipaine, jonka aikana ruuvi puristaa yhä lisää sulaa muovia muottionteloon. Jälkipaineella kompensoidaan myös muovin jäähtyessä tapahtuvaa kutistumaa. Seuraavana alkaa kappaleen jäähdytysaika, jonka aikana plastisointiruuvi liikkuu taakse ja plastisoi uuden ruiskuvaluannoksen seuraavaa sykliä varten. Jäähdytysaika kestää vähintään plastisointiajan verran, mutta voi tarvittaessa olla pidempikin. Lopuksi muotti avautuu ja kappale poistetaan ulostyönnön toimesta tai tarvittaessa syklissä on tauko, minä aikana kappale poistetaan käsin tai robotin toimesta. Nämä kaikki vaiheet muodostavat ruiskuvalun sykli- tai jaksoajan. Jakson vaiheet on kuvattu vaiheina A-H kuviossa 1.

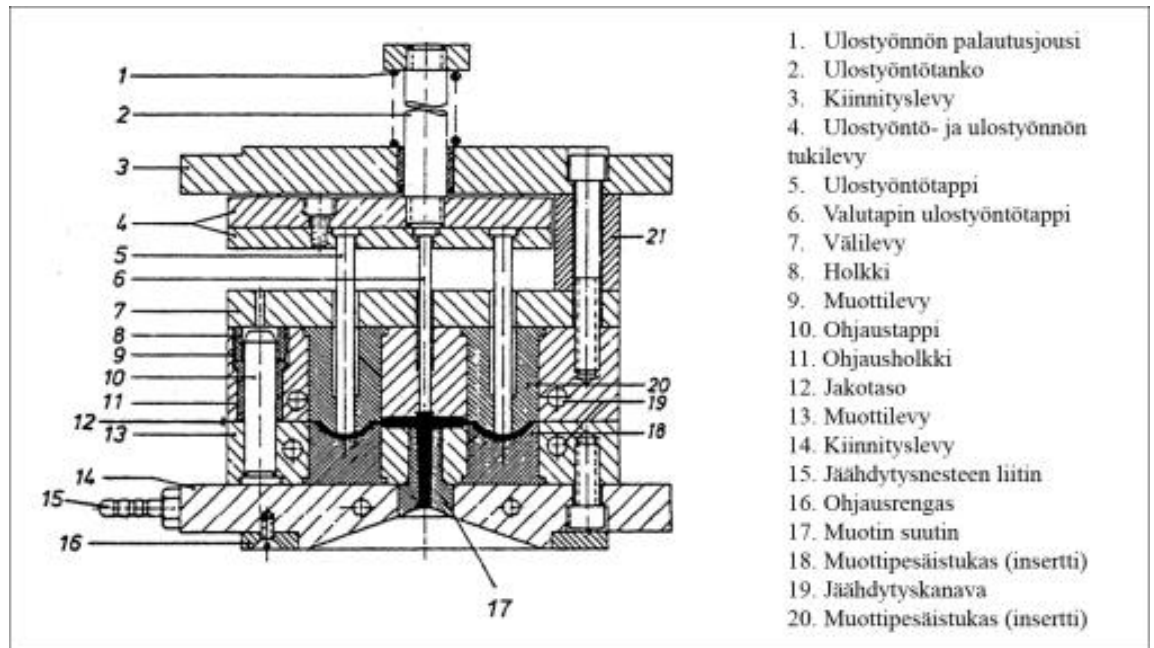


KUVIO 1. Ruiskuvalujakso (Järvelä, Syrjälä, Vastela 2000, 47)

2.1 Ruiskuvalumuotti

Ruiskuvalun lähtökohtana on valmistettava kappale. Menetelmän mahdollisuuksi-
en vuoksi on olemassa lukemattomia määriä erilaisia ruiskuvalukappaleita ja sen
myötä myös erilaisia ruiskuvalumuotteja. Ruiskuvalumuotti pääpiirteissään koos-
tuu kahdesta muottipuoliskosta, joiden väliin valmistettava kappale ruiskutetaan.
Toisessa muottipuoliskossa on lisäksi valu- ja jakokanavat ja toisessa vastaavasti
kappaleen ulostyönnön osat. (Stoeckhert 1983, 23.) Käytännössä ruiskuvalumuotti
sisältää lisäksi paljon muitakin osia.

Tyypilliset ruiskuvalumuotin osat lueteltuna ruiskutusyksiköstä alkaen ovat etu-
muottipuoliskon kiinnityslevy, etumuottilevy, takamuottilevy, tukilevy, tukipalkit
ja ulostyöntölevyt sekä takamuottipuoliskon kiinnityslevyt. Tämän lisäksi tarvi-
taan monia toiminnallisia osia. Ruiskuvalumuotin perusrakenne on kuvattu kuvi-
ossa 2.



KUVIO 2. Muotin osien nimitykset (Järvelä ym. 2000, 114)

Ruiskuvalumuottien kehityksessä on pyritty muottien laadun parantamiseen, sekä valmistusajan ja -kustannusten pienentämiseen (Järvelä ym. 2000, 11). Tätä varten on laadittu muottilaattastandardeja, mikä mahdollistaa nopean kehittelyn, jossa vaaditaan vain muotti-inserttien asennus muottipakettiin.

2.1.1 Valukanavat

Valukanavat kuljettavat sulan muovimassan ruiskuvalumuotin muottipesään. Monipesämuotissa valukanavisto voidaan edelleen jakaa syöttö- ja jakokanaviin. Syöttökanava on monipesämuotin pääkanava valutapin jälkeen, josta haarautuu edelleen jakokanavat, jotka johtavat muovimassan muottipesiin. (Järvelä ym. 2000, 340.)

Kuuman muovisulan ruiskuttaminen jäähdytetyille muottipinnoille aiheuttaa muovimateriaalin jähmettymistä valukanavien seinämillä. Kanavat täytyy sen vuoksi mitoittaa halkaisijaltaan tarpeeksi suuriksi, jotta muu muovimassa pääsee virtaamaan alati jäähtyvän kanavan läpi. Paineenalaisena virtaava materiaali hillitsee kanaviston kutistumista kesken ruiskutuksen. (Stoeckert 1983, 38.)

2.1.2 Lämmönsäätö

Muotin lämmönsäätelyn tarkoitus on saada ruiskuvalukappaleen lämpötila tarpeeksi alhaiseksi, jotta se voidaan poistaa muotista ja aloittaa uusi ruiskuvalusykli. Jäähdytysaika tulisikin saada mahdollisimman pieneksi, sillä juuri jäähdytysaika on ruiskuvalusyklin pisin jakso. Toisaalta kappaleen jäähtymisen pitäisi tapahtua tasaisesti, jotta tuotteeseen ei syntyisi vääristymisiä.

3 MUOTTISUUNNITTELU

Muottisuunnittelun lähtökohtana on ensinnäkin ruiskuvalettava kappale ja lisäksi tavoitellut tuotantomäärät ja käytettävissä oleva ruiskuvalukone.

Jo kappaleen suunnittelussa on huomioitava monia seikkoja, jotta ruiskuvalu voidaan suorittaa helposti ja taloudellisesti. Tärkeitä ovat mm. portin sijoittelu ja kappaleeseen muodostuvat yhtymäsaumat, seinämänpaksuudet ja niiden muutokset, orientaation muuttuminen kappaleessa jne.

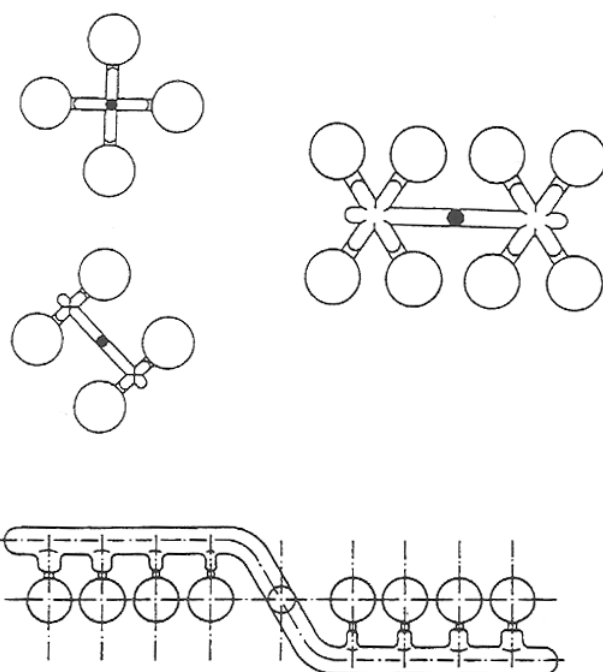
Muottisuunnittelun vaiheita on seuraavaksi käyty läpi, kuten on esitetty kirjassa Ruiskuvalu (Järvelä ym. 2000, 116).

3.1 Ruiskuvalumuotin suunnittelu

Ennen muottisuunnittelua on syytä tehdä tarkat kustannus- ja tuotanolaskennat. Muottikokoonpanon materiaalikustannukset ovat helposti lähtökustannusten suurin osa-alue, tuhansista kymmeniin tuhansiin euroihin, siispä ruiskuvalu onkin yleensä vain suurien tuotantomäärien valmistusprosessi. Monipesämuotin materiaalikustannukset kasvavat, mutta toisaalta ruiskuvalukoneen käyttökustannukset laskevat. Kun ruiskuvalettavasta kappaleesta tiedetään sen tuotantomäärä, sille asetetut vaatimukset ja sykli aika ja toisaalta ruiskuvalukoneen kapasiteetti, voidaan laskea tehokkain ja taloudellisin pesäluku ruiskuvalumuotissa. (Stoeckhert 1983, 23–24.)

3.1.1 Pesien sijoittelu

Kun muovimateriaali ruiskutetaan muottiin, on sen levittävä tasaisesti joka puolelta, jotta kaikki pesät täyttyisivät samaan aikaan ja kappaleet olisivat yhdenmuotoisia. Tähän voidaan vaikuttaa pesien sijoittelulla, jossa pyritään tasapainaisuuteen ja symmetriaan. Tyypillisiä asettelumalleja ovat tähti- ja rivimuoto, tai kappalekohtaisesti toimivin symmetrinen sijoittelu. Esimerkkejä muottipesien sijoittelusta on esitetty kuviossa 3.



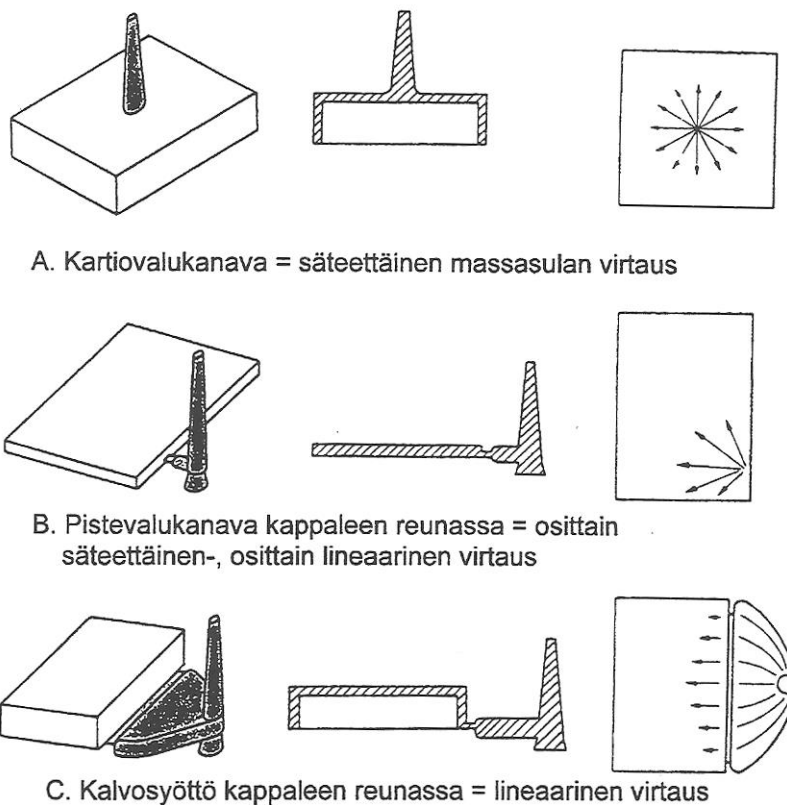
KUVIO 3. Muottipesien sijoittelumalleja (Järvelä ym. 2000, 134)

3.1.2 Valukanavat ja portit

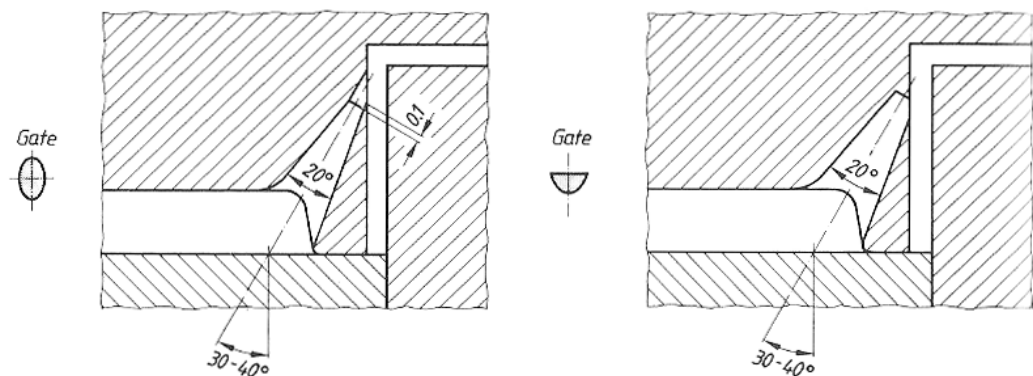
Pesien asettelun yhteydessä on hyvä valita myös valukanavien tyyppi: käytetäänkö kuuma- vai kylmäkanavaa. Kuumakanavassa syöttökanavaan jää muovimateriaalia, joka pidetään lämmitysvastusten avulla sulassa tilassa. Kuumakanavan käyttö mahdollistaa nopeammat sykliajat ja se vähentää tuotantojätteen määrää poistamalla kappaleeseen jäävät valukanavat (Stoeckhert 1983, 40). Toisaalta tuotannon aloitus voi olla hankalaa ja lämmönsäätö vaikeaa ja menetelmä aiheuttaa myös lisäkustannuksia erillisten lämmityslaitteiden ja valmistuskustannusten muodossa (Järvelä ym. 2000, 128). Kylmäkanavat ovat perinteisempi malli, jossa valukanavat jäähtyvät muotissa ja poistuvat ulostyönnön aikana. Niiden poistamiseen tarvitaan yleensä erillinen työvaihe.

Valukanavien yhteyteen liittyy oleellisesti käytettävän portin tyyppi. Muovi voidaan ruiskuttaa suoraan kappaleeseen kartiovalukanavan avulla, mutta paremman ulkonäön kappaleeseen jättävät pistemäinen portti, kalvoportti tai tunneliportti. Pistemäinen portti vähentää materiaalin takaisinvirtausta ja kappaleeseen jäävä

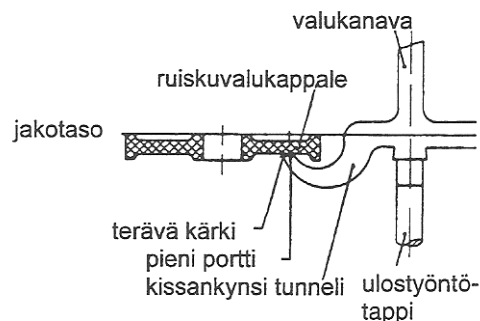
jälki on pieni. Sitä käytetään yleensä ohutseinäisissä kappaleissa. Kalvoportti tuottaa hyvin yhdensuuntaisen virtauskuvion, mikä vähentää kappaleen jäännösjännityksiä. Tunneliportin etu on, että valukanavisto irtaana kappaleesta ulostyönnön aikana, mikä poistaa tarpeen erilliselle työstövaiheelle. (Stoeckhert 1983, 36–37.) Mikäli portti täytyy saada kappaleen ulostyöntöpuolelle, voidaan käyttää myös ns. kissankynsiporttia (Järvelä ym. 2000, 127). Erilaisia portteja on esitetty kuviossa 4, tunneliportti kuviossa 5 ja kissankynsiportti kuviossa 6.



KUVIO 4. Erilaisia syöttöjä ja niiden virtauskuvioita (Järvelä ym. 2000, 123)



KUVIO 5. Tunneliportteja, sekä niiden jättämä jälki kappaleessa (Stoeckhert 1983, 38)



KUVIO 6. Kissankynsiportti (Järvelä ym. 2000, 127)

3.1.3 Lämmönsäätely

Lämmönsäätely vaikuttaa ruiskuvalukappaleen sykli aikaan ja toisaalta kappaleen vääristymiseen jäähtymisen aikana (Stoeckhert 1983, 44). Jäähtymisen tulisi edetä tasaisesti joka kohdassa kappaletta, että ulostyönnön aikana ei enää jäisi sulia kohtia, jotka jäähtyessään aiheuttavat imuja kappaleen pintaan tai kappaleen taipumista. Jäähdytyskanavien tulisi koneistamisen ja käytön puolesta olla rakenteeltaan yksinkertainen ja sijoitella letkuliittimet samalle puolelle muottilaattaa, mielellään alas tai koneen taakse jääville pinnoille.

3.1.4 Ulostyöntö

Ulostyönnön suunnitteluun on muutamia eri vaihtoehtoja, joiden valintaan vaikuttavat kappaleen muoto ja pinnan ulkonäkövaatimukset, sillä ulostyönnöstä jää aina jonkinlainen jälki kappaleeseen. Tappiulostyöntö on yleinen menetelmä, jossa muutamalla tapilla työnnetään kappaletta valituista kohdista ja valukanavista. Tappien pinnat on yleensä muotoiltu kappaleen pinnan mukaisesti. Pyöreät kappaleet voidaan ulostyöntää rengasulostyönnöllä. Muita mekanismeja ovat luistikeer-naulostyöntö sekä paineilman käyttäminen. Lopuksi muottiin sovitetaan kaasunpoisto jakotasolle, keernapaloihin tai ulostyönnön yhteyteen. Muottiin jäävät ilma-

taskut aiheuttavat mm. kappaleen pinnan palamista, kun ruiskutettava muovi puristaa ilman pienempään tilaan ja paineen kasvu saa ilman kuumenemaan.

3.1.5 Muottimateriaali

Muottimateriaalin valinnassa vaikuttaa paljon kappaleelle asetetut pinnanlaatuvaatimukset ja ruiskuvalettava materiaali. Muottipesien tulee kestää käytössä syntyvä paine sekä mahdolliset kemikaalit korotetussa lämpötilassa. Monesti on tarve myös saada kiiltävä muottipinta, mikä vaikuttaa materiaalivalintaan. Muottikoonpanon muut rakenteelliset osat voivat yleensä olla halvempaa teräslaatua.

4 SOLIDWORKS

Dassault Systèmes SolidWorks Corp.:n kehittämä SolidWorks on yksi käytetyimpiä tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD, Computer aided design) ohjelmia. Helpon käyttöliittymänsä ja tehokkaan työkaluvalikoimansa avulla siitä on ilmentymisvuodestaan 1995 lähtien kasvanut monen suunnittelualan huippuyrityksen valitsema työkalu suunnitteluun ja insinööriyöhön. (Ruiz, Jack 2010, 2.)

4.1 Toimintaperiaatteet

SolidWorksin toiminta perustuu 2D-luonnosten (*Sketch*) pohjalta mallinnettuihin 3D-piirteisiin (*Feature*). Olemassa olevien piirteiden päälle voidaan luoda uusia luonnoksia ja piirteitä, jotka lisäävät tai poistavat materiaalia täten mahdollistaen monipuolisia kappaleita. Yhdessä piirteet muodostavat kappaleen (*Part*), ja useampia kappaleita voidaan liittää toisiinsa kokoonpanoksi (*Assembly*). Lisäksi tuotantoa varten voidaan määrittää tuotepiirustukset (*Drawing*). (Ruiz, Jack 2010, 2.)

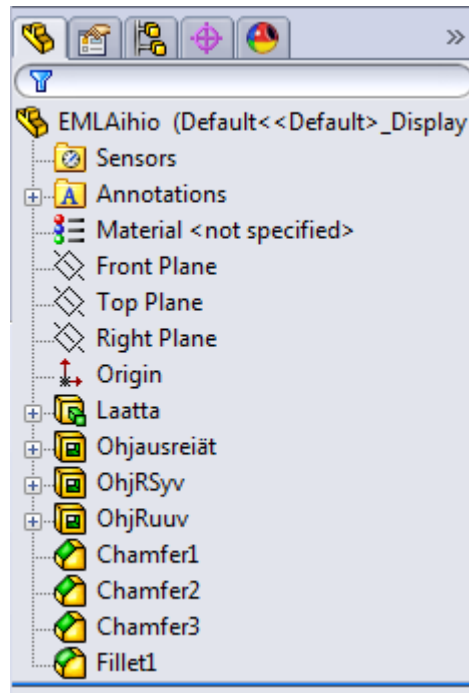
SolidWorks on myös historiapohjainen, mikä tarkoittaa sitä, että piirteet luodaan järjestyksessä edelläolevien piirteiden päälle. Näin ollen eri vaiheiden järjestyksellä on merkitystä, ja muutos järjestyksessä voi tuottaa aivan erilaisen kappaleen tai tehdä kappaleen mahdottomaksi mallintaa. Piirteiden järjestys ilmenee piirrehallintatyökalusta (*FeatureManager*), joka esitetään rakennepuumuodossa mallinalueen vasemmassa reunassa, ja jolla piirteiden järjestystä voi myös muuttaa jälkikäteen (Lombard 2010, 18).

Ehkä tehokkain SolidWorksin ominaisuuksista on sen parametrisuus. Luonnoksille ja piirteille määritetään tietyt parametrit, kuten leveys, syvyys tai kulma, joiden mukaan ohjelma mallintaa kappaleet. Nämä parametrit ovat yleensä lukuarvoja, mutta niille voi myös määrittää ehtoja toisten elementtien mukaan, esimerkiksi viivan voi määrätä yhdensuuntaiseksi toisen viivan kanssa. Yhdessä historiapohjaisuuden kanssa tämä mahdollistaa sen, että yhden parametrin muuttaminen yhdessä osassa kappaletta tekee parametrien mukaiset muutokset kaikissa niissä osissa, jotka on siihen liitetty. Oikein parametroitu tappi ja holkki sopivat aina yhteen, vaikka toisen mittoja muuttaisikin.

4.2 Ulkoasu ja työkalut

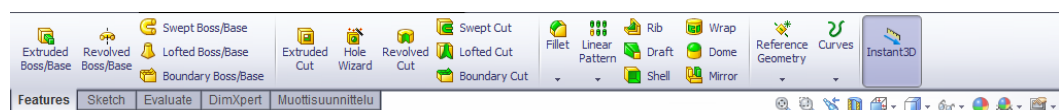
SolidWorksin ulkoasu koostuu pääosin mallinnusalueesta, jossa käyttäjän mallintama kappale esitetään visuaalisesti. Tässä alueessa kappale voidaan esittää eri perussuunnista, sen piirrostyyliä voi vaihtaa kiinteästä rautalankamalliin tai kokonaan piilotettuun, sille voi määrätä eri värejä ja tekstuureja ja kappaleen voi esittää halkileikattuna. Piirrosalueen ympäriltä löytyvät muut käyttöliittymän osat, joista monet ovat Windows-ympäristöstä tuttuja, kuten valikkopalkki, tilarivi ja työkalurivit. SolidWorksille ominaisia ovat kuitenkin piirrehallintatyökalu FeatureManager, työkalupaneeli CommandManager sekä ominaisuustyökalu PropertyManager, joista kaksi jälkimmäistä ovat oleellinen osa tämän opinnäytetyön toteutusosaa.

FeatureManager on työkalu, jolla hallitaan kappaleen tai kokoonpanon piirteitä ja niiden järjestystä, kuten edellisessä alaluvussa esiteltiin. Rakennepuusta ilmenee avoinna olevan tiedoston nollapiste koordinaatistossa, sekä kolme määräävää perustasoa (*Plane*). Näiden jälkeen on listattu kaikki kappaleeseen kuuluvat piirteet, jotka voidaan edelleen laajentaa näyttämään piirteen määrittävät luonnokset. FeatureManager-työkalussa ilmenee myös kappaleelle asetettu materiaaliominaisuus, väri ja tekstuuri, mikäli käyttäjä on ne määrittänyt. Assembly-kokoonpanotiedostossa FeatureManager-rakennepuuhun on listattu kaikki kokoonpanoon kuuluvat kappaletiedostot, jotka voidaan laajentaa näyttämään kappaleiden omat rakennepuut. Tärkeä osa rakennepuuta on vieritettävä oloviiva, jota siirtämällä voi piilottaa viivan alle jäävät piirteet, ikään kuin palata aikasempaan hetkeen kappaleen historiassa. Esimerkki rakennepuusta on esitetty kuviossa 7. Kuviossa näkyy kappaleen EMLAihio piirteitä: ensimmäisenä ekstruusio Laatta ja sitten laattaan tehtyjä reikiä ja viisteitä. Alimpana näkyy sinisenä oloviiva.



KUVIO 7. FeatureManager-rakennepuu

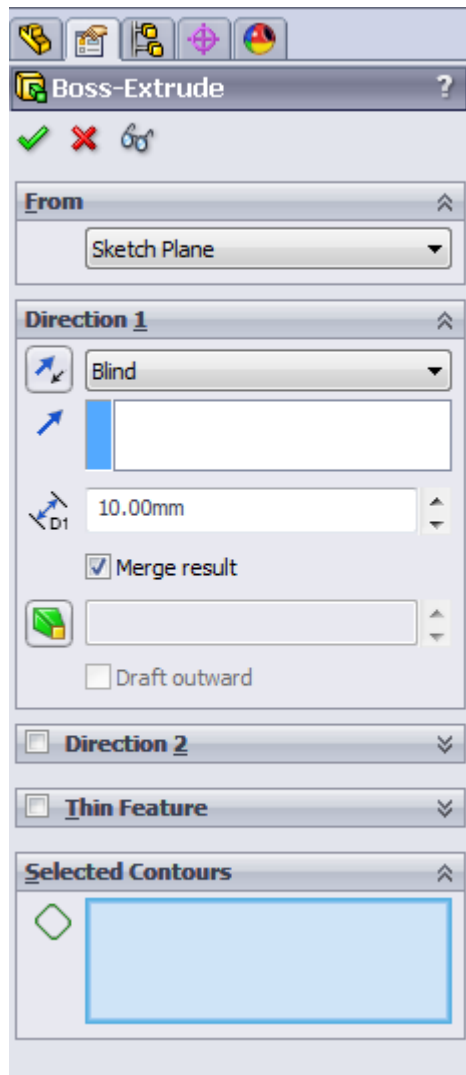
CommandManager-paneeli muistuttaa Microsoftin Office 2007 -tuotteissa julkais-
tua MS Ribbon -työkalunauhaa. Sen tarkoitus on ollut saattaa kaikki työkalurivit
helposti samaan paikkaan viemättä kuitenkaan suurta tilaa ruudulta. Paneeli esit-
tää eri aihealueiden työkalut omissa välilehdissään painikkeina tai alasvetovalik-
koina. (Lombard 2010, 40–41.) CommandManager-paneeli myös vaihtaa ulko-
asuaan tilanteen mukaan näyttääkseen oikeat työkalut riippuen tiedostotyypistä,
avoimesta työkalusta jne. (Ruiz, Jack 2010, 16). Esimerkki CommandManager-
työkalupaneelistä on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. CommandManager-työkalupaneeli

PropertyManager-työkalua käytetään määrittämään melkein kaikki työkalujen
parametrit ja piirteiden ominaisuudet. Monen työkalun aktivoiminen avaa Proper-
tyManagerin, johon kuuluu yksi tai useampi PropertyManagerPage, eli käyttöliit-
tymän yksittäinen sivu. PropertyManager antaa työkalulle visuaalisen käyttöliit-
tymän ja käyttää monia Windows-ympäristöstä tuttuja elementtejä, kuten teksti-
laatikot, alasvetolistat ja painikkeet. Käyttäjä syöttää PropertyManagerPage-

käyttöliittymään työkalun vaatimat lähtöarvot, jonka jälkeen toiminto joko hyväksytään tai hylätään yläreunan ✓- ja ✕-painikkeilla. Kuviossa 9 on esitetty Extruded Boss/Base -työkalun PropertyManager-työkalusivu, jossa näkyy työkalun käyttämiä parametreja, joista osa on pakollisia, kuten suunta ja ekstrudoitava etäisyys, mutta jotkut täysin valinnaisia, kuten päästökulma.



KUVIO 9. PropertyManagerPage Boss-Extrude-työkalulle

5 VISUAL BASIC .NET –OHJELMOINTI

Visual Basic .NET on Microsoftin kehittämä oliopohjainen ohjelmointikieli, joka on kehitetty vanhemman Visual Basic -kielen pohjalta tukemaan Microsoftin uudempaa .NET-runkoa (Wikipedia 2013a). .NET-runko on Microsoftin kehittämä, sovellusrunko, joka otettiin käyttöön Windows 98 -käyttöjärjestelmän mukana ja on ollut pohjana kaikkiin Windows-sovelluksiin sen jälkeen. Visual Basic .NET käyttää ohjelmistoympäristönään Visual Studio -ohjelmistoa, jonka uusin versio on Visual Studio 2012. Visual Studio sisältää myös mahdollisuuden C++- ja C#-ohjelmointikielille, mutta Visual Studio .NET valittiin tähän työhön, sillä siinä on paljon samankaltaisuuksia ennestään tutumman Visual Basic -ohjelmointikielen kanssa.

5.1 API-ohjelmointi

SolidWorks API SDK -tuotekehityspaketti sisältää kaiken tarvittavan sisällönkehitystä varten SolidWorks-ympäristössä. Erilaisia mahdollisia sovelluksia ovat nauhoitetut makrot, erilliset sovellukset, liitännäissovellukset sekä VBA-toiminnallisuutta hyödyntävät muut sovellukset.

Makron nauhoittaminen tapahtuu helposti SolidWorksin makrotyökaluilla. Käyttäjä aloittaa nauhoituksen työkaluriviltä, suorittaa haluamansa mallinnustoimenpiteet kuten tavallisesti ja lopettaa nauhoituksen, jonka jälkeen SolidWorks tallentaa tehdyt toimenpiteet kooditiedostona. Koodin voi avata muokattavaksi SolidWorksin tukemalla VSTA-työkalulla (*Visual Studio Tools for Applications*). VSTA on integroitu ohjelmointiympäristö (IDE, integrated development environment) Visual Studiosta, joka mahdollistaa koodin käsittelyn ilman Visual Studiota, mutta vaatii kuitenkin isäntäohjelman (tässä tapauksessa SolidWorks) (Wikipedia 2013b). Nauhoitettu makro sisältää ohjelmalauseet SolidWorksiin yhdistämistä varten sekä ohjelmaluokat varsinaista toteutettavaa toimintaa varten. Ohjelmalauseita voi VSTA-työkalulla muokata mieleisekseen, lisätä ohjelmaan muuttujat ja luoda käyttöliittymän pohjautuen joko Windowsin Form-ikkunoihin tai Solid-

Worksin PropertyManager-sivuihin. Makrot voi suorittaa avaamalla ne makrotyökalujen kautta, tai niille voi asettaa oman painikkeen.

Liitännäissovellukset ja erilliset sovellukset ovat yleensä laajempia sovelluksia, joiden erona on se, että liitännäissovellukset ovat kiinteästi liitettyjä SolidWorksin rekisteriin .dll-tiedostoina ja näkyvät Tools – Add-ins -sovellusvalikossa, kun erilliset sovellukset täytyy käynnistää SolidWorksin ulkopuolelta .exe-tiedostona (SolidWorks 2012a).

Lisäksi voidaan käyttää ulkopuolisia ohjelmia, jotka tukevat VBA- ja VSTA-toiminnallisuutta. Esimerkiksi Microsoft Excel -sovellukseen voi ohjelmoida painikkeen, joka luo luonnoksen käyttäen .xls-taulukon lukuja luonnospisteiden koordinaatteina.

5.2 SolidWorks API -sovellus

Voidakseen liittyä SolidWorks-ohjelmaan vaaditaan sovellukselta muutamia pakollisia ohjelmalauseita. Sovelluksen täytyy tehdä viittaus SolidWorksin tyyppikirjastoihin (*Type library*). Tyyppikirjastoja on useita ja ne sisältävät kaiken SolidWorksin toiminnallisen koodin ja niistä tämän opinnäytetyön kannalta tärkeimmät olivat SolidWorks.Interop.sldworks, SolidWorks.Interop.swpublished ja SolidWorks.Interop.swconst. Jokaisessa tyyppikirjastossa voi olla kymmeniä tai satoja rajapintoja, jotka edelleen sisältävät satoja metodeja (*Method*, jonkin toiminnan suorittava aliohjelma) ja näin ollen SolidWorksin koko API-ympäristö on käsittämättömän laaja. Sovellusten toimintaa käsittelevissä luvuissa on esitelty tarkemmin muutamia rajapintoja metodeja, mutta jo pelkästään suuren lukumäärän vuoksi ei kaikkia tässä opinnäytetyössä käytettyjä metodeja ole esitelty.

Tyyppikirjasto .sldworks sisältää useimmat mallintamisen kannalta oleelliset työkalut kuten rajapinnat ISketchManager ja IFeatureManager, joihin edelleen kuuluvat kaikki luonnos- tai piirretyökalujen metodit. Tyyppikirjastoon .swpublished kuuluvat visuaaliseen käyttöliittymään liittyvät rajapinnat kuten IPropertyManagerPage2Handler9 sekä ISwAddin, joista edellinen sisältää kaikki Proper-

tyManagerPage-sivujen metodit ja jälkimmäinen avoimeen SolidWorks-sovellukseen yhdistämiseen tarvittavat asiat. Tyypikirjasto .swconst käsittää kaikkien edellisten rajapintojen ja metodien käyttämät listat niille mahdollisista vaihtoehtoista. Esimerkiksi swBitmapControlStandardTypes_e-listaus sisältää kaikki mahdolliset PropertyManagerPage-objektien kuvakkeet, jotka helpottavat tulkitsemaan niiden käyttötarkoitusta.

6 MUOTTISUUNNITTELULIITÄNNÄINEN

Tämän opinnäytetyön muottisuunnitteluliitännäinen on luotu käyttäen SolidWorksin omaa Add-In Wizard –työkalua, joka luo valmiin käyttöliittymäpohjan, johon on alustettu ohjelman vaatimat yhteydet SolidWorks-sovellukseen, liitännäisen rekisteröinti Windowsin rekisteriin sekä useita hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten valmis käyttöliittymämalli ja tapahtumakäsittelijät. Add-In Wizard on osa SolidWorksin API SDK –pakettia, jonka rekisteröitynyt käyttäjä voi ilmaiseksi ladata ja asentaa SolidWorksin sivustolta.

Liitännäinen on ohjelmoitu Visual Basic.NET -ohjelmointikielellä ja se on toteutettu osin nauhotetuilla makroilla ja osin puhtaasti käsinkirjoitetulla koodilla Visual Studio 2008 –ohjelmassa. Liitännäinen koostuu ensinnäkin laskurista, joka laskee käyttäjien syöttämien ja kappaleesta määritettyjen arvojen perusteella tarvittavat lähtötiedot muihin työkaluihin. Liitännäinen mahdollistaa valmiin muottikokoonpanon luomisen helposti ja nopeasti listasta valitsemalla. Lisäksi liitännäiseen kuuluu jakokanava- ja jäähdytyskanavatyökalut, jotka helpottavat näitä tavallisia muottisuunnittelun vaiheita. Useita muottisuunnittelun osa-alueita on jätetty tästä liitännäisestä pois joko aiheen laajuuden tai teknisen toteutuksen hankaluuden vuoksi. Jotta muottisuunnittelusovelluksen hyödyllisyyttä voisi parantaa, on siihen toki mahdollista lisätä uusia ominaisuuksia ja edelleen kehittää ohjelmaa.

6.1 SolidWorks Add-In Wizard

Tavallisen SolidWorks-asennuksen aikana ladataan myös ilmainen SolidWorks API SDK -ohjelmisto, mutta se jää käyttäjän itse asennettavaksi. Add-In Wizard -työkalu luo valmiin mallin (*Template*) liitännäiselle visuaalista käyttöliittymää, toiminnallisia objekteja ja käyttöjärjestelmään liittymistä myöten. Add-In Wizardin luoma malli koostuu pääasiassa viidestä luokkaobjektista: AssemblyInfo, EventHandling, PMPHandler, SwAddin ja UserPMP. Näiden lisäksi malliin kuuluu muutamia kuvakebittikarttoja ja järjestelmätiedostoja. AssemblyInformation sisältää ohjelmakokoonpanoon liittyviä tietoja, kuten ohjelman nimen, kuvauksen, omistajan ja versionumeron. EventHandling-käsittelijä tunnustelee ja kaappaa

SolidWorks-ohjelman toimintoja, kuten tiedostojen avaus ja tallennus, eri piirteiden luonti jne.

PMPHandler käsittelee kaikki PropertyManagerPage-käyttöliittymässä tapahtuvat toiminnot, kuten lukujen syöttämisen, valintaruutujen klikkaamisen jne. Oleellista tässä luokassa on, että se käyttää PropertyManagerPage2Handler9-rajapintaa, joka välittää varsinaiset tapahtumat suoritettavalle liitännäiselle. PMPHandler tyypillisesti poimii käyttäjän syöttämät lähtötiedot, tallentaa ne muuttujiin ja kutsuu varsinaisen aliohjelman, joka suoritetaan käyttöliittymän sulkeamisen jälkeen.

UserPMP sisältää varsinaisen PropertyManagerPage-käyttöliittymän ulkoasun ja tarvittavat objektit. Tavallisimpia objekteja ovat painikkeet, valintaruudut, alasvetovalikot, tekstiobjektit, listaobjektit, syötelaatikot ja valintanapit, jotka ovat tuttuja Windows-ympäristöstä. SolidWorks-ympäristöön liittyen käytettävissä on myös valintalaatikot, jotka tallentavat käyttäjän tekemät valinnat mallinnusalueella. Jokaiseen PMP-käyttöliittymään kuuluu myös hyväksy- ja hylkää-painikkeet, sekä ohjeruutu ja mahdollisuus eritellä käyttöliittymän objektit ryhmiin.

SwAddin sisältää eniten koodia ja on liitännäisen tärkein toiminnallinen osa. Sen tehtävä on ensinnäkin luoda yhteys avoinna olevaan SolidWorks-sovellukseen ja alustaa liitännäinen suoritusta varten. Toiseksi se hallitsee muiden luokkaobjektien välisen toiminnan. Se myös valmistelee ja kutsuu PMP-käyttöliittymän sivut ja määrittää liitännäisen sijainnin Windowsin järjestelmärekisterissä ja suorittaa vaadittavat toimenpiteet, kun liitännäinen suljetaan. SwAddinissa on myös varsinaisen toiminnallinen koodi, joka suorittaa työkalulta halutut toimenpiteet. Lisäksi SwAddin määrittää liitännäisen ulkoasun SolidWorksin CommandManager-työkalunauhassa.

SolidWorks on pääasiassa 64-bittiselle käyttöjärjestelmälle suunniteltu ohjelmisto. Eräs käytännön ero 32- ja 64-bittisten käyttöjärjestelmien välillä on 32-bittisen käyttöjärjestelmän rajoitukset varata muistia sovellusten käyttöön. (SolidWorks 2012b). Tämän todettiin aiheuttavan sovelluksen epävakautta joissain PMP-sivuilla käytävissä tapauksissa, mikä johti SolidWorks-ohjelman kaatumiseen. Ongelma

havaittiin ensimmäisen kerran SolidWorksin uusimmassa ohjelmaversiossa 2012–2013. Tämän vuoksi tämän opinnäytetyön työkalut on toteutettu osin SolidWorksin PMP-käyttöliittymillä, osin perinteisillä Windowsin lomakemuotoisilla käyttöliittymillä. Näissä käyttöliittymissä ilmenee joitain toiminnallisia eroja, joita on käsitelty tarkemmin tapauskohtaisesti.

6.2 Muottiosien laskenta

Yksi tämän opinnäytetyön tavoitteista oli jatkokehittää olemassa olevia muottilaskurisovelluksia, kuten esimerkiksi opinnäytetyö Avustajaohjelma muottiosien valintaan (Haara, 2008). Haaran opinnäytetyö oli Excel-pohjainen laskentaohjelma, joka käyttäjän antamien perustietojen – kappaleen mitat ja pesämäärä – laski muottiosien tarvittavat mitat ja jäähdytyskanavien halkaisijan. Laskelmien tulokset esitettiin lukumuodossa ja jatkotoimenpiteet jäivät käyttäjän harteille.

SolidWorks-ympäristöä voidaan hyödyntää näissä laskelmissa ottamalla lähtötiedot suoraan SolidWorksissa avoimena olevasta kappaleesta, käyttämällä näitä tietoja laajempiin laskelmiin, jotka voidaan syöttää suoraan jakokanava- tai jäähdytyskanavatyökaluihin ja luomalla laskelmien perusteella suoraan valmis muottikoonpano oikeissa mitoissa.

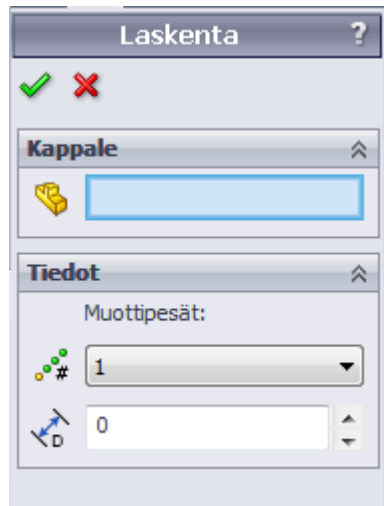
Laskelmien pohjalta valitaan K-muottilaattastandardin mukaiset muottiosat ja laaditaan muottikoonpano. Valintaa varten K-standardin muottiosien dimensiot koottiin Haaran opinnäytetyössä (2008, liitteet 1 ja 2) laaditun taulukon pohjalta Microsoft Access-tietokantaan Fodesco Oy:n K-standardikokojen mittataulukon mukaisesti (Liite 1).

6.2.1 Kappaleen mitat ja muottilaatan valinta

Opinnäytetyössään Joonas Haara (Haara 2008, 13) oli yksinkertaistanut muottipesien vaatiman tilan laskentaa sovittamalla kappaleet suorakulmioiden sisään. Tämä periaate helpottaa laskelmia monimutkaistenkin kappaleiden kohdalla ja se osoittautui helpoksi toteuttaa SolidWorksin funktiolla GetBox, joka on esitelty tarkemmin myöhemmin. Tämän kappaleen määrittävän suorakulmion ympärille lasketaan tietty varmuusraja, jotta muottilaatta kestää ruiskuvalun aiheuttamat rasitukset. Kun haluttu pesämäärä ja kappaleiden vaatima varmuusraja on tiedossa, voidaan kappaleiden ja valukanavien vaatima tila laskea asettelemalla muottipesät symmetrisesti rivimuotoon yhden syöttökanavan ympärille.

Sovittaessaan muottipesiä ja valukanavia muottilaatalle Haara (2008, 17) oli laskenut muottilaatan keskelle jäävän ns. tehollisen pinta-alan huomioimalla laatan kulmissa ja reunoissa olevat ohjaustappien ja kiinnitysruuviin reiät, joita muottipesät eivät saa leikata. Jokaiselle K-standardin laattakoolle oli näin voitu laskea ja taulukoida tietokantaan tehollinen x- ja y-arvo, johon verrattiin pesäkokoonpanon x- ja y-arvoja.

Laskentaan vaadittavat lähtötiedot ovat kappaleen äärimitat, jakotason sijainti kappaleen pohjasta sekä haluttu pesäluku muotissa. Lomakepohjaisessa käyttöliittymässä nämä tiedot ovat käyttäjän annettavia. PMP-pohjaisessa käyttöliittymässä kappaleen äärimitat voidaan määrittää suoraan avoimista, valitusta kappaleesta SolidWorks-sovelluksessa. Ohjelma määrittää valitun kappaleen Selection-Box-objektista, tallentaa sen PartDoc-tyyppiseen muuttujaan ja hakee ääripisteet GetPartBox tai GetBox –funktiolla, riippuen siitä, oliko kappale avattu kappaleena vai kokoonpanona. Funktiot määrittävät kappaleen ympärille sovitettun, mahdollisimman tiukan laatikon kahden vastakkaisen kulman koordinaatit. Ääripisteet tallennetaan 6-paikkaiseen taulukkomuuttujaan, josta voidaan laskea kappaleen mitat suuntiin x, y ja z. Kuviossa 10 on esitetty laskentasovellukset Property-ManagerPage-sivu, jossa näkyvät valintalaatikko kappaleelle, alasvetolista muottipesien lukumäärälle sekä syötelaatikko jakotason määrittämiselle.



KUVIO 10. Laskentasovelluksen PropertyManagerPage-sivu

Kappaleen mittojen perusteella määritetään kappaleelle varmuusalue. Opinnäytetyössään Haara (2008, 23-24) on määrittänyt kappaleen varmuusrajan x kappaleen pinta-alan A_1 ja sen ympärille muodostuvan varmuusalueen A_2 avulla. Sovitetaan varmuusraja x siten, että suhde $A_{\text{kok}} / A_1 = 2$. Voidaan muodostaa seuraavanlainen toisen asteen yhtälö:

$$A_{\text{kok}} = A_1 + A_2 = 2A_1$$

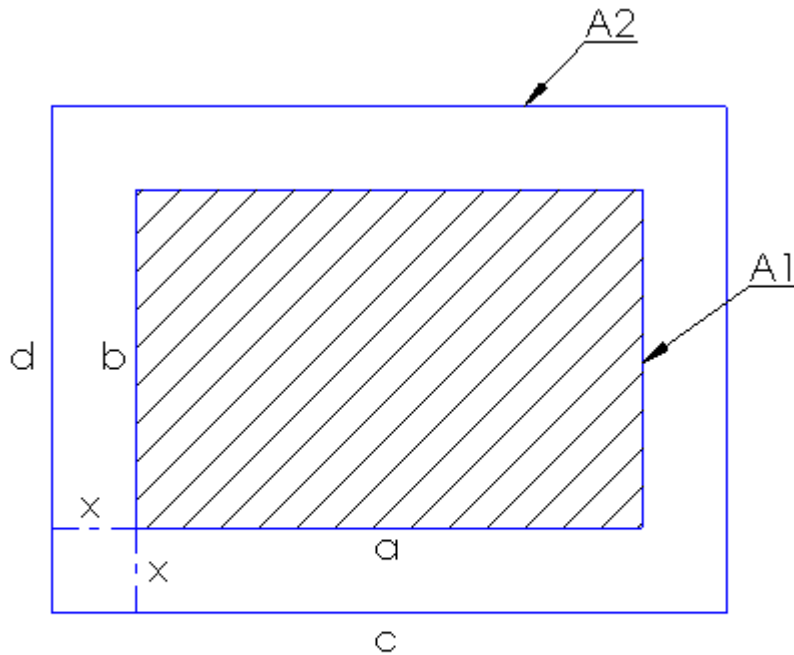
$$cd = 2ab$$

$$(a + 2x) + (b + 2x) = 2ab$$

$$4x^2 + (2a + 2b)x + ab = 2ab$$

$$4x^2 + (2a + 2b)x - ab = 0$$

Pinta-alojen laskentaa on lisäksi havainnollistettu kuviolla 11.



$$A_{\text{kok}} = A_1 + A_2$$

$$A_{\text{kok}} / A_1 = 2$$

KUVIO 11. Muottipesän pinta-ala A_1 , varmuusalue A_2 ja varmuusraja x

Käyttöliittymästä tiedetään käyttäjän haluama pesäluku, joten voidaan laskea tarvittava kokonaismuottipinta-ala. Apuohjelma muodostaa vain rivimuotoisia valukanavistoja, jolloin lopulliseksi monipesäkokoonpanon pinta-alan yhtälöksi muodostuu:

$A_{\text{pesät}} = 2(2a + 6 * \text{varmuusraja}) * \text{pesäluku}(2b + 4 * \text{varmuusraja})$. Yhtälöön on lisätty x -komponentin osalta $2 * \text{varmuusraja}$, jotta valukanavistolle jää tilaa muottiin. Sovellus vertailee tämän pinta-alan x - ja y -mittoja ja tarvittaessa kääntää pesäkokoonpanon niin, että x saa pienemmän arvon, sillä muottilaatat on lueteltu tietokantaan niin, että y kasvaa suhteessa x :ään.

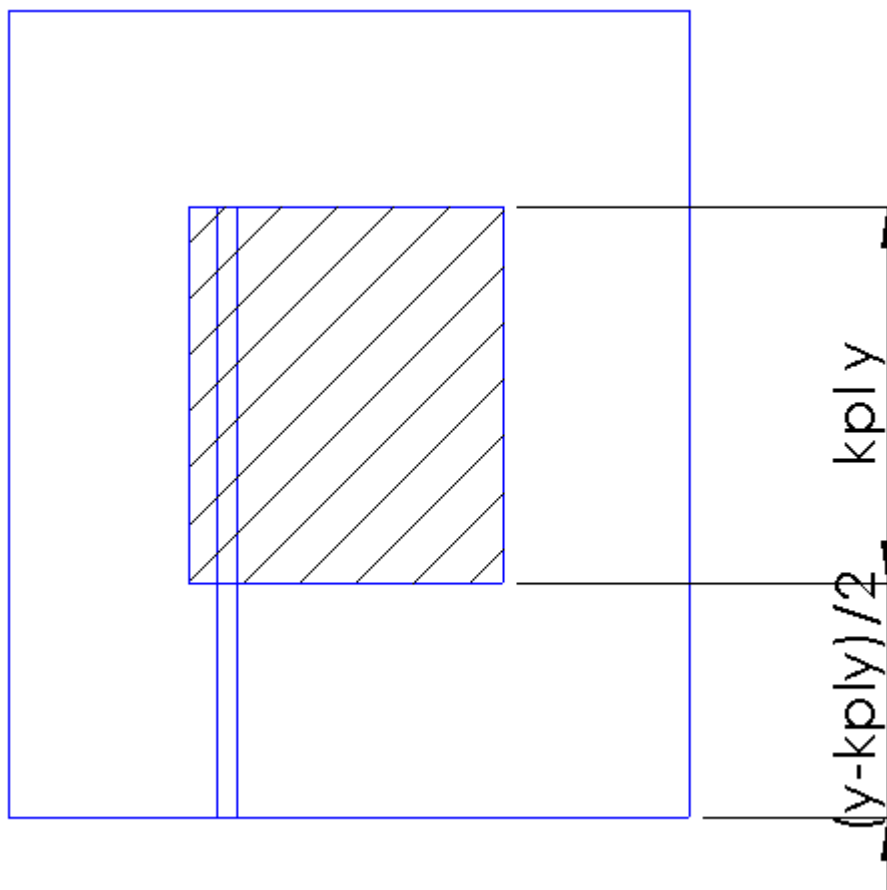
Pesäkokoonpano sovitetaan muottilaatalle vertailemalla sen pinta-alaa muottilaatan teholliseen pinta-alaan. Ohjelma lukee ensin tietokannan tehollisten x - ja y -mittojen arvot ja tallentaa ne taulukkomuuttujiin. Tämän jälkeen ohjelma käy rivejä läpi laatta laatalta, kunnes täyttyy ehto $Kpl_x \leq TehPA_x$ JA $Kpl_y \leq TehPA_y$, missä Kpl_x ja Kpl_y ovat kappaleen tai pesäkokoonpanon x - ja y -mitat,

TehPA_x ja TehPA_y muottilaatan tehollisen pinta-alan x- ja y-komponentit sekä looginen operaattori JA, joka vaatii molempien ehtojen täyttymistä. Kun muottilaatat on listattu pienimmästä suurimpaan, löydetään näin pienin laattakoko, johon pesäkokoonpano mahtuu.

6.2.2 Jäähdytyskanavat

Jäähdytyskanavien laskenta perustuu Haaran opinnäytetyössä (2008, 28) käytettyyn liitteessä 3 olevaan taulukkoon. Taulukosta ilmenee laattaan poratun jäähdytyskanavan tarvitsema pituus laatan y-akselilla. Sovellus vertailee kappaleen tai pesäkokoonpanon y-mittaa taulukon arvoihin, ja valitsee lyhimmän sopivan vaihtoehdon. Taulukon muista sarakkeista määritetään samalla jäähdytyskanavan porauksen halkaisija sekä kanavien määrä. Kanavien etäisyys kappaleesta lasketaan erikseen molempien muottilaattojen osalta, perustuen kappaleen z-mittaan sekä käyttäjän määrittämään jakotason korkeuteen kappaleen pohjasta. Sovellus laskee, kuinka paljon kappaleesta on kussakin muottipuoliskossa ja lisää mittaan 2 * jäähdytyskanavan halkaisijan D, jotta saadaan etäisyys kanavan keskipisteeseen.

Jäähdytyskanavien välitys on yksinkertaisesti kanavien väliin jäävä 2D, sekä puolet molemmin puolin jääviä kanavia, eli yhteensä 3D. Jäähdytyskanavien porausten syvyys on laskettu algoritmilla $Syvyys_{poraus} = \left(\frac{laatta_y - kply}{2} \right) + kply$. Algoritmin muodostamista on havainnollistettu kuviossa 12. Poikittaisten porausten syvyys määräytyy automaattisesti jäähdytyskanavatyökalun laskelmissa, joten ne on ohitettu laskentasovelluksessa.



KUVIO 12. Jäähdytyskanavan porauksen syvyys

6.2.3 Laattojen paksuudet

Muottilaatan paksuuden määrittämisessä Haara (2008, 18) oli käyttänyt jäähdytyskanavan halkaisijaan perustuvaa lähestymistapaa. Kanavien sijoittelu laattaan ja suhteessa toisiinsa ja ruiskuvalettavaan kappaleeseen laskettiin jäähdytyskanavan halkaisijan kertoimina.

Muottikokojen tietokantaan on Haaran opinnäytetyön (2008, liite 2) mukaan liitteessä 2 taulukoitu Fodesco Oy:n toimittamat muottilaatan paksuudet jokaiselle muottilaattakoolle. Laattojen paksuuden valitsemisessa voidaan hyödyntää jäähdytyskanavien halkaisijaan perustuvaa lähestymistapaa laskemalla jäähdytyskanavan ja laatan väliin jäävän $1,5D$, eli yhteensä $2D$ kanavan keskipisteestä. Voidaan laskea pienin tarvittava laatan paksuus yhtälöstä

$$\text{Paksuus} = \text{kappaleen syvyys muotissa} + 4D.$$

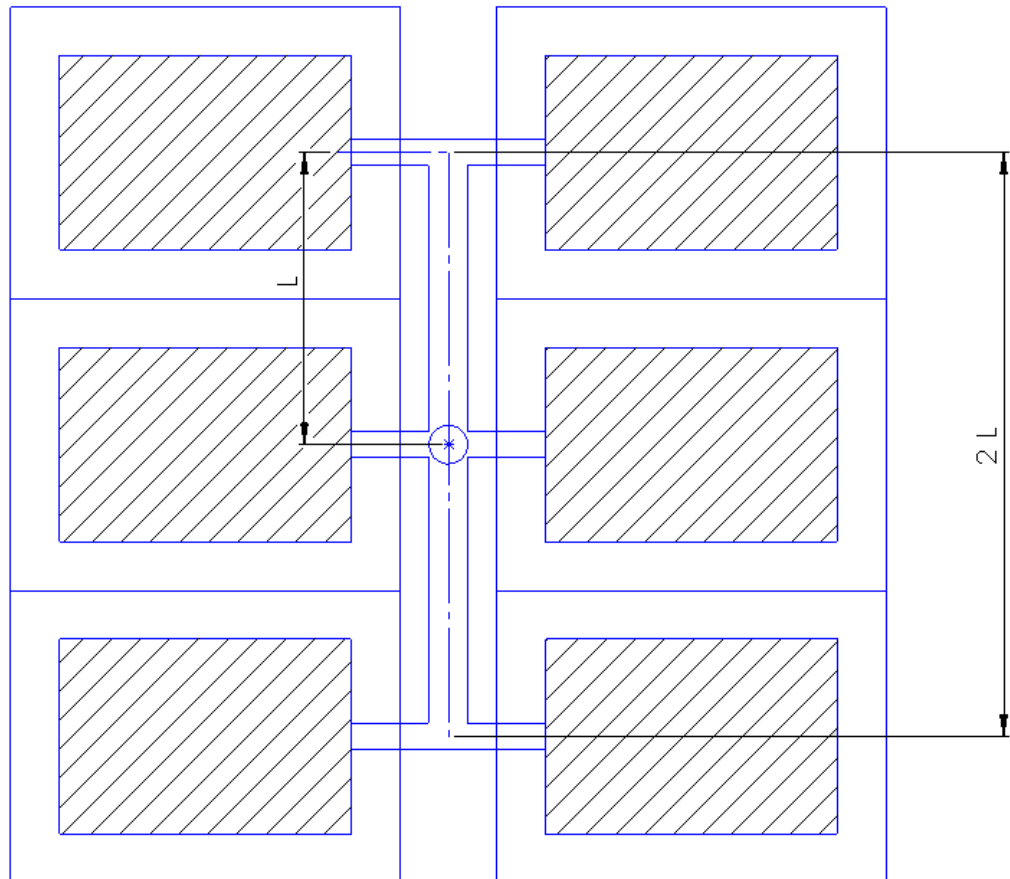
Sovellus lukee valitun muottilaatan mahdolliset paksuudet tietokannasta ja tallentaa ne taulukkomuuttujaan. Tämän muuttujan arvoja verrataan yksi kerrallaan pienimmästä suurimpaan kunnes ylitetään edellä laskettu pienimmän tarvittavan paksuuden arvo. Muottilaatan paksuus lasketaan erikseen molemmille muottilaitoille.

6.2.4 Valukanavat

Kun tunnetaan kappaleen äärimitat, pesäluku ja etumuottilaatan paksuus, voidaan laskea valukanavien parametrit. Valutapin pituus on suoraan etumuottilaatan paksuus. Syöttökanavan pituudeksi muodostuu kappaleiden välinen etäisyys, eli puolet kahdesta kappaleesta ja molempien varmuusraja, kuten kuviosta 13 voi laskea. Tämä pituus kerrotaan pesien välien lukumäärällä. Lopulliseksi yhtälöksi muodostuu $l_{syöttö} = (\frac{pesäluke}{2} - 1) * (kpl_y + 2 * varmuusraja)$. Jakokanavan pituus yhteen pesään on $2 * varmuusraja$.

Kaikki lasketut parametrit näytetään lopuksi ikkunassa, josta ne voi poimia käytettäväksi muissa liitännäisen osissa, kuten jakokanava- ja jäähdytyskanavatyökaluissa.

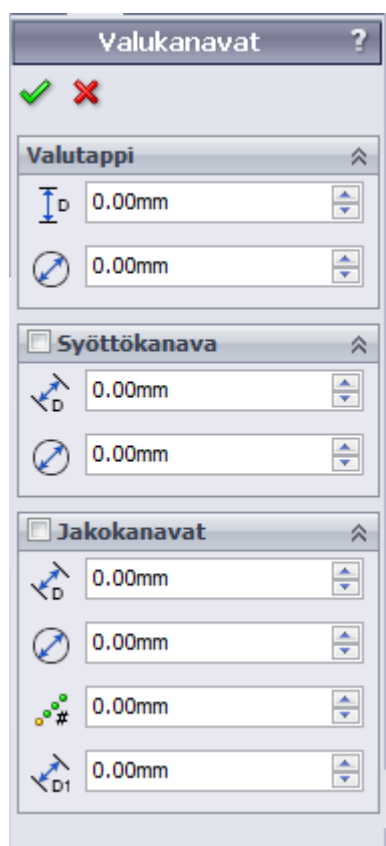
Laskentasovellus ei tässä versiossa laske valukanavien halkaisijoita, mutta se on hyvä tavoite jatkokehittelyn kannalta. Laskennassa tulisi huomioida täytettävien pesien sekä valukanavien tilavuus. Lisäksi kanavien halkaisija täytyy sovittaa niin, että ne eivät jäähdy umpeen ennen kappaleen täyttymistä.



KUVIO 13. Valukanavien mittojen laskeminen

6.3 Valukanavatyökalu

Valukanavatyökalun PropertyManagerPage-sivuun kuuluvat syöteobjektit valutapin, jakokanavien sekä syöttöjen parametreille. Kaikki objektit on eritelty niille kuuluviin ryhmiin selkeyden ja helppokäyttöisyyden kannalta. PropertyManagerPage-sivuun kuuluvat syötelaatikot valutapin pituudelle ja halkaisijalle, jakokanavien pituudelle ja halkaisijalle sekä syöttöjen pituudelle ja halkaisijalle ja myös pesien lukumäärälle ja syöttökanavien välitykselle pesien välissä. Valukanavatyökalun PropertyManagerPage on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. Valukanavasovelluksen PropertyManagerPage

Sovellus aloittaa piirtämällä luonnoksen Top-tasolle ympyrän, jonka halkaisija on kuten käyttöliittymässä. Luonnos nimetään skcValutapiksi, jotta se on helposti valittavissa ohjelmallisesti. Ympyrä luodaan ISketchManager-rajapinnan Create-CircleByRadius-metodilla, jonka parametrit ovat x-, y- ja z-koordinaatit sekä säde (SolidWorks 2012c). Ympyrä piirretään Top-tason origoon, joten koordinaatit ovat 0,0. Säde on luonnollisesti puolet annetusta halkaisijasta.

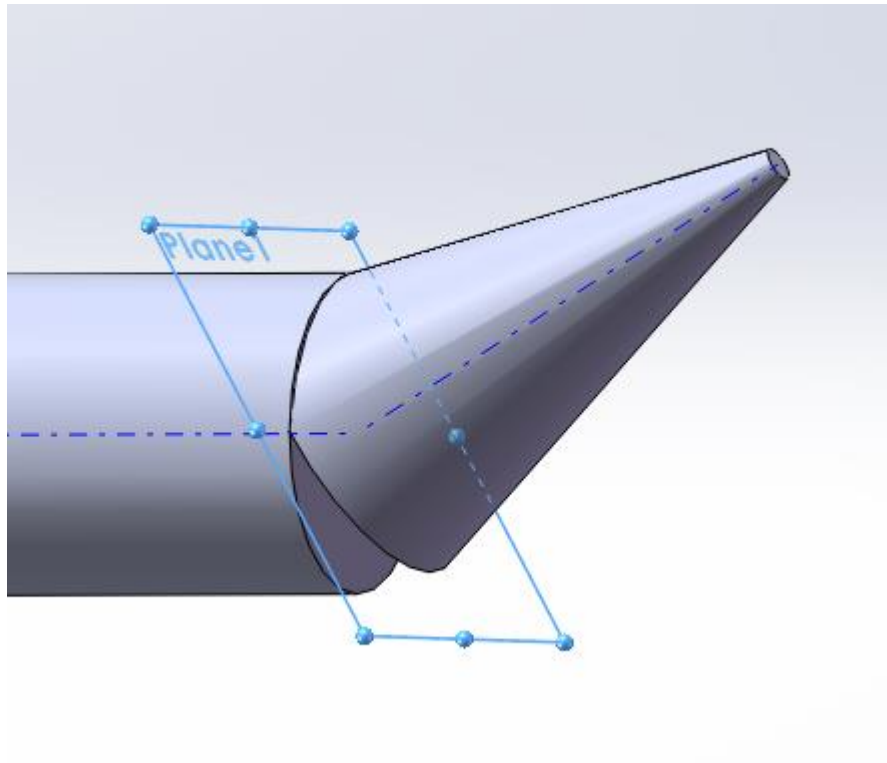
Ympyräluonnoksen pohjalta voidaan ekstrudoida varsinainen valutappi käyttäen IFeatureManager-rajapinnan FeatureExtrusion2-metodia. Metodi sisältää lukuisia parametrejä, sillä ekstruusio on hyvin monipuolinen toiminto SolidWorksissä, mutta tämän vaiheen kannalta tärkeimmät parametrit ovat ekstruusion etäisyys sekä päästökulma. Tarkempi kuvaus FeatureExtrusion2-metodin parametreistä on esitetty SolidWorksin tukisivulla FeatureExtrusion2 Method (SolidWorks 2012d). Valutappi ulottuu koko etumuottilaatan lävitse, joten tapin pituus on muottilaatan paksuus. Päästökulmaksi on asetettu 1° , mutta tarpeen vaatiessa sen voi tulevissa ohjelmaversioissa asettaa käyttäjän valittavaksi muuttujaksi tai laskea suhteessa

valutapin pituuteen. Valutapin pohjaan luodaan uusi luonnos, jonka tehdään ympyrä valutapin pohjan muodon mukaan. Tämä luonnon ekstrudoidaan vastakkaiseen suuntaan vastapäästökseksi pituudella 8 mm. Tarvittaessa myös vastapäästön päästökulman ja pituuden voi muuttaa käyttäjän määrättäväksi.

Syöttökanavaan varten luodaan Right-tasolle uusi luonnos, johon piirretään ympyrä. Ympyrän halkaisija on käyttöliittymästä määrätty syöttökanavan halkaisija. Luonnos ekstrudoidaan molempiin suuntiin syöttökanavan pituuden verran.

Jakokanavat pohjustetaan luonnoksena Front-tasolle, johon piirretään ympyrä. Ympyrän aloituskoordinaatti määräytyy pesien lukumäärän ja valukanavien välityksen tulona sekä halkaisija käyttöliittymästä. Valukanavat ekstrudoidaan muotitpesään asti kuten käyttöliittymässä on asetettu.

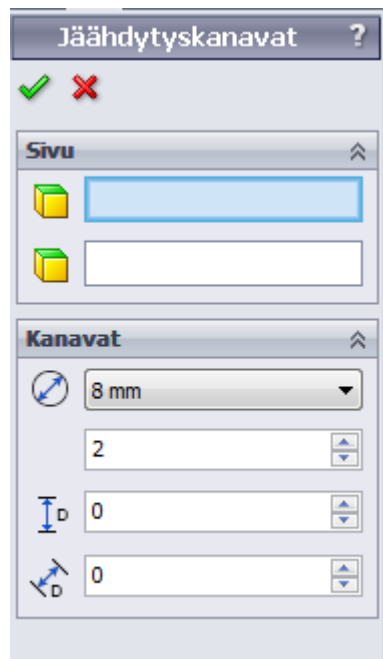
Jakokanavatyökalua voi jatkossa kehitellä sisällyttämällä siihen erilaisia kanavarakenteita sekä portit. Säteittäinen kanavarakenne voisi pohjautua IFeatureManagerin FeatureCircularPattern3-metodiin, johon syötettäisiin parametreina pyörähdysakseli, kanavien lukumäärä sekä yksi valmiiksi mallinnettu kanava, jota kopioidaan tasaisella kanavien välityksellä (SolidWorks 2012e). Erilaisia portteja varten tarvitsee määrittää niiden parametrit. Esimerkiksi kuviossa 15 esitetyn tunneliportin tyypillinen kulma jakotasosta on $50 - 60^\circ$ ja portin päästökulma 20° (Stoeckhert 1983, 38). IFeatureManagerin InsertReferencePlane-metodilla voi jakokanavan päähän luoda aputason tietyssä kulmassa, jolle piirretään ympyrä, jota edelleen ekstrudoidaan päästökulmalla. Muita kehittymismahdollisuuksia ovat esimerkiksi erilaiset kanavaprofiilit, jotka säästäisivät muotin työstökustannuksia, sekä valukanavien kulmien pyöristäminen risteyksissä sulan etenemistä helpottamaan (Stoeckhert 1983, 38–39).



KUVIO 15. Tunneliportti

6.4 Jäähdytyskanavatyökalu

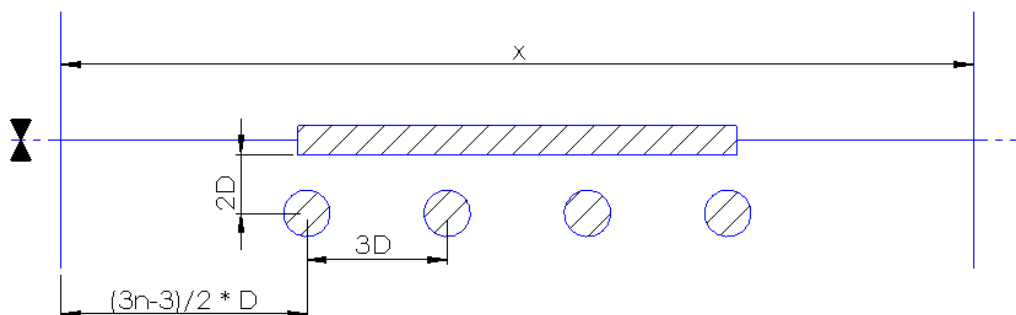
Jäähdytyskanavatyökalun PropertyManagerPage-käyttöliittymään kuuluu kaksi valintalaatikkoa, joihin valitaan muottilaatan kaksi sivua. Ensimmäiseen laatikkoon valitaan sivu, jolle tulevat letkuliittimet. Toisen sivun tulee olla tämän sivun viereinen sivu, johon tehdään poikittaisporaukset kanavarakennetta varten. Lisäksi käyttöliittymässä on alasvetovalikko kanavan halkaisijaa varten, sekä syötelaatikot kanavien lukumäärää, etäisyyttä laatan reunasta ja jäähdytyskanavan porauksen syvyyttä varten. Käyttöliittymä on esitetty kuviossa 16.



KUVIO 16. Jäähdytyskanavatyökalun PropertyManagerPage-sivu

Sovellus tallentaa käyttäjän valitsemat sivut IModelDoc2-rajapinnan Face2-tyyppisiin muuttujiin. Ensin käsitellään sivu, johon on tarkoitus kiinnittää letku-liittimet. Sovellus käyttää Face2-muuttujan GetBox-funktiota, joka muodostaa tason ympärille mahdollisimman tiukan laatikon, josta tallennetaan äärikulmien koordinaatit. Luonnoksen piirtämisen kannalta on oleellista tietää miten päin sivu on orientoitunut SolidWorksin kappalekoordinaatistossa, ja tämän määrittämiseen voidaan hyödyntää GetBox-funktion arvoja. Ääripisteistä lasketaan x-, y- ja z-suuntaiset sivujen pituudet, jotka sen jälkeen vertaillaan keskenään ja tallennetaan sivun pituus- ja leveyssuunta.

Kun pituussuunta on selvitetty, lasketaan vasemmalta lukien ensimmäisen porauksen koordinaatit. Tätä varten muodostettiin seuraavanlainen algoritmi: $x_{reuna} = \frac{3n-3}{2} * D$, missä n on kanavien lukumäärä ja D jäähdytyskanavan halkaisija. Y-koordinaatti, eli kanavan etäisyys kappaleesta, määräytyy käyttöliittymästä. Jäähdytyskanavien sijoittelua on havainnollisesti kuviossa 17.



KUVIO 17. Jäähdytyskanavien sijoittelu muottilaatassa

SolidWorks käyttää luonnostilassa eri koordinaatistoa, joka pohjautuu luonnokselle valitun pohjatasen orientaatioon. Kanavalle lasketut koordinaatit eivät siis ole suoraan käytettävissä luonnoksen piirtämiseen, vaan ne tarvitsee kääntää luonnoskoordinaatistoon. Tätä varten on olemassa IMathTransform-rajapinta, joka koostuu 4x4-matriisista. Matriisiin kuuluu 3x3-ulotteinen alimatriisi, joka sisältää x-, y- ja z-suuntaiset kiertokomponentit, sekä 3 arvoa käännösvektorin komponenteille ja mittakaavakerroin. Lisäksi matriisiin jää kolme käyttämätöntä arvoa. (SolidWorks 2013f.) Koordinaatiston kääntämisen laskutoimituksia ei tarvitse kuitenkaan itse tehdä, sillä sitä varten on IMathUtil-rajapinta. Käytännössä kääntö tapahtuu MathTransform-rajapinnan ModelToSketchTransform-funktiolla, joka käyttää MathUtil-rajapinnalle annettua pistettä lähtökohtana. Tuloksena saatu käännetty matriisi syötetään kertolaskulla takaisin MathUtil-rajapintaan syötettyyn pisteeseen ja saadaan näin pisteen koordinaatit luonnoskoordinaatistossa.

Kun koordinaatit ovat tiedossa, loppu on hyvin suoraviivaista. Tasolle piirretään ympyrä, jonka parametreina ovat äskeiset koordinaatit sekä halkaisija. ISketchManager-rajapinnan CreateLinearSketchStepAndRepeat-metodilla luodaan kanavien sarja, jonka parametrin ovat toistojen lukumäärä x- ja y-suunnissa, toistojen väli x- ja y-suunnissa, kulmat sekä muutama muu, kuten SolidWorksin ohjesivustolla on selitetty (SolidWorks 2012f). Valmiista luonnoksesta porataan reiät käyttäen FeatureCut3-metodia, jolle tässä tapauksessa tärkein parametri on syvyys, joka on muodostettu algoritmilla $Syvyys_{poraus} = \left(\frac{laatta_y - kpl_y}{2} \right) + kpl_y + varmuusraja$. Algoritmin muodostamista on havainnollistettu edellä kuviossa 12.

Poikkisuuntaiset poraukset tehdään samankaltaisesti. Muottilaatan sivun dimensiot selvitetään kuten edellä ja sivulle piirretään luonnos, joka sisältää kaksi ympyrää samalla syvyydellä muottipesästä, kuin toisen sivun poraukset. Poikittaisporaukset tehdään muottipesän äärimittojen kohdalta ja niiden koordinaatit laatan reunasta voidaan laskea pitkittäisporauksen pituuden ja laatan pituuden avulla:

$$\begin{aligned} \text{poraus}_{t1} &= \text{sivun pituus} - \text{pitkittäisporauksen pituus} \\ \text{poraus}_{t2} &= \text{pitkittäisporauksen pituus} \end{aligned}$$

Poikittaisporauksen syvyys lasketaan pitkittäisporausten kanavien lukumäärän ja niiden välisten etäisyyden avulla siten, että poikittaisporaus ulottuu laitimmaiseen pitkittäiskanavaan asti.

Jäähdytyskanavatyökalun käytössä on syytä huomioida, että algoritmit eivät huomioi ulostyöntötappien sijoittelua tai muottipesien muotoja. Se luo ainoastaan tasaisesti jaotellun jäähdytyskanaviston, joka kattaa koko valukanaviston ja muottipesien tarvitseman tilan.

6.5 Muottipakan luominen

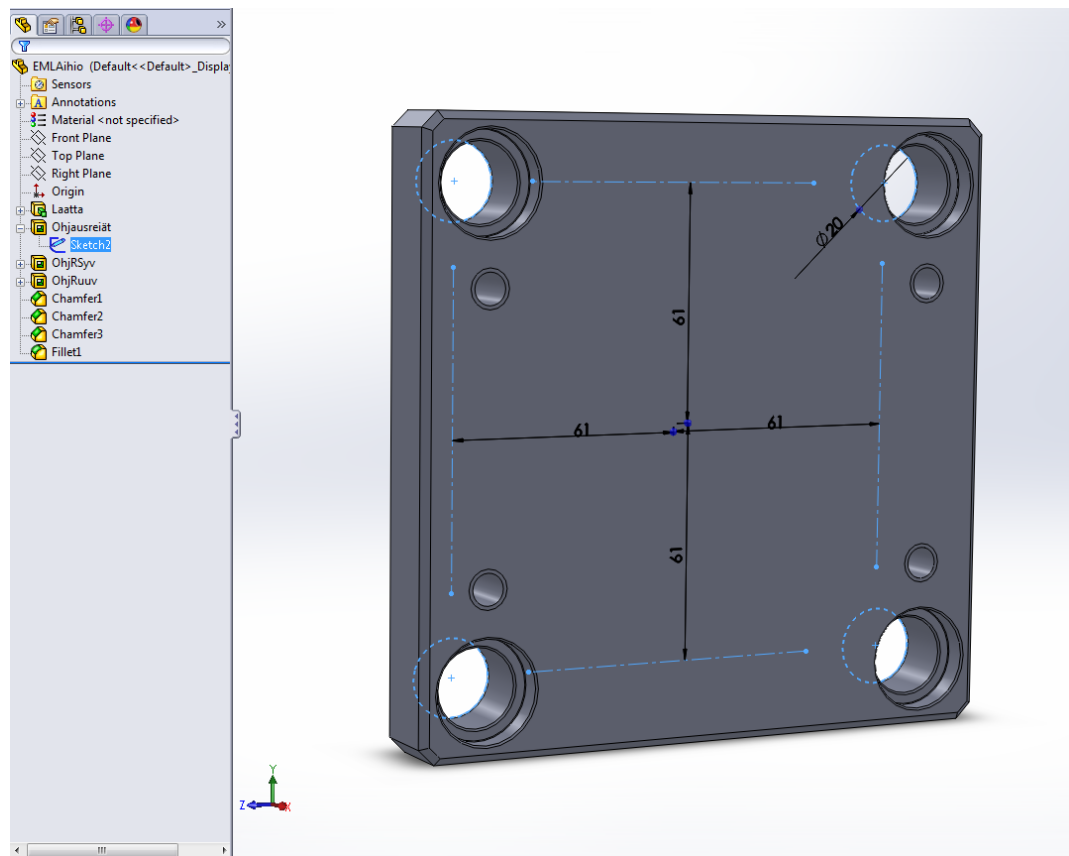
Muottipakan kokoamista on sovelluksen kehityksen aikana pohdittu kahdesta eri näkökulmasta: muottikokoonpanon osat mallinnetaan tyhjästä täysin ohjelmalauseiden avulla ja yhdistetään sen jälkeen kokoonpanoksi, tai mallinnetaan valmiit malliosat sekä kokoonpano, jonka jälkeen eri osiin tehdään tarvittavat muutokset, jotka päivitetään kokoonpanoon SolidWorksin parametrisuuteen perustuen. Ensimmäinen lähestymistapa ilmentäisi paremmin sovelluksen toimintaa, kun käyttäjä näkisi ruudullaan muottiosien mallintamisen eri vaiheet. Lisäksi sovellus vaatisi vähemmän resursseja asennusvaiheessa, kun mallikokoonpanoa ei tarvitsisi asentaa ennalta. Kehityksen aikana kuitenkin havaittiin tämä lähestymistapa melko hitaaksi, minkä lisäksi ongelmaksi muodostui automaattisen mallinnuksen epävakaus sekä kokoonpanon Mate-parametrien määrääminen. Sovelluksella oli tapana kaatua tai sovellus ei onnistunut liittämään eri osia yhteen oikealla tavalla kokoonpanossa. Siispä lopullinen sovellus päädyttiin toteuttamaan valmiiseen mallikokoonpanoon perustuen.

Seuraava ongelma muodostui tietokantaan liittyessä. SolidWorksin API-ympäristö on vaativa ohjelmointiympäristö, joka poikkeaa monella tapaa Windowsin perinteisesti Form-lomakkeisiin perustuvasta ympäristöstä. Visual Studio on hyvin pitkälle optimoitu toimimaan Form-pohjaisessa ympäristössä ja valmistelee monia ohjelman osia automaattisesti käyttäjää varten. SolidWorksissä nämä osat on ohjelmoitava käsin, missä rajoittavaksi tekijäksi muodostui ohjelmointikokemus, etenkin tietokantojen yhteydessä. Sovellusta varten tehty PMP-pohjainen käyttöliittymä on sinällään tarkoituksenmukainen, mutta sille ei onnistuttu luomaan yhteyttä muottikokojen tietokantaan. Tämän takia sovellukselle on tehty vaihtoehtoinen Form-pohjainen käyttöliittymä, jolle Visual Studio on muodostanut toimivat yhteydet tietokantaan automaattisesti. Form-lomakkeen ulkoasu on pyritty toteuttamaan mahdollisimman pitkälle PMP-sivun toimintaa mukaillen. Sovelluksen mahdollisissa tulevilla versioissa tullaan panostamaan Form-lomakkeen korvaamiseen PMP-sivulla ja tietokantayhteyden luomiseen.

Lomake koostuu ensinnäkin alasvetovalikosta, johon on listattu K-standardiin kuuluvat muottilaattakoot, kuten liitteessä 1. Koska kaikkien muiden muottiosien mitat perustuvat muottilaattojen mittoihin, tehdään ensimmäinen valinta tästä listasta. Seuraavaksi valitaan etu- ja takamuottilaattojen paksuudet. Laattojen paksuudet ovat sidoksissa laatan kokoon, joten niille on tietokannassa oma taulukonsa, jonka sisältö ladataan alasvetovalikoihin. Ruiskuvalettavan kappaleen korkeus sekä sijainti muottilaatassa vaikuttavat ulostyöntöpituuteen, joka vaikuttaa edelleen muotin tukipalojen paksuuteen. Kuten laattojen paksuudet, myös tukipalojen paksuudet on listattu omaan taulukkoonsa muottilaattojen kokoon sidottuina, ja tämä taulukko ladataan seuraavaan alasvetovalikkoon. Muottilaattojen ja tukilevyjen paksuustaulukot on esitetty liitteessä 2. Viimeiseksi jää valittavaksi etu- ja takakiinnityslevyn asento pysty- tai vaakatasossa muottiin nähden valintapainikkeilla A ja B.

Kun lähtövalinnat on annettu, ryhtyy sovellus muokkaamaan mallikokoonpanon osia. Sovellus avaa yksitellen jokaisen muotin osan ja muokkaa eri piirteiden luonnoksia tietokannan parametrien pohjalta. Esimerkiksi kuviossa 13 esitetyssä etumuottilaatassa sovellus avaa piirteen Ohjausreiät luonnoksen ja muokkaa ku-

vassa näkyvät reikien sijoittelun määräävät mitat ja ohjausreiän halkaisijan tieto- kannasta luettujen arvojen mukaan valitulle muottilaattakoolle. Piirteille on annettu omat nimensä, jotta ne voidaan helposti valita ohjelmalauseiden kautta. IMo- delDocExtension-rajapinnan SelectByID2-metodi mahdollistaa valintojen tekemi- sen paitsi koordinaattien myös objektin nimen perusteella, kuten on kerrottu So- lidWorksin tukisivustolla (SolidWorks 2012g). Koordinaatteihin perustuva valinta ilmeni sovelluksen kehittelyn aikana epävarmaksi, joten päädyttiin nimeämään muottilaatan piirteet valmiiksi, jolloin valinta on helppoa ja varmaa. Eri viiste- ja pyöristyspiirteisiin (Chamfer1-3 ja Fillet1 kuviossa 13) ei tarvitse tehdä muutok- sia, joten niiden uudelleennimeämistä ei katsottu tarpeelliseksi.



KUVIO 13. Etumuottilaattamallin mitoitusparametreja

Lopuksi sovellus avaa kokoonpanotiedoston, johon eri muottilaattojen uudet mitat päivitetään Rebuild-toiminnon kautta. Kaikki muottiosat on valmiiksi liitetty toisiinsa Mate-työkalun avulla, joten muottiosat löytävät uudet paikkansa keskinäisten sijoitteluparametriensa avulla. Muottikokoonpano on nyt valmis, jotta käyttäjä voi lisätä siihen Z-standardin osat ja ulostyöntökokoonpanon tai tehdä muita haluamia lisäyksiä ja muutoksia.

6.6 Kaupallisia sovelluksia

Kehitetty muottisuunnitteluapuohjelma ei toki ole ainutlaatuinen ja ruiskuvaluteollisuuden tarpeeseen nopeuttaa muottisuunnitteluprosessia on kehitetty useita kaupallisia sovelluksia. Seuraavaksi on käsitelty esimerkkeinä kahta tällaista sovellusta: SolidWorks-pohjainen MoldWorks Mold Design sekä Solid Edge -pohjainen Mold Tooling.

MoldWorks Mold Design on suunnitteluapuohjelma, jolle on myönnetty SolidWorks Certified Gold -merkintä ja joka on täysin integroitu SolidWorksin käyttöliittymärakenteeseen. Sovelluksen tuote-esitteen (R&B USA 2013) mukaan sovellus sisältää 15 kaupallista muottikokoonpanokirjastoa ja tukee useita komponenttistandardeja. Muottikokoonpano näytetään esikatseluna ennen mallintamista helpon vertailun vuoksi. Lämmönsäätelyjärjestelmä luodaan käyttäjän luonnoksista ja yksittäisiä kanavan osia voidaan muokata helposti. Kanavistoon lisätään myös muut osat, kuten liittimet, tiivisteet ym. komponenttikirjastoista. Valukanavisto mallinnetaan myös käyttäjän luonnoksen pohjalta syöttöjä, jakokanavia ja portteja myöten. Käyttäjä voi valita mieleisensä asetukset useista vaihtoehdoista.

Solid Edge Mold Tooling on Solid Edge -suunnitteluohjelmaan integroitu ruiskuvalumuottien suunnitteluapuohjelma. Se käyttää lähtökohtana käyttäjän mallintamaa kappaletta. Apuohjelma laskee kappaleen kutistuman muotissa sekä analysoi kappaleeseen muodostuvat vastapäästöt. Ohjelma määrittää kappaleelle sopivan jakotason sekä sovittaa kappaleen valmiiksi muotti-insertteihin, jotka voidaan helposti järjestää monipesäryhmytykseen. Muottikokoonpano voidaan valita useasta standardista tai mallistosta, joiden mukaan ohjelma luo muottikokoonpanon

automaattisesti, mukaanlukien oheiskomponentit. 2D-luonnoksen pohjalta Solid Edge Mold Tooling mallintaa valukanaviston, johon on laskettu tarvittava halkaisija virtaavalle materiaalille. Ulostyöntötapit mallinnetaan automaattisesti oikeaan pituuteen ja muotoon valitsemalla ensin ulostyöntöjen sijainnin kappaleessa. (GM System2001, 2011.)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tuloksena syntyi suunnitteluapuohjelma, jonka avulla käyttäjä voi mallintamansa ruiskuvalukappaleen pohjalta mallintaa kappaletta vastaavan valukanaviston sekä mitoittaa ja mallintaa sille K-muottistandardin mukaisen muottikokoonpanon, johon tehdään jäähdytyskanavat. Jo pelkkä muottipakan kokoaminen yksittäisistä laatoista voi olla tunnin työ, joten sovelluksen tuottama ajallinen säästö on jo huomattava.

Opinnäytetyön tehtävänanto oli hyvin haastava. Muottisuunnittelu on laaja ja monimutkainen prosessi ja erilaiset ruiskuvalukappaleet vaativat hyvin erilaisia muottisuunnitteluratkaisuja. Näin ollen opinnäytetyön tavoite automatisoida muottisuunnittelu jouduttiin rajaamaan hyvin spesifisti vain tietyn tyyppiseen valukanava- ja jäähdytyskanavaratkaisuun ja muottisuunnittelun osa-alueiden monimuotoisuuden takia jättämään pois sellaisia olennaisia osia kuin ulostyöntö ja portit sekä niiden sijoittelu kappaleessa.

SolidWorksin API-ohjelmointiympäristö on myös haastava ja käsittää hyvin suuren luokkakirjaston, johon syventyminen ilman opastusta on vaativa työ kenelle tahansa. Rekisteröitynyt SolidWorks-käyttäjä voi kyllä ilmoittautua API-ohjelmointikurssille, mutta niitä järjestetään Suomessa hyvin vähän ja ne ovat kestoltaan ja kustannuksiltaan opiskelijan ulottumattomissa. Tätä opinnäytetyötä varten tarvittava tietotaito on peräisin vain aloittelijatasen oppaista tai käyttäjäyhteisön foorumiviesteistä ja suurelta osin oman yrityksen ja erehdyksen kautta hankittu. Lisäksi yleinen ohjelmointikokemus Visual Basic .NET -kielellä ennen tätä opinnäytetyötä oli vain pinnallista ja harppaus tasossa oli suuri.

Nämä seikat huomioiden muottisuunnitteluapuohjelman kehityksessä jouduttiin tekemään monia leikkauksia, oikoreittejä ja kompromisseja. Toisaalta koska aihe oli niin laaja, mutta vain yhden henkilön toteuttama, ei voi olla kuin tyytyväinen, että apuohjelma saatiin kehitettyä näinkin toimivaan asteseen. Mikäli sovelluksesta olisi tarkoitus tehdä kaupallinen, teollisuuden käytössä oleva versio, vaatisi se usean henkilön kehitystiimin, jonka jäsenillä on syvällistä tietotaitoa niin muottisuunnittelusta, SolidWorks-mallinnuksesta kuin ohjelmoinnistakin.

Muottisuunnittelun automatisointi on kuitenkin tärkeä tavoite, joka säästää kustannuksia ja vähentää kehittelyaikaa ennen tuotantoa. Toimivalla ja laajemmalla muottisuunnitteluapuohjelmalla on siis hyvin konkreettista käyttöä ja tarvetta ruiskuvaluteollisuudessa, ja tämän opinnäytetyön kehittelyn jatkaminen kaupallisenä sovellutuksena on hyvin mahdollinen tulevaisuuden vaihtoehto. Sovellus tavoittaisi suomalaisen muoviteollisuuden suunnittelutarpeet ja pystyisi vastaamaan niihin kotimaisella osaamisella ja äidinkielellä.

Jatkokehittelykohteita sovellukseen jää jo olemassa olevaan osuuteen ja myös lisättäviin ominaisuuksiin. Käyttöliittymä on joiltain osin rajoittunut ja tietokantaan liittyminen ei ole täysin toimiva. Sovelluksen toimintaa ei ole ehditty tarkastaa tarpeeksi laajalla määrällä erilaisia kappaleita, joten toiminnassa voi esiintyä virheitä, joita ei ole ennalta osattu arvioidakaan. Näiden ensisijaisten jatkokehittelytavoitteiden lisäksi toissijaiset tavoitteet ovat lisätä muita työkaluja kattamaan muottisuunnittelun tarpeita. Erilaiset jakokanavamallit, syöttöihin lisättävät erilaiset portit ja Z-standardin muottiosat ovat ensi alkuun realistisia tavoitteita.

LÄHTEET

Painetut lähteet

Haara, J. 2008. Ruiskuvalumuotin suunnittelu: avustajaohjelma muottiosien valintaan. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan laitos. Muovitekniikan opinnäyte-työ.

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. painos. Tampere: Plastdata Oy

Lombard, L. 2010. SolidWorks 2010 Bible. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

Stoeckhert, K. (toim.) 1983. Mold-making handbook for the plastics engineer. München, Wien, New York: Hanser Publishers.

Ruiz, A., Jack, G. 2010. SolidWorks 2010 No experience required. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

Elektroniset lähteet

British Plastics Federation 2013. Injection moulding [viitattu 4.4.2013]. Saatavissa: http://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/injection_moulding.aspx

GM System2001 2011. Solid Edge ST3 - Mold Tooling [viitattu 13.4.2013]: Saatavissa: <http://www.youtube.com/watch?v=Biv-2jyh1rQ>

R&B USA 2013. MoldWorks Product Overview [viitattu 13.4.2013]. Saatavissa: http://www.rnbusa.com/data_files/MoldWorks.pdf

SolidWorks 2012a. SolidWorks API Standalone and Add-in Applications Overview [viitattu 9.4.2013]. Saatavissa: http://help.solidworks.com/2013/English/api/sldworksapiproguide/GettingStarted/SolidWorks_API_Standalone_and_Add-in_Applications_Overview.htm

SolidWorks 2012b. Memory Allocation [viitattu 4.4.2013]. Saatavissa:

http://help.solidworks.com/2012/English/SolidWorks/sldworks/Memory_Allocation.htm

SolidWorks 2012c. CreateCircleByRadius Method (ISketchManager) [viitattu 10.4.2013]. Saatavissa:

<http://help.solidworks.com/2012/English/api/sldworksapi/SolidWorks.Interop.sldworks~SolidWorks.Interop.sldworks.ISketchManager~CreateCircleByRadius.html>

SolidWorks 2012d. FeatureExtrusion2 Method (IFeatureManager) [viitattu 10.4.2013]. Saatavissa:

<http://help.solidworks.com/2012/English/api/sldworksapi/SolidWorks.Interop.sldworks~SolidWorks.Interop.sldworks.IFeatureManager~FeatureExtrusion2.html>

SolidWorks 2012e. FeatureCircularPattern3 Method (IFeatureManager) [viitattu 11.4.2013]. Saatavissa:

<http://help.solidworks.com/2012/English/api/sldworksapi/SolidWorks.Interop.sldworks~SolidWorks.Interop.sldworks.IFeatureManager~FeatureCircularPattern3.html>

SolidWorks 2012f. IMathTransform Interface [viitattu 11.4.2013]. Saatavissa:

<http://help.solidworks.com/2012/English/api/sldworksapi/SolidWorks.Interop.sldworks~SolidWorks.Interop.sldworks.IMathTransform.html>

SolidWorks 2012g. CreateLinearSketchStepAndRepeat Method (ISketchManager) [viitattu 11.4.2013]. Saatavissa:

<http://help.solidworks.com/2012/English/api/sldworksapi/SolidWorks.Interop.sldworks~SolidWorks.Interop.sldworks.ISketchManager~CreateLinearSketchStepAndRepeat.html>

Wikipedia 2013a. Visual Basic .NET [viitattu 9.4.2013]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic_.NET

Wikipedia 2013b. Visual Basic for Applications [viitattu 9.4.2013]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic_for_Applications

LIITTEET

LIITE 1/2

Muottikokojen mittataulukko

| Muottikoko | Tehollinen | | | Ohjauspylväät | | Kiinnitysruuvit | | | Ohjausreiät | Ohjauspylväät | Kiinnityslevyt | | Ulostyöntölevyt | | Tukipalat | |
|------------|------------|------|-----------|---------------|-----|-----------------|-----|--------|-------------|---------------|----------------|-----|-----------------|-----|-----------|-----|
| | X | Y | Pinta-ala | X | Y | X | Y | Kierre | Halkaisija | Halkaisija | X | Y | X | Y | X | Y |
| 156 x 156 | 88 | 88 | 7744 | 122 | 122 | 122 | 72 | M10 | 20 | 15 | 206 | 156 | 90 | 156 | 32 | 156 |
| 156 x 196 | 84 | 116 | 9744 | 120 | 156 | 126 | 114 | M10 | 20 | 15 | 206 | 196 | 90 | 196 | 32 | 196 |
| 156 x 246 | 88 | 178 | 15664 | 122 | 212 | 122 | 162 | M10 | 20 | 15 | 196 | 246 | 90 | 196 | 32 | 246 |
| 156 x 296 | 88 | 228 | 20064 | 122 | 262 | 122 | 212 | M10 | 20 | 15 | 196 | 296 | 90 | 296 | 32 | 296 |
| 196 x 196 | 108 | 112 | 12096 | 152 | 154 | 154 | 100 | M10 | 26 | 20 | 246 | 196 | 118 | 196 | 38 | 196 |
| 196 x 246 | 112 | 158 | 17696 | 154 | 202 | 154 | 150 | M10 | 26 | 20 | 246 | 246 | 118 | 246 | 38 | 246 |
| 196 x 296 | 104 | 192 | 19968 | 150 | 244 | 150 | 186 | M12 | 30 | 24 | 246 | 296 | 108 | 296 | 43 | 296 |
| 196 x 346 | 104 | 242 | 25168 | 150 | 294 | 150 | 236 | M12 | 30 | 24 | 246 | 346 | 108 | 346 | 43 | 346 |
| 196 x 396 | 92 | 292 | 26864 | 144 | 344 | 144 | 274 | M12 | 30 | 24 | 246 | 396 | 108 | 396 | 43 | 396 |
| 246 x 246 | 154 | 154 | 23716 | 200 | 200 | 200 | 130 | M12 | 30 | 24 | 296 | 246 | 158 | 246 | 43 | 246 |
| 246 x 296 | 154 | 192 | 29568 | 200 | 244 | 200 | 186 | M12 | 30 | 24 | 296 | 296 | 158 | 296 | 43 | 296 |
| 246 x 346 | 142 | 242 | 34364 | 194 | 294 | 194 | 224 | M12 | 30 | 24 | 296 | 346 | 158 | 346 | 43 | 346 |
| 246 x 396 | 150 | 284 | 42600 | 198 | 340 | 198 | 264 | M12 | 30 | 24 | 296 | 396 | 150 | 396 | 47 | 396 |
| 246 x 446 | 142 | 342 | 48564 | 194 | 394 | 164 | 324 | M12 | 30 | 24 | 296 | 446 | 158 | 446 | 43 | 446 |
| 246 x 496 | 142 | 392 | 55664 | 194 | 444 | 164 | 374 | M12 | 30 | 24 | 296 | 496 | 158 | 496 | 43 | 496 |
| 296 x 296 | 192 | 204 | 39168 | 250 | 244 | 250 | 186 | M12 | 30 | 24 | 246 | 296 | 208 | 296 | 43 | 296 |
| 296 x 346 | 192 | 242 | 46464 | 244 | 294 | 244 | 224 | M12 | 30 | 24 | 346 | 346 | 208 | 346 | 43 | 346 |
| 296 x 396 | 200 | 284 | 56800 | 248 | 340 | 248 | 264 | M12 | 30 | 24 | 346 | 396 | 200 | 396 | 47 | 396 |
| 296 x 446 | 192 | 342 | 65664 | 244 | 394 | 244 | 324 | M12 | 30 | 24 | 346 | 446 | 208 | 446 | 43 | 446 |
| 296 x 496 | 192 | 392 | 75264 | 244 | 444 | 244 | 374 | M12 | 30 | 24 | 346 | 496 | 208 | 496 | 43 | 496 |
| 296 x 546 | 192 | 442 | 84864 | 244 | 494 | 244 | 424 | M12 | 30 | 24 | 346 | 546 | 208 | 546 | 43 | 546 |
| 296 x 596 | 192 | 492 | 94464 | 244 | 544 | 244 | 474 | M12 | 30 | 24 | 346 | 596 | 208 | 596 | 43 | 596 |
| 296 x 696 | 192 | 552 | 105984 | 244 | 624 | 244 | 530 | M16 | 42 | 32 | 346 | 696 | 168 | 696 | 62 | 696 |
| 346 x 346 | 242 | 242 | 58564 | 294 | 294 | 294 | 224 | M16 | 30 | 24 | 396 | 346 | 258 | 346 | 43 | 346 |
| 346 x 396 | 202 | 236 | 47672 | 274 | 316 | 274 | 230 | M16 | 42 | 32 | 396 | 396 | 218 | 396 | 62 | 396 |
| 346 x 446 | 202 | 302 | 61004 | 274 | 374 | 274 | 280 | M16 | 42 | 32 | 396 | 446 | 218 | 446 | 62 | 446 |
| 346 x 496 | 202 | 336 | 67872 | 274 | 416 | 274 | 330 | M16 | 42 | 32 | 396 | 496 | 218 | 496 | 62 | 496 |
| 346 x 546 | 202 | 402 | 81204 | 274 | 474 | 274 | 380 | M16 | 42 | 32 | 396 | 546 | 218 | 546 | 62 | 546 |
| 346 x 596 | 202 | 452 | 91304 | 274 | 524 | 274 | 430 | M16 | 42 | 32 | 396 | 596 | 218 | 596 | 62 | 596 |
| 346 x 696 | 202 | 552 | 111504 | 274 | 624 | 274 | 530 | M16 | 42 | 32 | 396 | 696 | 218 | 696 | 62 | 696 |
| 346 x 796 | 202 | 652 | 131704 | 274 | 724 | 274 | 630 | M16 | 42 | 32 | 346 | 796 | 218 | 796 | 62 | 796 |
| 396 x 396 | 252 | 252 | 63504 | 324 | 324 | 324 | 230 | M16 | 42 | 32 | 446 | 396 | 268 | 396 | 62 | 396 |
| 396 x 446 | 252 | 302 | 76104 | 324 | 374 | 324 | 280 | M16 | 42 | 32 | 446 | 446 | 268 | 446 | 62 | 446 |
| 396 x 496 | 252 | 352 | 88704 | 324 | 424 | 324 | 330 | M16 | 42 | 32 | 446 | 496 | 268 | 496 | 62 | 496 |
| 396 x 546 | 252 | 386 | 97272 | 324 | 466 | 324 | 380 | M16 | 42 | 32 | 446 | 546 | 268 | 546 | 62 | 546 |
| 396 x 596 | 252 | 4452 | 113904 | 324 | 524 | 324 | 430 | M16 | 42 | 32 | 446 | 596 | 268 | 596 | 62 | 596 |
| 396 x 696 | 252 | 552 | 139104 | 324 | 624 | 324 | 530 | M16 | 42 | 32 | 446 | 696 | 268 | 696 | 62 | 696 |
| 396 x 796 | 252 | 652 | 164304 | 324 | 724 | 324 | 630 | M16 | 42 | 32 | 446 | 796 | 268 | 796 | 62 | 796 |
| 446 x 446 | 302 | 302 | 91204 | 374 | 374 | 374 | 280 | M16 | 42 | 32 | 496 | 446 | 318 | 446 | 62 | 446 |
| 446 x 496 | 302 | 352 | 106304 | 374 | 424 | 374 | 330 | M16 | 42 | 32 | 496 | 496 | 318 | 496 | 62 | 496 |
| 446 x 546 | 302 | 402 | 121404 | 374 | 474 | 374 | 380 | M16 | 42 | 32 | 496 | 546 | 318 | 546 | 62 | 546 |
| 446 x 596 | 302 | 452 | 136504 | 374 | 524 | 374 | 430 | M16 | 42 | 32 | 496 | 596 | 318 | 596 | 62 | 596 |
| 446 x 696 | 302 | 552 | 166704 | 374 | 624 | 374 | 530 | M16 | 42 | 32 | 496 | 696 | 318 | 696 | 62 | 696 |
| 446 x 796 | 302 | 652 | 196904 | 374 | 724 | 374 | 630 | M16 | 42 | 32 | 496 | 796 | 318 | 796 | 62 | 796 |
| 496 x 496 | 352 | 352 | 123904 | 424 | 424 | 424 | 330 | M16 | 42 | 32 | 546 | 496 | 368 | 496 | 62 | 496 |
| 496 x 546 | 352 | 402 | 141504 | 424 | 474 | 424 | 380 | M16 | 42 | 32 | 546 | 546 | 368 | 546 | 62 | 546 |
| 496 x 596 | 352 | 452 | 159104 | 424 | 524 | 424 | 430 | M16 | 42 | 32 | 546 | 596 | 368 | 596 | 62 | 596 |
| 496 x 696 | 352 | 552 | 194304 | 424 | 624 | 424 | 530 | M16 | 42 | 32 | 546 | 696 | 368 | 696 | 62 | 696 |
| 496 x 796 | 288 | 588 | 169344 | 392 | 692 | 392 | 574 | M20 | 54 | 42 | 546 | 796 | 324 | 796 | 84 | 796 |
| 496 x 896 | 288 | 688 | 198144 | 392 | 792 | 392 | 674 | M20 | 54 | 42 | 546 | 896 | 324 | 896 | 84 | 896 |
| 496 x 996 | 288 | 788 | 226944 | 392 | 892 | 392 | 774 | M20 | 54 | 42 | 546 | 996 | 324 | 996 | 84 | 996 |
| 546 x 546 | 402 | 402 | 161604 | 474 | 474 | 474 | 380 | M16 | 42 | 32 | 596 | 546 | 418 | 546 | 62 | 546 |
| 546 x 596 | 402 | 452 | 181704 | 474 | 524 | 474 | 430 | M16 | 42 | 32 | 596 | 596 | 418 | 596 | 62 | 596 |
| 546 x 696 | 402 | 552 | 221904 | 474 | 624 | 474 | 530 | M16 | 42 | 32 | 596 | 696 | 418 | 696 | 62 | 696 |

LIITE 1/2

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| 546 x 796 | 338 | 588 | 198744 | 442 | 692 | 442 | 574 | M20 | 54 | 42 | 596 | 796 | 374 | 796 | 84 | 796 |
| 546 x 896 | 338 | 688 | 232544 | 442 | 792 | 442 | 674 | M20 | 54 | 42 | 596 | 896 | 374 | 896 | 84 | 896 |
| 546 x 996 | 338 | 788 | 266344 | 442 | 892 | 442 | 774 | M20 | 54 | 42 | 596 | 996 | 374 | 996 | 84 | 996 |
| 596 x 596 | 452 | 452 | 204304 | 524 | 524 | 524 | 430 | M16 | 42 | 32 | 696 | 596 | 468 | 596 | 62 | 596 |
| 596 x 696 | 388 | 488 | 189344 | 492 | 592 | 492 | 474 | M20 | 54 | 42 | 696 | 696 | 424 | 696 | 84 | 696 |
| 596 x 796 | 388 | 588 | 228144 | 492 | 692 | 492 | 574 | M20 | 54 | 42 | 696 | 796 | 424 | 796 | 84 | 796 |
| 596 x 896 | 388 | 688 | 266944 | 492 | 792 | 492 | 674 | M20 | 54 | 42 | 696 | 896 | 424 | 896 | 84 | 896 |
| 596 x 996 | 388 | 788 | 305744 | 492 | 892 | 492 | 774 | M20 | 54 | 42 | 696 | 996 | 424 | 996 | 84 | 996 |

LIITE 2

Muottilaattojen paksuudet

| Muottikoko | Muottilaatta | Tukipalat |
|------------|---|---------------|
| 156 x 156 | Paksuus / mm 22 27 36 46 56 76 | 46 56 76 |
| 156 x 196 | Paksuus / mm 22 27 36 46 56 76 | 46 56 76 |
| 156 x 246 | Paksuus / mm 22 27 36 46 56 76 | 46 56 76 |
| 156 x 296 | Paksuus / mm 22 27 36 46 56 76 | 46 56 76 |
| 196 x 196 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 46 56 76 |
| 196 x 246 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 46 56 76 |
| 196 x 296 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 46 56 76 |
| 196 x 346 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 196 x 396 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 246 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 296 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 346 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 396 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 446 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 246 x 496 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 296 x 296 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 296 x 346 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 | 56 76 96 |
| 296 x 396 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 296 x 446 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 296 x 496 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 296 x 546 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 296 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 296 x 696 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 346 x 346 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 346 x 396 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 346 x 446 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 346 x 496 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 346 x 546 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 76 96 116 |
| 346 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 346 x 696 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 346 x 796 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 136 |
| 396 x 396 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 396 x 446 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 396 x 496 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 76 96 116 |
| 396 x 546 | Paksuus / mm 27 36 46 56 76 96 116 | 76 96 116 |
| 396 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 396 x 696 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 396 x 796 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 446 x 446 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 56 76 96 |
| 446 x 496 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 76 96 116 |
| 446 x 546 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 | 76 96 116 |
| 446 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 76 96 116 |
| 446 x 696 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 446 x 796 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 496 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 546 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 696 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 796 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 896 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 496 x 996 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 546 x 546 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |
| 546 x 596 | Paksuus / mm 36 46 56 76 96 116 136 156 | 96 116 136 |

LIITE 2/2

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|-----|
| 546 x 696 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 546 x 796 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 546 x 896 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 546 x 996 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 596 x 596 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 596 x 696 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 596 x 796 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 596 x 896 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |
| 596 x 996 | Paksuus / mm | 36 | 46 | 56 | 76 | 96 | 116 | 136 | 156 | 96 | 116 | 136 |

LIITE 3

Jäähdytyskanavien vaatimat pituudet muottilaatassa

| Jäähdytyskanavat | | |
|------------------|--------------------------|-------------------------------|
| kpl | Kanavan halkaisija mm | Vaadittu kokonaispituus mm |
| 2 | 8 | 48 |
| 2 | 12 | 72 |
| 4 | 8 | 96 |
| 4 | 12 | 144 |
| 4 | 15 | 180 |
| 6 | 15 | 270 |
| 8 | 15 | 360 |
| 10 | 15 | 450 |
| 12 | 15 | 540 |
| 14 | 15 | 630 |
| 16 | 15 | 720 |
| 18 | 15 | 810 |
| 20 | 15 | 900 |