

TUOTEKOTELON SUUNNITTELU

Jari Kiviniemi

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2015

Technique
Mechanical and Production
Engineering

Author	Jari Kiviniemi	Year	2015
Supervisor(s)	Lauri Kantola		
Commissioned by	Arctic Coders Oy		
Subject of thesis	Product casing design		
Number of pages	75 + 1		

Thesis was done for Arctic Coders Ltd currently operating at Haukipudas. Arctic Coders Ltd develops and manufactures products where the core and main focus is software development. The newest innovation of the company is an entirely new multipolar wireless time measuring system which can be used to measure lap and interval times with smartphones, tablets or new wear-it products such as smart clocks, different range of eyeglass software etc. The target audience in the first phase is motorsports such as RC car racing and karting but it can be applied to other sports as well.

The assignment of the thesis was to execute the mechanical design of the plastic case of transponder of the new time measuring system according to the client's requirement and wishes. The main goal of the design work was the feasibility of the result. The designed housing is the first plastic product which is productized by Arctic Coders Ltd. The decision of producing own housing was born from need and desire to fulfill the user's requirements and wishes, because housing markets cannot properly answer to them. The thesis introduces the characteristics and requirements of housing. The sketching phase, which is based on defining the qualities and requirements of the housing, consist of composing, studying, pondering and seeking optimal solution when comparing different functions, manufacturability and cost.

The final construction of the sketching continues to development and execution phase in which the functional matters and matters which significantly affect the manufacturability injection molded piece, based on the instructions from the sources, are under closer investigation. In the end some guidance is shown, related to the drawings, assembly, installation and manufacturing. This work is an exact report on the plastic product from designing process to the finished product.

Keywords: Mechanical Design, Product Development, Injection Molding, ABS, Housing”

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Arctic Coders Oy.....	8
1.2	LapSnapper.....	9
1.3	Transponder.....	10
1.4	Työn tavoite.....	11
2	TEHTÄVÄN SELVITYS.....	12
2.1	Transponderin käyttö.....	12
2.2	Valmistus ja kokoonpano.....	13
3	LUONNOSTELU.....	15
3.1	Alustava luonnostelu.....	15
3.2	Koko.....	16
3.3	Muoto.....	19
3.4	Kotelon lukitus.....	21
3.5	Piirilevyn kiinnitys.....	22
3.6	Tiiveys.....	23
3.7	Materiaali.....	24
3.7.1	Muovi.....	25
3.7.2	Vaatimukset.....	26
3.8	Lujuus.....	29
3.9	Merkinnät.....	31
3.9.1	Tarran kiinnitys.....	32
3.9.2	Muut merkinnät.....	33
3.10	Valmistus.....	34
3.10.1	Materiaalipaksuus.....	34
3.10.2	Päästöt ja kulmat.....	34
3.10.3	Muuta huomioitavaa.....	35
3.11	Kustannukset.....	35
3.11.1	Pikamalli.....	36
3.11.2	Ruiskupuristus.....	37
3.12	Käyttö.....	39
3.12.1	Kotelon kiinnitys.....	39
3.12.2	Pariston vaihto.....	41

4	KEHITTELY JA TOTEUTUS.....	43
4.1	Koko.....	44
4.2	Muoto.....	45
4.3	Elektroniikan asennus ja kiinnitys	46
4.4	Kotelon sulkeminen, lukitus ja tiiveys.....	48
4.5	Materiaali	50
4.6	Lujuus	50
4.6.1	Kotelon sulkeminen.....	51
4.6.2	Kotelon kiinnittäminen	52
4.7	Merkinnät	53
4.8	Valmistus	53
4.8.1	Pikamalli.....	54
4.8.2	Seinämät ja paksuusvaihtelut.....	54
4.8.3	Päästöt ja pinnanlaatu.....	56
4.8.4	Pyöristykset.....	57
4.8.5	Jakotaso.....	59
4.8.6	Ruiskutuspaikat ja ulostyöntöpaikat	60
4.9	Kustannukset.....	62
4.10	Käyttö.....	62
5	VIIMESTELY.....	63
5.1	Piirustukset ja mitoitus	63
5.2	Toleranssit	64
5.3	Valmistuttaminen	64
5.4	Kokoonpano ja avaaminen	65
5.5	Asennus.....	67
5.6	Luokitukset.....	68
6	YHTEENVETO	71
7	LÄHTEET	73
	LIITTEET	75

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Haukiputaalaiselle yritykselle, Arctic Coders Oy:lle. Yrityksen puolelta työnohjaajana oli Marko Heikkilä. Hänelle suuret kiitokset työhön liittyvistä hyvistä ajatuksista ja kommentteista sekä mielenkiintoisista ja antoisista tuotekehityskeskusteluista.

Kiitokset myös oppilaitoksen puolelta ohjaajana olleelle Lauri Kantolalle, asiantuntevista, arvokkaista neuvoista ja ohjeista, muovituotteen suunnitteluun ja valmistuttamiseen. Tietoisuus saatavissa olevasta ohjaajasta ja hänen aiheeseen liittyvästä ammattitaidosta, ratkaisivat opinnäytetyöni aihevalinnan.

1 JOHDANTO

Yleensä kun puhutaan radio-ohjattavista autoista, itselläni tulee mieleen joulu, pikkupoikien leluautot ja jatkuva paristojen vaihtohässäkki. Opinnäytetyön aikana on selvinnyt, että se voi olla myös ihan muuta, totista aikuisten ihmisten (pääasiassa miesten) kilpailua maineesta ja kunniaista sekä tietenkin rahasta. Huipputasolla parhaat jopa ansaitsevat elantonsa RC-autokilpailuilla sponsoreiden tukemana. RC-autot kuuluvat myös suomalaisen autourheilun kattojärjestön, AKK-Motorsportin alaisuuteen kuuluvaan pienoisautoilulajiin.

RC-autot ovat enimmäkseen todellisten autojen pienoismalleja, joiden yleisimmät kokoluokat Suomessa ovat 1:12, 1:10 ja 1:8 (AKK-Motorsport Oy), eli autot ovat esim. pituudeltaan noin 30 - 60 senttimetrin mittaisia. Pienen kokonsa ja suhteellisen edullisen hintansa vuoksi ne ovat kovaa vauhtia yleistymässä harrastekäyttöön, muutenkin kuin aktiiviseen kilpailukäyttöön. Arctic Coders:n kehittämä uusi innovatiivinen ajanottojärjestelmä onkin erinomainen tuote sen edullisen hintansa ja helpon käyttöönoton vuoksi myös harrastajille, vaikkakin on myös täysin toimiva kilpailujen ajanottojärjestelmä. Tähän asti markkinoilla olleet ajanottojärjestelmät maksavat 2000 eurosta ylöspäin, kun Arctic Coders:n tuotteen saa alle 200 eurolla. Tuotetta myydään tällä hetkellä myös kartingiin, joka on toinen suuri laji globaalisti. Arctic Coders Oy:lla on suunnitelmia laajentaa myyntiä myös muihin lajeihin.

1.1 Arctic Coders Oy

Arctic Coders Oy on palveluita ja tuotekehitystä tarjoava teknologiayhtiö. Yritys on perustettu Kemissä vuonna 2007, nykyinen toimipaikka sijaitsee Haukiputaalla. Päätoimialoina ovat ohjelmisto- ja elektroniikkasuunnittelu, kehitys ja toteutus. Muita vahvoja aloja ovat esim. konenäköjärjestelmien toteutus ja teollisuusrobottien käyttöönotto ja ohjelmointi sekä niiden ohjaus älykkäillä CAM-ohjelmistoilla. Yrityksellä on myös omia tuotteita, joista viimeisin on em. ajanottojärjestelmä, johon opinnäytetyöni liittyy. Ajanottojärjestelmä on julkaistu Arctic Coders Oy:n aputoiminimellä, **LapSnapper** (LapSnapper, 2014b).

1.2 LapSnapper

LapSnapper on täysin langaton ja ulkopuolisesta virtalähteestä vapaa ajanottolaitteisto, näiden ominaisuuksien suhteen ensimmäinen markkinoilla oleva tuote. Käyttöönotto on laitteen yksinkertaisuuden vuoksi helppo ja nopea. Tarvitsee asentaa vain radan poikki kulkeva magneettiraita, transponderi RC-tai kartingautoon sekä ensimmäisellä kerralla ohjelmiston asennus Android älylaitteeseen. (LapSnapper, 2014b)

Laitteessa ei ole kaapelointitarvetta lainkaan, mistä on useita hyötyjä. Kun ei ole kaapeleita, ei voi olla kaapelivikoja, ei ole kaapeleita haittaamassa muuta toimintaa, eikä ole kaapeleista ja niiden toimilaitteista aiheutuvia kustannuksia. Myös vapaus ulkopuolisesta virtalähteestä on suuri etu ja käytännön toimintaa helpottava asia. Jos verrataan markkinoilla olevia kilpailevia tuotteita, ne tarvitsevat esim. pidempikestoisen kilpailun ajaksi ulkopuolista virtaa vähintäänkin akkujen latausta varten. LapSnapperissa ei tarvitse ladata muuta kuin ajanottoa hallinnoiva laite (yleensä tabletti) ja aikojen seuraamiseen käytettävä matkapuhelin, jos niitä käytetään. Transponderissa käytetään standardiparistoja, joiden kesto normaalikäytössä on noin 3 vuotta. Kun ei ole ladattavia laitteita, silloin ei tarvitse huolehtia niiden käytöstä, toiminnasta, ne eivät voi rikkoontua, eikä niistä tule kustannuksia.

Kuvassa 1 on ajanmittausjärjestelmän periaatekuva. Järjestelmä koostuu kilpatahan upotettavista tai radan ylittävään porttiin asennettavista magneettiraidoista (1–3 kpl), autoon asennettavasta transponderista sekä Android älylaitteesta, johon kytketään LapSnapper dekooderi ja asennetaan ajanmittausohjelmisto. Radassa voi olla magneettiraitoja enimmillään 3 kappaletta, eli kolme sektoria ja kolme väliaikamahdollisuutta. Yksi niistä on samalla lähtö- ja maaliviivalla. (LapSnapper, 2014a)

RACES



Kuva 1. LapSnapper Pro ajanottojärjestelmä, (LapSnapper, 2014a)

Kuvassa 2 on tuotepaketti, joka sisältää ajanmittauslaitteen ohjelmiston Android laitteelle (micro sd-muistikortti), dekooderin, transponderin, USB sovitinkaapelin – USB Micro ↔ USB 2.0 ja käyttöohjeen (pääteläite ei sisälly).



Kuva 2. Tuotepakkaus, (LapSnapper, 2014b)

1.3 Transponder

LapSnapper transponderia käytetään kilpa-autojen tunnistamiseen. Jokaisessa autossa on oma transponderi, joka tunnistaa magneettiraidan auton ylittäessä sen ja lähettää ajan dekooderille käyttäen 2,4 gigahertsin taajuudella toimivaa radiotekniikkaa. (LapSnapper, 2014a)

Kuvassa 3 näkyy nykyinen kiinnityskorvallinen transponderin kotelo, joka edelleen jää karting-käyttöön. Suunniteltava pienempi kotelo korvaa vastaavan, ilman korvallisista olevan kotelon. Kuvan alempi osa ei ole lähteestä, vaan kotelo on

avattu ja itse kuvattu. Transponderin tärkein osa ja ”sielu”, eli elektroniikka puuttuu kuvasta. Kotelon (korvattavan) mitat ovat 35 x 35 x 15 millimetriä ja painoa 18 grammaa elektroniikan kanssa. Kuvassa, jossa kotelo on avattu, kotelon oikean puoleisessa osassa näkyy pohjalla pienemmät ruuvitornit, johon elektroniikka kiinnitetään. Kansi kiinnitetään pohjaosan läpi myös ruuveilla. Materiaali on ABS-muovia.



Kuva 3. Transponderin kotelo, (LapSnapper, 2014b)

1.4 Työn tavoite

Työn päätavoitteet ovat saada transponderin kotelosta pienempi, helpommin koonpantava ja toteutuskelpoinen suunnittelun lopputulos. Työ sisältää pelkästään mekaniikkasuunnittelun, eikä osien valmistukseen oleellisesti liittyvien valumuottien suunnittelua.

Muottisuunnittelua ei tehty, koska muovituotteiden valmistajilla (esim. ruiskupuristus) on yleensä omat vakiintuneet muotinvalmistajat, joilla taas omat vakiintuneet muottisuunnittelijat. Ketjulle muottisuunnittelusta valmistukseen on luonnolliset käytännön sanelemat syyt. Jokaisella ruiskupuristusyrityksellä ym. vastaavilla valmistajilla on erilaisia koneita, toimintatapoja, ym. syitä, miksi käytetään vakiintuneita muotin valmistajia ja muottisuunnittelijoita jotka tuntevat toimintatavat. Muottisuunnittelu olisi ollut myös laajuudeltaan vähintäänkin yhden oman opinnäytetyön laajuinen työ.

2 TEHTÄVÄN SELVITYS

Transponderin kotelon suunnittelua määrittelee ko. tuotteen käyttötavat, kohteet, olosuhteet sekä valmistettavuus ja kokoonpantavuus. Tässä luvussa käydään näitä läpi ja samalla muodostuu suunnittelua ohjaava vaatimuslista. Vaatimuksia tulee ainoastaan tuotteen toiminnoista, mitkään standardit eivätkä määräykset aseta pelkälle kotelolle lisävaatimuksia. Kotelosuunnittelun rinnalla toteutettiin elektroniikkasuunnitteluprojekti, jonka tulokset vaikuttivat ja ne tuli huomioida kotelosuunnittelussa.

2.1 Transponderin käyttö

Tällä hetkellä pääkäyttökohteita ovat siis RC- ja karting-autot. Pienimmät RC-autot ovat kooltaan 1:27 suhteessa todellisen auton kokoon, eli pituus noin 130 millimetriä, leveys 65 – 75 millimetriä ja korkeus noin 35 millimetriä. Auto on sisältä vielä lähes täynnä tekniikkaa, joten on selvää, että mitä pienempi kotelo on, sitä parempi, koska transponderi halutaan RC-autoissa yleensä auton sisälle. Pienemmissä autoissa myös kaikki ylimääräinen pienikin lisäpaino on haitaksi. Transponderin elektroniikan kehittymisen myötä piirilevyn koko on pienentynyt, mikä mahdollista nykyistä pienemmän kotelon toteutuksen.

RC-autoilla ajetaan myös ulkoradoilla, mikä asettaa transponderille omat vaatimuksensa. Ulkoratoja on sekä sora- että asfalttialustoilla. Niissä ajettavat autot voivat olla myös polttomootoriautoja, kun sisäradoilla ajetaan vain sähkömootorisilla autoilla. Ulkoradoista varsinkin soraradalla tulee aika paljon tärinöitä ja pölyä. Molemmilla ulkoradoilla ajetaan myös vesikelillä, soraradoilla voi olla vesiesiteitäkin.

Karting autoissa transponderi saattaa poikkeustilanteissa joutua kosketuksiin öljyn ja bensiinin kanssa. Kartingissa transponderia ei välttämättä pysty aina suojaamaan millään ulkopuolisella kotelolla tai suojoilla, jolloin se joutuu kovempaan vesipainerasitukseen kuin RC-autoissa. Kartingissa on kovat nopeudet, jolloin sateen aikana nopeudesta johtuva tai renkaista suihkuava vesipaine voi olla kova.

Transponderin pariston kesto on normaalikäytössä noin 3 vuotta. Se voi olla paljon ajavalla reilusti allekin luvatus ajan ja tietenkin vähemmällä käytöllä vastavasti pidemmän ajan. Transponderin elinikä on ajateltu pidemmäksi kuin pariston ikä, joten paristo pitää olla vaihdettavissa.

Taulukkoon 1 on koottu tiivistetysti käytöstä muodostuvat toimintavaatimukset. Ominaisuuksien vaatimukset ovat prioriteetiltaan toivomuksia korkeampia, mutta myös toivomukset pyritään toteuttamaan.

Taulukko 1. Käytön vaatimat ominaisuudet ja vaatimukset

Ominaisuus	Vaatus	Toivomus	Lisätieto
Koko	◆ pienempi kuin nykyinen (mahdollisimman pieni)	◆ 24x24x8 (nykyinen pienin 35x35x15)	◆ uusi elektroniikka 21,5x21,5 mm (entinen 30x30 mm)
Muoto	◆ laatikkomainen ◆ ei pyöreä	◆ tyylikäs	
Tiiveys	◆ pölytiivis ◆ roiskevesitiivis	◆ hetkellisesti upotustiivis	
Lujuus	◆ kestettävä reilu ”normaali” käsittely ◆ pudotus lattialle 1,5 m korkeudelta elektroniikka sisällä		
Materiaali	◆ pieni sähkön läpilyöntilujuus ◆ hyvä radioaallon läpäisevyys ◆ siedettävä aurinkoa ja vettä	◆ visuaalisesti laadukas pinta ◆ kestettävä hetkellisesti • bensiniä • öljyjä	◆ väri ei saisi haalistua ◆ kosketus kemikaaleihin poikkeustilanteissa
Käyttö	◆ helposti asennettävissä ◆ käyttölämpötila-alue – 10...50 C° ◆ takuu aika 12 kk	◆ helposti avattava ◆ käyttöaika vähint. 3 v	◆ pariston vuoksi avattava, avauksessa ehjänä säilyminen ei ehdoton vaatimus

2.2 Valmistus ja kokoonpano

Nykyinen transponderi on aika työläs kokoonpantava, jos tehdään suurempia määriä. Kotelon kansiosaan (syvempi osa) ruuvataan ensin pienemmillä ruuveilla

piirilevy kiinni ja sen jälkeen pohjaosa ruuvataan suuremmilla ruuveilla kansiosaan kiinni. Kotelon vesi- ja pölytiivetyys on vielä varmistettu saumakohtaan laitetulla tiivistesilikonilla. Yhtäkkiä tuntuu pikkujutulta, mutta suurien kappalemäärien kokoonpanossa kaikista työvaiheista kertyvä aika on merkittävä. Erityisesti silloin, jos jompikumpi ruuvikoko tai tiivistesilikonit ovatkin loppuneet tai joku näistä on hukassa. Aina on huolehdittava molempien ruuvien riittoisuus, tiivistesilikonin riittoisuus ja työkalujen olemassaolo ja kunto. Pienissä ruuvitorneissa on myös joskus sellaisia valuvirheitä, että ruuvien reikä on ollut tukossa. Kaikkien tällaisten epävarmuustekijöiden pois saaminen nopeuttaisi ja varmistaisi kokoonpanoprosessin toimivuutta.

Kotelon koko, halutut ominaisuudet ja vaatimukset sekä valmistusmäärä huomioidaan ottaen, mekaniikkasuunnittelu tehdään ruiskupuristusmenetelmällä valmistettavana tuotteena. Muovituotteen suunnitteluun ruiskupuristuksella valmistettuna tulee tiettyjä vaatimuksia materiaalin ja muotojen suhteen.

Taulukkoon 2 on koottu valmistuksen ja kokoonpanon vaatimukset. Ominaisuuksien vaatimukset ovat prioriteetiltaan toivomuksia korkeampia, mutta myös toivomukset pyritään toteuttamaan.

Taulukko 2. Valmistuksen ja kokoonpanon vaatimukset

Ominaisuus	Vaatus	Toivomus	Lisätieto
Piirilevyn kiinnitys	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ei erillisiä kiinnityselementtejä ◆ ei saa liikkua kotelossa ◆ väärinpäin asentamisen esto 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ kotelon osien väliin ◆ ei työkalujen tarvetta 	piirilevy oltava kannessa olevaan tarran nähden oikeassa asennossa
Kotelon lukitus	<ul style="list-style-type: none"> ◆ ei erillisiä kiinnityselementtejä 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ painamalla ◆ ei työkalujen tarvetta 	
Tarran kiinnitys	<ul style="list-style-type: none"> ◆ kansiosaan tarralle upotus 		tarran paksuus n. 0,2 mm
Merkinnät	<ul style="list-style-type: none"> ◆ kierrätysmerkki ◆ versio nro. 		
Valmistus	<ul style="list-style-type: none"> ◆ vähintään 1000 kpl 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ edullinen 	valmistusmenetelmä ruiskupuristus

3 LUONNOSTELU

Tässä luvussa käydään suunnittelun ja luonnostelun kautta läpi luvussa 2 muodostetut, taulukoissa 1 ja 2 olevat ominaisuudet. Niitä ei käydä läpi välttämättä samassa järjestyksessä kuin ovat taulukoissa, vaan siinä järjestyksessä kuin asiat tulevat luonnostellessa vastaan. Vaatimuksia läpikäydessä ominaisuuksia esiintyy ristiin muidenkin ominaisuuksien seassa, koska monet ominaisuudet vaikuttavat toisiinsa. Luvun lopussa on ratkaisu, joka on valittu toteutusvaiheeseen.

3.1 Alustava luonnostelu

Nykyisen olemassa olevan kotelon materiaalista saatujen hyvien kokemusten perusteella, luonnosteluun valittiin alustavaksi materiaaliksi ABS-muovi. Luonnostelun alkuvaiheessa ei kiinnitetty juurikaan huomiota valmistettavuuteen liittyviin asioihin, vaan lähdettiin hakemaan erilaisia lukitus- ja tiivistysvaihtoehtoja sekä maksimaalisen pientä kokoa. Suunnittelu tehdään 3D:nä Inventor-ohjelmalla. Kotelon osien valusimuloinnit ja FEM-laskelmat on tehty myös Inventorilla.

Aivan ensimmäiset luonnokset koteloista olivat 1,5 millimetrin seinämällä. Piirilevyn ja kotelon sisäseinän väliin arvioitiin riittävän 0,25 millimetrin toleranssi, jolloin kotelon ulkomitat olivat, 25 x 25 x 9 millimetriä. Näistä koteloista ei ole kuvaa, mutta osien lukitusratkaisut olivat samantyyppisiä, kuin kuvassa 4 olevassa kotelossa A4.1.

Seuraavat luonnokset olivat millimetrin seinämän paksuudella, jolloin koko on 24 x 24 x 9 millimetriä, nämä kotelot ovat kuvassa 4. Koteloiden A3.1 ja A4.1 lukituspykälät olisivat toiminnan kannalta hyviä ratkaisuja, mutta ne hylättiin kalliiden muottikustannusten vuoksi. Sivuille tulevien pykälien ja kolojen tekeminen vaatisi liikkuvia muotin osia, mikä nostaa kustannuksia. Samasta syystä hylättiin myös kotelomalli A5.0. Kotelossa A3.2 ei olisi ollut mitään sivuilla olevia muotoja, vaan siinä lukitus olisi tapahtunut tiukalla sovitteella olevilla kanteen valetuilla tapeilla. Tässä mallissa ongelmalliseksi arvioitiin ohuet lukitustapit. Kun kotelon ulkomitoja ei haluttu suurentaa, olisi tappien paksuus voinut olla vain 1 millimetriä, mikä olisi ollut liian suuri kestävyysriski. Mallista A3.1 tehtiin ensimmäinen pikamalli 3D-tulostamalla, joka oli tulostuslaadullisesti todella hyvä. Pikamallin perusteella

voitiin todeta, että kiinnitysratkaisu olisi ollut toimiva ja kotelo tuntui muutenkin yllättävänkin lujalta ohuista seinämistä huolimatta.



Kuva 4. Kuvasarja kotelon ensimmäisistä luonnoksista. Ylävasen A3.1, Yläoikea A3.2, Alavasen A4.1 ja Alaoikea A5.0

3.2 Koko

Kun kotelon minimikokoa miettii yksinkertaisesti, niin se voi olla sen kokoinen, kun elektronikan mitoista muodostuva kuutio ympäröidään minimiseinämäpaksuudella. Mitoituksessa on kuitenkin huomioitava myös piirilevyn kiinnitys, tiiviysvaatimukset ja kotelon osien kiinnitys/lukitus.

Kuvassa 4 transponderin kotelon sisälle tuleva piirilevy on neliön mallinen, 21,5 x 21,5 millimetriä ja paksuus 1 millimetriä. Piirilevyssä olevat komponentit tarvitsevat myös oman tilansa. Levyn sillä puolella, jossa paristo on, pitää olla tilaa piirilevyn pinnasta lähtien 4,3 millimetriä ja vastakkaisella puolella samoin piirilevyn pinnasta 1,5 millimetriä. Piirilevystä muodostuvan kuution koko on 21,5 x 21,5 x 6,8 millimetriä. Yksinkertaistettuna kotelon minimikoko olisi kuution koko + seinämän minimipaksuus. Mikä sitten olisi minimi seinämäpaksuus?

Ruiskuvalettavien kappaleiden seinämäpaksuudella on ratkaiseva merkitys valun onnistumiseen ja tuotteen laatuun. Vaikutukset kohdistuvat mm. kappaleen sisäisiin jännityksiin ja mittatarkkuuteen. Seinämäpaksuus ei saisi olla liian paksu ja siinä ei saisi olla suuria paksuuden vaihteluita, eikä suuria epäjatkuvuuskohtia. Suuri seinämäpaksuus johtaa suureen kutistumaan, mikä puolestaan aiheuttaa kaasuonteloita ja suuria muodonmuutoksia kappaleessa. Suurissa ainepaksuuseroissa syntyy helposti paksumpiin kohtiin imuja, pintavikoja ja kutistumaonkaloita. Ainepaksuuserot ja kappaleen paksut kohdat yhdessä lisäävät vääntyilyjä ja sisäisiä jännityksiä sekä heikentävät kappaleen mittatarkkuutta. Jos paksuuseroja ei voida välttää, tehdään siirtymäkohdat jouhevaksi. Myös muut epäjatkuvuuskohdat, kuten esim. nurkat, on tehtävä jouheiksi lisäämällä niihin pyöritykset. (Atanasova ss. 1-5)

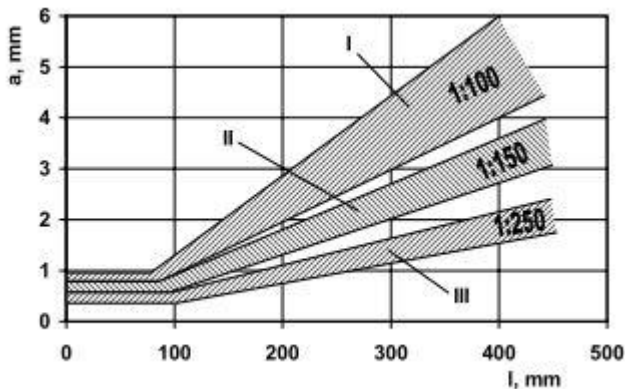
Kappaleen seinämien optimipaksuus on riippuvainen mm. materiaalista, kappaleen koosta, muodosta, käyttötarkoituksesta ja lujuusvaatimuksista. Laatikkomaisen kappaleen seinämäpaksuuksissa nyrkkisääntö on, että pohjan paksuus ja paikalliset paksunnokset eivät saa olla yli kaksinkertaisia, verrattuna sivuseinämien paksuuteen. (Atanasova s. 1)

Kappaleen mittojen perusteella ja taulukon 3 mukaan, seinämävahvuus olisi 0,5 – 1 millimetrin välillä. Edellä mainitun nyrkkisäännön mukaan paksuin kohta kappaleessa saisi olla 2 millimetriä.

Taulukko 3. Seinämäpaksuuden riippuvuus kappaleen mitoista (Atanasova s. 2)

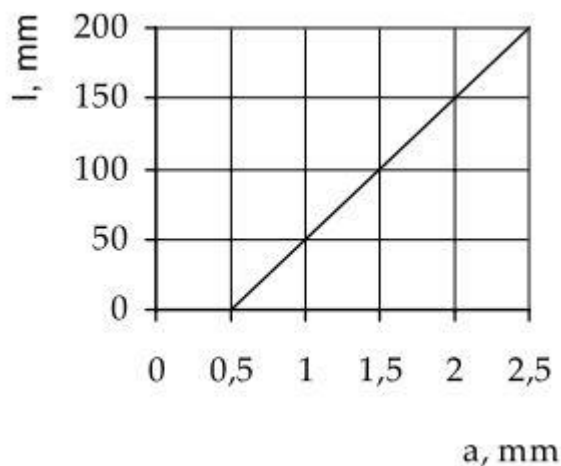
Suorakulmiomaisen kappaleen mitat, (mm)	Sylinterimäisen kappaleen mitat, (mm)	Seinämäpaksuus, (mm)
20 x 20 x 20	Ø20 x 20	0,5
50 x 50 x 50	Ø 50 x 50	1,0
80 x 80 x 80	Ø 80 x 80	1,5
150 x 150 x 150	Ø 150 x 150	2,0
180 x 180 x 180	Ø 180 x 180	2,5
250 x 250 x 250	Ø 250 x 250	3,0
300 x 300 x 300	Ø 300 x 300	3,5
400 x 400 x 400	Ø 400 x 400	4,0

Kaaviossa 1 on seinämäpaksuusohje materiaalista riippuvan virtaavuuden mukaan. Käyrällä 1 on matalan virtaavuuden muovit, esim. PC ja PVC. Käyrällä 2 on keskivirtaavuuden muovit, kuten esim. ABS ja PMMA. Käyrällä 3 on korkean virtaavuuden muovit, joita on mm. PE, PE-HD ja PE-LD. Jos oletetaan että kotelon materiaali olisi ABS, silloin katsotaan käyrää 2, jonka mukaan 0,5 millimetrin seinämävahvuus voisi olla lähes 100 millimetrin kokoiseen kappaleeseen asti.



Kaavio 1. Seinämäpaksuus muovin virtaavuuden mukaan, (Atanasova s. 2)

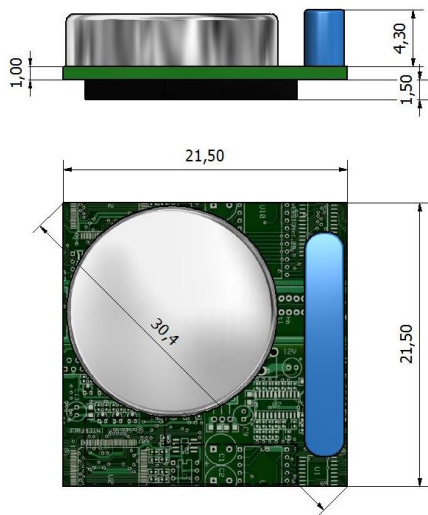
Myös kaavion 2 mukaan kotelon seinämän minimipaksuus olisi 0,5 – 1 millimetriä välillä sopiva. Jos kotelon koko olisi kanttiinsa noin 25 millimetriä, korkeus 8 millimetriä ja ruiskutuspaikka olisi kotelon helmassa, ei silloinkaan tulisi virtausmatkaa kuin 41 millimetriä. Kaavion 2 mukaan, 1 millimetrin seinämävahvuus voisi olla 50 millimetrin virtausmatkalle asti.



Kaavio 2. Minimiseinämäpaksuuden (a) riippuvuus virtausmatkastamuoissa (l), (Atanasova s. 2)

Kotelon seinämäpaksuus voidaan pitää samana, kuin se on viimeisimmissä alustavissa luonnoksissa. Kansi ja pohja ovat 1 millimetrin paksuisia ja sivut myös 1 millimetrin, paitsi kotelon puolikkaiden limityksien kohdalla 0,5 millimetriä. Seinämäpaksuus on taulukon 1 sekä kaavioiden 1 ja 2 mukaan oikealla alueella, samoin ”näppituntuma” kotelon pikamallista oli hyvä.

Kotelon koko olisi siis 24 x 24 x 9 millimetriä. Piirilevyn (kuva 5) reunojen ja kotelon sivujen sisäpinnan väliin jäisi 0,25 millimetrin toleranssi. Pohjan ja piirilevyn välinen (pariston puoli) vapaa tila olisi 4,5 millimetriä, ja kannen ja piirilevyn väliin jäisi 1,5 millimetrin tila komponenteille.



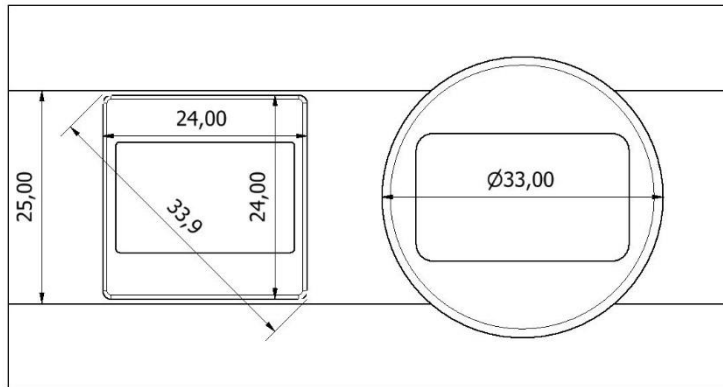
Kuva 5. Piirilevy

3.3 Muoto

Alustavissa luonnoksissa tehtiin kotelosta myös pyöreä malli. Pyöreä kotelo olisi ollut todennäköisesti edullisin valmistaa. Siihen olisi saanut varman ja helposti avattavan lukituksen tekemällä osiin kierteet. Saumojen tiivistys olisi onnistunut myös varmasti ja edullisesti esim. standardi o-renkaalla.

Pyöreä kotelo vie tilaa kuitenkin niin paljon enemmän kuin kantikas, ettei sitä voi hyväksyä. Pyöreän kotelon halkaisija tulee piirilevyn lävistäjän mitasta (kuvassa 5), joka silloin 1 millimetrin seinämällä ja pienellä piirilevyn ja seinämän välisellä

toleranssilla on 33 millimetriä. Niin kuin kuvasta 6 näkyy, 24 x 24 millimetrin kokoinen kantikas kotelo mahtuu huomattavasti pienempään esim. uraan, kuin pyöreä malli.



Kuva 6. Kantikas ja pyöreä kotelo

Kotelossa on oltava piirilevyn asennuksen ja pariston vaihdon vuoksi joko jonkinlainen aukko tai jollakin lailla avattava rakenne. Luonnostelussa esille tulleita ideoita ovat kuvassa 4 olevat mallit, kahdesta kotelon ”puolikkaasta” koostuva rakenne sekä päädyistä avattava, kalvosaranalla oleva läppäkansi ja liu’utettava ohut pohja/kansi.

Päädystä avattava malli ei toimi, koska piirilevy pitäisi silloin työntää kotelon sisään. Piirilevyn tulee olla kotelossa tiukasti kiinni, mikä tarkoittaa sitä, että piirilevylle pitäisi olla jonkinlainen tiukahko ura, johon se päädyistä työnnettäisiin. Se ei ole kuitenkaan mahdollista, koska piirilevy on reunoja myöten täynnä komponentteja. Piirilevyssä on ainoastaan nurkissa 1,5 x 1,5 millimetrin kokoiset alueet vapaana, joista sen voi kiinnittää.

Läppä- ja liukukannessa on molemmissa keskenään samanlaiset ongelmat. Kansi olisi käytännössä lähes pelkkä ohut muovilipare, ilman jäykkyyttä antavia muotoja ja olisi siksi aika heikko sellaisenaan. Toinen ongelma olisi tiiviysvaatimuksen täytyminen. Ohuen muoviläpän ja ohuiden seinämien välinen sauma-kohta olisi hankala saada riittävän tiiviiksi, ainakaan ilman erillisiä tiivistyskomponentteja. Kolmas ongelma olisi piirilevyn tiukkaaminen kotelon sisään, varsinkin liukukannella. Liukukannen työntäminen paikalleen vastaisi samaa tilannetta, kuin jos piirilevy työnnettäisiin kotelon päädyistä sisään.

Kotelon kehittelyä jatketaan neliön mallisena, koska kotelosta saa siten selvästi pienemmän ja ahtaampaan paikkaan aseteltavan. Piirilevyn kiinnityksen vuoksi kotelo on oltava selvästi kaksi osainen niin, että koteloa lukittaessa myös piirilevy lukittuu kotelon sisään ilman vaurioitumisen riskiä.

3.4 Kotelon lukitus

Alustavissa luonnoksissa (kuva 4) olevat lukitusratkaisut hylättiin sen jälkeen, kun löytyi uusi ratkaisu kotelon lukitukselle. Uudessa ratkaisussa A6.1 (kuva 7), lukitus perustuu sisäkkäin menevien osien väliseen tiukkaan sovitteeseen. Tästä mallista tehtiin myös tulostamalla pikamalli, millä voitiin todeta, että kotelo pysyy kiinni. Huonona puolena ratkaisussa on sen vaikea avattavuus, esim. pariston vaihdon vuoksi. Kotelo on kuitenkin avattavissa esim. kahden voimakkaasti kiinnittyvän ”tarran” avulla, joilla molempia puoliskoja hitaasti vetämällä kotelon saa avattua.

Uuden lukitusratkaisun hakeminen sai alkunsa aiemmissa luonnoksissa olevien ns. poikittaisten muotojen pois saamisesta, koska ne nostavat muottikustannuksia. Tässä mallissa ei ole lainkaan muotoja, mitkä vaatisivat muotteihin liikkuvia osia, eikä muitakaan erikoisuuksia.

Kuvassa 7, kotelo A6.1, vasemmalla kotelo osittain kiinni ja oikealla kokonaan kiinni. Kotelon ollessa kiinni se on ympäriinsä sileä, eikä siihen jää näkyviin sellaisia saumakohtia, mihin voisi joku tarttua kiinni ja aiheuttaa kotelon avautumisen. Kotelon ulomman osan paksut sisänurkat jäykistävät koteloa vaikuttaen myös sisäkkäin asennettavien osien välyksien pysymiseen tiukkana. Tämä tehostaa siten kotelon kiinnipysymistä.

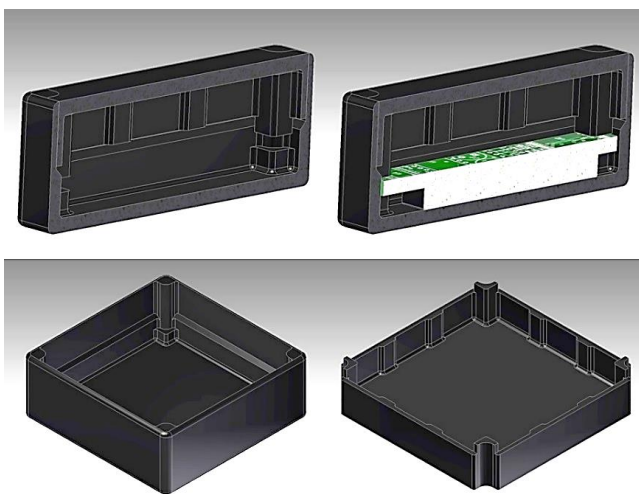


Kuva 7. Kotelomalli A6.1

3.5 Piirilevyn kiinnitys

Kotelon pienen koon vuoksi piirilevyn kiinnitykselle ei oikeastaan jää muuta vaihtoehtoa, kuin puristaa se kotelon osien väliin. Kotelon materiaalivahvuudet ovat niin pienet, ettei erillisiä, kestäviä ja luotettavia kiinnityksiä järkevästi pysty tekemään, ei sen kummemmin snapeilla, kuin millään kiinnityskomponenteillakaan. Kuvassa 8 on kotelosta leikkaus, josta näkyy kotelon nurkissa olevat ”tornit”, joiden väliin piirilevy lukittuu. Ulommaisessa kansiosassa on matalammat tornit, 1,5 millimetrin korkuiset, joidenka päälle piirilevy asetetaan niin päin, että paristo tulee avoimeen aukkoon päin. Sen jälkeen asennetaan kotelon sisempi-, eli pohjaosa paikoilleen, jossa on myös tornit, jotka painavat piirilevyyn sen toiselta puolelta. Sisemmässä pohjaosassa tornin korkeus on 4,5 millimetriä, eli 0,2 millimetriä enemmän kuin elektroniikan komponenttien vaatima tila. Tornien väliin jäävä tila on siis 1 millimetriä, eli saman paksuinen kuin piirilevy. Piirilevy ei ole silloin varsinaisesti puristuksissa, vaan kuitenkin riittävän tiukasti tornien välissä.

Piirilevyn paksuuden toleranssi on $\pm 0,1$ millimetriä, kuin myös leikattujen reunojen, eli levyn mittatoleranssi. Piirilevyn mahdollisista toleranssin sisällä olevista paksuusvaihteluista huolimatta, kotelon ja piirilevyn lukitus toimii ko. ratkaisulla hyvin. Jos piirilevy olisi 0,1 millimetriä ohuempi, painettaisiin kotelon sisäosaa saman verran syvemmälle, jolloin piirilevy olisi yhtä tiukasti kiinni kuin millinenkin levy. Jos heitto on toiseen suuntaan, silloin tietenkin vaikutus päinvastainen. Kotelon sivujen sisäpintojen ja piirilevyn väliin on jätetty 0,25 millimetrin toleranssi.



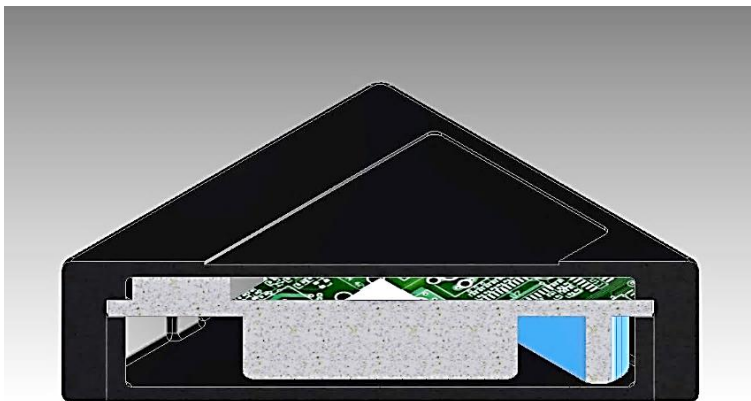
Kuva 8. Piirilevyn lukitus, alavasemmalla ulompi kansiosa, ja alaoikealla sisempi pohjaosa.

3.6 Tiiveys

Osien välinen tiukka sovite, lukituksen lisäksi samalla myös tiivistää kotelon hyvin. Kuvassa 9 näkyy, kuinka ulompi- ja sisempi osa ovat limittäin. Limitys on 4,5 millimetriä, mikä on puolet kotelon koko korkeudesta. Kotelosta 3D-tulostamalla valmistetussa pikamallissa limityksissä ei ollut toleranssia kumpaankaan suuntaan, vaan molemmat tulostettiin niiden nimellismittoihin. Osat menivät kyllä paikalleen, mutta sovitus oli hiukan liian tiukka. Ongelma poistuu toleroimalla liitokseen vaikuttavat mitat. Liian tiukka sovite saattaa aiheuttaa koteloon jännityksiä ja vääntelyitä siten, että sivujen väliin tulee rako, josta vesi vuotaa sisään.

Kuvassa 8, alaoikealla olevassa kotelon sisäosassa, sivujen sisäpinnoilla näkyvät vahvikkeet ovat 0,35 millimetrin paksuiset. Vahvikkeet vaikuttavat lujuuden lisäksi myös tiiveyteen, koska ne tukevat sisäosan sivujen kautta myös kotelon ulkopuolisen osan sivuja, mikä taas auttaa säilymään limittäin olevien tiivistävien pintojen tiukkaa sovitetta.

Kotelon tiiveys testattiin pikamallilla. Suljettu kotelo oli noin vuorokauden 10 litran vesisankon pohjalla. Koteloon ei mennyt vettä, vaan kun paino otettiin pois päältä, nousi kotelo pintaan. Kotelon kehittelyä jatketaan tällä tiivistysratkaisulla.



Kuva 9. Leikkaus kotelon lävistäjälinjasta

3.7 Materiaali

”Materiaalin valinta on prosessi, joka tähtää sellaisen konstruktiomateriaalin valintaan, että vaaditut tuotteen toiminnot voidaan toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti, turvallisesti ja taloudellisesti, siltä osin kuin toimintojen toteutuminen on materiaalista riippuvaista” (Eskelinen, 2012 s. 13).

Materiaalin valinnan merkitys korostuu jatkuvasti enemmän. Materiaalitekniikan nopean kehittymisen myötä materiaalien ominaisuudet kehittyvät ja monipuolistuvat, kuin myös materiaalivaihtoehtojen määrä lisääntyy. Materiaalivalinnan merkitykseen yhä enemmän vaikuttavat myös ympäristöasiat. Koko ajan tiukkenevat ympäristömääräykset ja vaatimukset pakottavat kiinnittämään asiaan enemmän huomiota, mm. tuottajan vastuuta tuotteiden loppukäsittelystä on lisätty. Tuotteen ympäristöystävällinen elinkaari on myös koko ajan enemmän imagoasia ja kilpailuvaltti. Ympäristöystävällisessä ”täydellisessä” elinkaariajattelussa, huomioitaisiin materiaalivalinnassa jo materiaalin valmistus, tuotteen valmistus, pakkaus, myyntilogistiikka, ylläpito, kierrätys ja loppukäsittely. Käytännössä tuskin kukaan tekee materiaalivalintaa näin perusteellisesti, vaan valinnassa tehdään kompromissi, millä saadaan tavoitteisiin sopivin kustannus-laatu-myyntisuhde tuotteelle. (Eskelinen, 2012 s. 3)

Muovituotteiden suunnittelussa, alustava materiaalin- ja valmistusmenetelmän valinta tapahtuu yleensä rinnan. Materiaali pitää valita, jotta suunnittelulle saadaan rakenne- ja mitoituslähtökohdat (Vienamo). Valmistusmenetelmää valittaessa on tiedettävä materiaalin lisäksi tuotteen ominaisuuksien ja vaatimuksien saavuttamisen mahdollisuudet eri menetelmillä. Alustava materiaalin ja valmistusmenetelmän rinnan-valinta tehtiin tässäkin tapauksessa. Materiaalin pääluokan, joka on siis muovi, valinta oli helppo ja on melkeinpä selvyys, kun huomioidaan kotelon vaatimukset ja valmistusmäärä. Samoista syistä myös valmistusmenetelmän valinta, ruiskupuristus, oli aika selkeä. Valmistusmenetelmän valinnan tueksi, kuin myös materiaalivalinnan, löytyy netistä helposti vertailukelpoisia vastaavien tuotteiden valmistusesimerkkejä.

3.7.1 Muovi

Yleisesti muovit, eli polymeerit jaetaan kolmeen pääluokkaan molekyylirakenteen, kemiallisen rakenteen sekä lähtöaineiden mukaan. Molekyylirakenteen mukaan luokitellut ovat osittain kiteisiä muoveja ja amorfisia muoveja. Kemiallisen rakenteen mukaan muovit luokitellaan kertamuoveihin, kestopuoveihin ja elastisiin. Lähtöaineiden mukaan muovit jaetaan synteettisiin, lähinnä öljypohjaisiin muoveihin ja luonnonmuoveihin, kuten puusta tehtävään selluloosa-asetattiin tai kaseiiniin, joka tehdään maidosta. Kestomuovit jaotellaan vielä käyttömäärien ja ominaisuuksiensa mukaisesti luokkiin, paljon käytettyihin valtamuoveihin, lujempaan teknisiin muoveihin ja erikoismuoveihin. (Muovimuotoilu)

Alustavasti valmistusmateriaaliksi valittu ABS, eli akrylonitriili butadieeni styreeni, kuuluu molekyylirakenteen mukaiseen luokkaan amorfiset muovit, kemiallisen rakenteen mukaan luokkaan kestopuovit ja lähtöaineiden mukaiseen luokkaan synteettiset muovit. Kestomuovien sisäisen luokituksen mukaan ABS kuuluu teknisiin muoveihin. ABS valittiin alustavaksi materiaaliksi siksi, koska entisessä koteloissa on sama materiaali, joka on todettu hyväksi ja toimivaksi. Materiaalin sopevuudesta sai myös hyvän käsityksen ja näkemyksen vertailemalla vastaavien tuttuun tuotteiden valmistukseen käytettyjä materiaaleja.

ABS on muovilaadun lyhenne, joka tulee peruspolymeeriensä nimistä. Ne muovit, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta monomeerityypistä, kuten ABS kolmesta, ovat kopolymeereja. Jokainen muoviseosten valmistaja nimeää omat muovimateriaalinsa kauppanimillä, esim. teflon, nailon ja bakeliitti. (Kaarlo;ym., 2001 ss. 192-195)

Erittäin harvoin työstetään tai valmistetaan mitään aivan puhtaasta peruspolymeristä. Normaalisti raaka-aineeseen on lisätty eri lisäaineita ominaisuuksien parantamiseksi, erilaisiin käyttötarpeisiin ja tilanteisiin. Yleisiä lisäaineita ovat esim. voiteluaineet, jotka helpottavat tuotteen ulostyöntöä muotista sekä väriaineet ja palonestoaineet. Jäykkyyttä pystytään parantamaan esim. lasi- ja hiilikuiduilla, iskulujuuden parantamiseksi käytetään sitkistysaineita, ja esim. UV-stabilisaattorilla pystyy parantamaan suojaa auringon valolta ja sään vaikutuksilta. (Muoviplast 01/12, 2009 s. 26)

3.7.2 Vaatimukset

Muovituotteen enneaikainen vaurioituminen on usein seurausta väärin valitusta muovimateriaalista. Kuvassa 10 olevan kaavion vauriovaihtoehdoista, väärä materiaalivalinta on suurin enneaikaisten vaurioiden aiheuttaja. Siksi materiaalivalintaan pitää kiinnittää suurta huomiota laatimalla materiaalille erikseen oma vaatimuslista huolellisesti. (TTY, 2010 s. 18)



Kuva 10. Ruiskuvalettujen muovituotteiden enneaikaisen vaurioitumisen syyt, (TTY, 2010 s. 28).

Luvussa kaksi taulukoiduilla ominaisuuksilla ja vaatimuksilla on lähes kaikilla jonkinlainen yhteys materiaalin ominaisuuksiin. Materiaalin lähes kaikki tekniset ominaisuudet (taulukko 4) vaikuttavat fyysisesti pienen, tarkkuutta vaativan kappaleen laadullisesti onnistuneeseen ja ko. vaatimukset täyttävään toteutukseen. Kotelon ominaisuuksista muodostuneiden materiaalivaatimusten vastaavuutta materiaalin teknisiin ominaisuuksiin on verrattu taulukossa 4.

Kotelon päätarkoitus, elektroniikan suojaaminen, muodostaa materiaalille kolme toiminnan ja käytön päävaatimusta. Materiaalin fyysinen kestävyys, materiaalin stabiilius, lähinnä tiiviyden ja lukituksen vuoksi sekä sähköiset ominaisuudet, jotka ovat tässä tapauksessa ratkaisevia tuotteen toiminnan kannalta. Lähes kaikki taulukon 4 materiaalin mekaaniset-, termiset- ja fysikaaliset ominaisuudet yhdessä, vaikuttavat fyysiseen kestävyteen ja stabiiliuteen sekä sähköiset ominaisuudet transponderin varsinaiseen toimintaan. Lisäksi valmistettavuuteen sekä osittain tuotteen laatuun, vaikuttavat myös materiaalin fysikaaliset ominaisuudet, esim. materiaalin sulajuksevuus, millä ohutseinämaisissä rakenteissa

on merkittävä vaikutus. Ruiskuvalettavan kappaleen mittatarkkuuden yhtenä vaikuttimena on materiaalin muottikutistuma, mihin vaikuttavat myös monet valuprosessin parametrit.

Taulukko 4. Kotelon materiaalivaatimukset vs. materiaalin ominaisuudet

Kotelon ominaisuudet	Vaatimus		Materiaalin tekniset ominaisuudet	
Koko Muoto Piiirilevyn kiinnitys Kotelon lukitus Tiiveys Lujuus Käyttö	<ul style="list-style-type: none"> – pieni koko, ohuet seinämät – tarkkoja yksityiskohtaisia muotoja ja sovituksia – piirilevyn paikoitusmuodot – kotelon lukitussovitus ja tiiveys – muodon pysyminen – pieniä tarkkoja muotoja, pienet toleranssit – tarkka sovite, muodon pysyminen, tiukkuuden säilyminen – pinnan laatu, muodon ja sovitteen pysyminen – toiminnan ja käytön rasitukset – putoamiset, pienet iskut – normaali käsittely, kiinnitys-voimat – lämpötilanvaihtelut 	Mekaaniset	Jäykkyys	Kimmokerroin Taivutuslujuus
			Lujuus	Myötöraja Vetolujuus
			Sitkeys	Murtovenymä
			Hauraus	Charpy iskulujuus Izod iskulujuus
			Loviherkkyys	Charpy lovi-iskulujuus Izod lovi-iskulujuus
			Pakkashauraus	Charpy lovi-iskulujuus (-40 C°)
			Kovuus	Shore A/B Kuulapuristuskovuus
			Kotelon lukitus Tiiveys Lujuus	<ul style="list-style-type: none"> – käyttölämpötila-alue -10...50 C° – sovitteen pysyminen tiukkana – mekaanisten ominaisuuksien säilyminen lämpötilanvaihtelu-alueella
	Muodonpysyvyyttä lämpötila	Fisco/A, Vicat/B		
	Lämpölaajeneminen	Lin. lämpölaajenemiskerroin		
Käyttö	<ul style="list-style-type: none"> – radioaallon hyvä läpäisevyys – häiriöiden suojaus – t:n tunnistusetaisyys 	Sähköiset	Sähkömagneettisen säteilyn vaimennus	Dielektrinen häviökerroin
			Eristävyys	Ominaisvastus Läpilyöntilujuus
Valmistus Muoto Kotelon lukitus Tiiveys Lujuus Käyttö	<ul style="list-style-type: none"> – ohuet seinämät => muotin täyt. – tarkat toleranssit – muodossa pysyminen – tiukan sovitteen säilyminen – hetkellisesti öljyn ja bensiinin kesto – tyylikkään ulkonäön säilyminen 	Fysikaaliset	Sulajuoksevuus	MFR
			Mittatarkkuus	Muottikutistuma
			Veden imeytyminen	Veden imeytyminen Kosteuden imeytyminen
			Kemiallinen kestävyys	Öljy, Bensiini
			UV-kesto	UV-stabilisoitu
			Paino	Tiheys

Kotelomateriaalin mekaanisista ominaisuuksista tärkein on myötöraja sekä jäykkyyden määrittelevä kimmokerroin. Mitä korkeampi myötöraja on, sitä enemmän materiaali sallii taivutusta ilman pysyviä muodonmuutoksia sekä rikkoontumisraja on suurempi. Kotelon lukitussovitteen ja tiiveyden toiminnan kannalta tärkeä ominaisuus on materiaalin jäykkyys, minkä määrittää kimmokerroin. Termisistä ominaisuuksista tärkein on muodonpysyvyyslämpötila, mikä myös vaikuttaa ääriolosuhteissa lukitussovitteen ja tiiveyden säilymiseen. Kotelon tiiveys- ja lukitusominaisuuksien säilymiseen, materiaalin fysikaalisista ominaisuuksista eniten vaikuttaa veden absorptio, eli veden imeytyminen materiaaliin.

Valmistettavuuden kannalta tärkeimpiä materiaaliominaisuuksia ovat materiaalin sulajuoksevuus ja muottikutistuma. Sulajuoksevuus vaikuttaa ohutseinämissä rakenteissa ruiskuvalun laatuun, kappaleen muotoilun ja ruiskutusparametrien kanssa. Huonosti juoksevilla materiaaleilla syntyy helpommin ilmataskuja ja kylmäsaumoja, kuin hyvin juoksevilla. Muottikutistuma vaikuttaa suoraan kappaleen mittatarkkuuteen, joka ko. tapauksessa on tärkeä tekijä.

Muita huomioitavia ominaisuuksia ovat kemikaalien kesto, UV-säteilyn kesto, värien saatavuus ja materiaalien saatavuus. Kaikki edellä mainitut materiaaliominaisuudet on tarkistettava aina erikseen tapauskohtaisesti, ne vaihtelevat samassa peruspolymeerissäkin, riippuen materiaalin lisäaineistuksesta ja valmistajasta. Tässä tapauksessa näistä ominaisuuksista saatavuuden lisäksi tärkein on halutun värin saatavuus. Transponderin asennuspaikat ovat sijainniltaan sellaisia, että kemikaalin- ja UV-säteilyn kesto eivät ole kriittisiä, näistä kuitenkin UV:n kesto tärkeämpänä. Tässä kemikaalien kestolla tarkoitetaan bensiinin ja voiteluöljyjen kestoja, joihin kotelo joutuu kosketuksiin vain poikkeustilanteissa, niissäkin hetkellisesti.

Materiaalien ja niiden ominaisuuksien vertailuun käytettiin mm. Prospector:in materiaalinhakukonetta, jossa on yli 103000:n muovimateriaalin maailmanlaajuinen materiaalitietokanta. Hakukone mahdollistaa materiaalivertailun niiden ominaisuuksien perusteella, mikä helpottaa karkeaa vaihtoehtohaarukointia huomattavasti, verrattuna ominaisuuksien lukuarvoilla tehtyyn vertailuun. Materiaaliominaisuuksien vertailu niiden lukuarvojen perusteella on erittäin työlästä, koska

ominaisuuksia ilmoitetaan eri standardeilla mitattuina sekä ilmoitettujen ominaisuuksien määrä ja valikoima vaihtelevat valmistajittain ja tuotenimikkeittäin suuressi.

Materiaalien ominaisuuksien vertailun perusteella, kotelolle parhaat materiaali- vaihtoehdot olisivat ABS ja ABS+PC. Näiden parhaita puolia ovat nimenomaan sähköiset ominaisuudet, lujuusominaisuudet, jäykkyys, iskulujuus sekä mittatarkkuus. Muottikutistuma on ABS:lla polymeereistä pienimmästä päästä, kuin myös veden absorptio. Erilaisilla polymeeriyhdistelmillä ja lisäaineilla saadaan parannettua lujuutta ja palonkestoa sekä kemikaalien ja UV:n kestoa, jotka ovat ABS:n huonoimpia puolia. Lopullinen materiaalivalinta tehdään seuraavassa toteutusta käsittelevässä luvussa 4.

Yhteenvetona, transponderin kotelon materiaalivalinnan tärkeimmät kriteerit ovat tärkeysjärjestyksessä, sähköön läpilyöntilujuus, ominaisvastus, myötöraja, kimmoduuli, muodonpysyvyysläpötila, veden absorptio, sulajuoksevuus, muottikutistuma, väri, UV-kesto ja kemikaalien kesto. Yhteensä 12 ominaisuutta.

3.8 Lujuus

Transponderin kotelolle on vaikea määrittää täsmällisiä, esim. lukuarvoihin perustuvia lujuusvaatimuksia. Käytännössä todennäköisimmät lujuutta vaativat tilanteet ovat normaali peruskäsittely, kokoonpano, käsistä putoaminen, transponderin kiinnitystilanne, kotelon avaaminen ja ulkoradoilla kiven iskut. Näiden kaikkien tilanteiden mallintaminen ja analysointi olisi mahdollista nykyaikaisilla simulointiohjelmilla, joilla saisi hyvinkin tarkat tulokset kotelon käyttäytymisestä ja lujuuksista eri tilanteissa. Tällaisia ohjelmia ei kuitenkaan ollut käytettävissä, eikä kustannussyistä ole järkevää ko. tuotteen volyyymitasolla teetättää alihankintana-

Kotelon viimeisimmässä ratkaisussa, koteloa sulkiessa, kotelon puoliskot painetaan sormien välissä kiinni, eli pohjaosa kansiosan sisään, jolloin molempien osien suurimpien ja tasaisten pintojen on kestettävä sulkemiseen tarvittava

voima. Sulkemistilanteessa suurin vastus tulee osien välisestä tiukasta sovitteesta, jota on käytettävä kiinnipysymisen ja tiiviiden vuoksi. Suunnittelun tässä vaiheessa tämän tilanteen kestävyys luotetaan pikamallista saatuun näppituntumaan. Pikamalli on tehty 3D-tulosteena PLA-muovista. Vaikka pikamallissa osien väliset toleranssit olivat ”ylitiukat” ja PLA on materiaalina hiukan heikompaa kuin ABS, kesti kotelon osat silti hyvin painaa kiinni. Kansiosan pinta kyllä joustaa hiukan, mutta ei niin paljon, eikä liian herkästi, jotta sen voisi olettaa olevan kestävyysriski. Joustoa kansiosan pintaan tulee pohjaosaan nähden enemmän, koska kansiosa ei ole muotoilultaan yhtä jäykkä kuin pohjaosa ja pinnassa on tarran upotus. Kansiosan ollessa päällimmäisenä, sen ohuet ja korkeat sivut pääsevät pullistumaan ulospäin, kun kantta painetaan tarrapotuksen kohdalta.

Pikamallilla on testattu kotelon iskunkestävyyttä pudottamalla koteloa normaalille muovimattopäällysteiselle betonilattialle. Testien aikana kotelossa oli elektronikka ja paristo paikallaan. Testaus tehtiin pudottamalla koteloa käsistä lattialle noin 1,5 metrin korkeudelta kymmenen kertaa. Kotelon asento lattiaan osuessaan oli satunnaista ja vaihtelevaa, niin kuin tositilanteissakin. Pudotuksista ei havaittu tapahtuvan kotelolle mitään muutoksia.

Koteloa kiinnittäessä autoihin tai niistä irrottaessa saattaa huolimattomalla käsittelyllä kotelo vaurioitua. Kotelo on tarkoitettu ensisijaisesti asennettavan pohjaosaan kiinnitettävällä Velcro-tarranauhan avulla. Tarranauhan kiinnitysvoima on parhaimmillaan niin kova, että irrotustilanteessa kotelo saattaa avautua tai jos irrotus tapahtuu pelkästään kansiosaa puristamalla ja siitä vetämällä, kansiosan vaurioitumisriski on silloin suuri. Kansiosan sivuja liian suurella voimalla puristaen koteloon saattaa jäädä muodonmuutos, jolloin se ei enää täytä tiiviysvaatimuksia. Muodonmuutosrasituksien ollessa alle myötörajan, palautuu kotelon muoto ennalleen. Palautumisaika on riippuvainen lämpötilasta, jossa palautuminen tapahtuu. Toinen kiinnitystapa saattaa olla kotelon teippaaminen liimateipillä kiinni johonkin ulkoiseen rakenteeseen. Jos teippi vedetään liian tiukalle kansiosaa puristaen, puristusvoiman ollessa tarpeeksi suuri, voima aiheuttaa koteloon muodonmuutoksia lähinnä kansiosan sivuihin, jolloin tiiveys heikkenee. Muodonmuutosten ilmaantumisen herkkyyks korostuu kotelon ollessa epätasaisella alustalla. Muodonmuutosta aiheuttavan voiman suuruus lasketaan toteutusvaiheessa.

Asennusohjeissa oleva maininta asiasta ja ilmoitettu maksimipuristusvoima auttaisi kiinnittämään huomiota kiinnityksen huolellisuuteen. Maksimipuristusvoiman ilmoittaminen antaisi myös jonkinlaista tuntumaa kotelon kiinnitysvoimiin.

Kiveniskujen sietokykyä tai yleensäkkään iskulujuutta, ei testattu, eikä simuloitu pudotuskokeen lisäksi mitenkään. Testaaminen olisi myös täysin hyödytöntä, koska kotelon muut tärkeät vaatimukset sanelevat fyysistä kokoa, mitkä vaikuttavat suoranaisesti mahdollisuuteen toteuttaa koteloa iskulujuudeltaan kiveniskuille riittävän lujana. Eikä niin vahvan kotelon valmistaminen olisi muutenkaan järkevää. Kiveniskut ym. vastaavat tapaukset ovat kuitenkin niin harvinaisia poikkeustapauksia, ettei niiden vuoksi kannata tehdä muihin vaatimukseen nähden epäedullisempaa toteutusta. Transponderin asennusohjeissa olisi myös tästä mahdollisesta vaurioriskistä hyvä olla maininta, jossa kehoitetaan valitsemaan suoja-ainen asennuspaikka tai mahdollisuuksien mukaan suojaamaan transponderia.

3.9 Merkinnot

Tuotteiden käyttötarkoitus, kohteet, käyttäjäkunta, viranomais määräykset ja lait, ym. tekijät, saattavat edellyttää erilaisten merkintöjen ja tietojen esittämistä tuotteissa. Muovituotteissa varmaankin yleisimmin ja eniten käytetty merkintä on tuotteen yksilöivä tunnus, useimmin kirjainten ja numeroiden yhdistelmästä muodostettu koodi, millä tuote pystytään yksilöimään koko elinkaaren ajan, tuotannosta loppukäyttäjälle asti.

Merkintätapoja on myös useita. Ruiskuvalettavissa volyymituotteissa käytetään usein erikoistekniikkaa, kuten IML (In-Mould Labeling) tai IMD (In-Mould Decorating), joilla ruiskuvalun aikana tuotteeseen liitetään esim. viivakoodi, kuva tai kuvio. Merkintöjä tehdään myös jälkikäsittelyinä, joista yleisimpiä ovat lasermerkaus, tarra tai tampopainatus. IML ja IMD ovat muovituotteen pintakuviointimenetelmiä. (TTY, 2010 s. 85)

Tuotteisiin tulevia yksinkertaisia ja muuttumattomia merkintöjä tehdään usein valumuotteihin, joista ne tietenkin kopioituvat tuotteeseen. Yleensä muottimerkin-

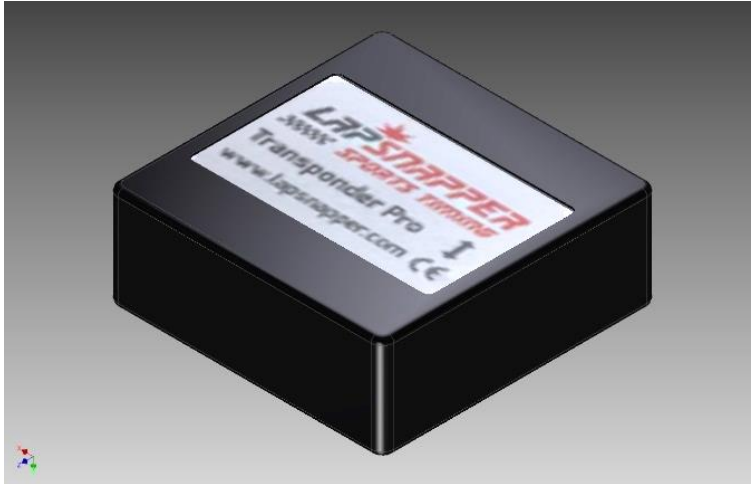
tänä tehdään tuotteen yksilöivä koodi sekä kierrätysmerkki ja valmistumisaikakello. Yhteistä kaikille merkinnöille on se, että mekaniikkasuunnittelijan on määrittävä mitä merkintöjä tarvitaan ja mihin merkinnät voi tehdä. (TTY, 2010 s. 84)

3.9.1 Tarran kiinnitys

Kotelon kansiosaan tuleva tarra on toimintavaatimusten sanelema merkintä (kuva 11). Siinä tuotteen logon ja web-osoitteen lisäksi on yksi käyttöä koskeva tärkeä tieto. Tarrassa oleva kaksipäinen nuoli osoittaa transponderin asennussuunnan. Transponder on asennettava autoon niin, että nuoli on menosuuntaan. Transponderin sisälle tuleva elektroniikka on myös asennettava tarraan nähden oikein päin niin, että elektroniikassa oleva eräs komponentti tulee nuolen suuntaan. Tämä johtuu siitä, että tämän erään komponentin pitää ylittää radassa oleva magneettiraita oikeassa suunnassa, eli risteävästi. Toisin sanoen, jos tämä komponentti olisi autossa samassa suunnassa radassa olevan magneettiraidan kanssa, ei ajanotto toimisi.

Tarran koko on 21 x 13 millimetriä ja paksuudeksi on mitattu 0,2 millimetriä. Kannen keskelle tehdään tarran kokoinen 0,2 millimetriä syvä upotus, mihin tarran voi kiinnittää. Upotus tehdään siksi, ettei siitä jää pintaan pykälää, mihin jokin voisi tarttua ja irrottaa tarran. Kannen paksuudeksi tarran kohdalla jää 0,8 millimetriä. Pikamalla käsitellessä ei havaittu, että upotus olisi heikentänyt merkittävästi rakennetta.

Kanteen tuleva tieto tulee tarralla siksi, koska tarrat ovat paljon edullisempia valmistuttaa, kuin esim. vastaavan tiedon painattaminen ruiskuvalun yhteydessä. Tarraa vastaava kuvio olisi mahdollista tehdä kannen pintaan ilman upotusta, esim. IML tai IMD-tekniikoilla ruiskuvalun yhteydessä, mikä kuitenkin ko. valmistusmäärissä tulisi kalliiksi. Kotelo saattaa joutua myös sellaiselle rasitukselle, jossa pintaan painettu kuvio saattaisi kulua pois, mikä voisi aiheuttaa transponderin virheellisen orientaation. Tilaaajalla on tarrasta aikaisempia hyviä käytännön kokemuksia, sen liima on pitänyt hyvin ja materiaali on ollut kestävä. Tarran upottaminen pinnan tasalle parantaa tilannetta vielä entisestään.



Kuva 11. Tarran kiinnitys kanteen

3.9.2 Muut merkinnät

Transponderin kotelo on tuotteena sen tyyppinen, etteivät mitkään standardit, eivätkä määräykset edellytä tekemään siihen mitään merkintöjä. Tilaaja haluaa vähintään kotelon toiseen osaan kokoonpanoon yksilöivän tunnuksen, versionumeron, joka tässä ensimmäisessä tapauksessa olisi v1.0. Toimeksiantajan ajatus on, että versionumero muuttuisi vai siinä tapauksessa, jos kotelo muuttuu jollakin tavalla, eli merkintä ei ole ns. valmistumisaikakello. Tuotantoerien erottelu ja seuranta toteutetaan muulla tavalla toimeksiantajan järjestelmissä. Ko. tuotteessa versiomerkinnällä ei ole merkitystä tuotteen toiminnan kannalta, koska kotelon puoliskoista molemmat osat valmistettaisiin aina pareina samassa tuotantoerässä, jolloin osien yhteensopivuus testataan joka kerta erikseen, aina uuden tuotantoerän alussa. Arvioiden mukaan valmistuserien suuruus olisi noin 1000 koteloa kerralla, jolloin valmistumisaikakelloa käytettäessä muottimerkinnän saattaisi joutua vaihtamaan aika useinkin, joka lisäisi kustannuksia.

Toisena merkintävaatimuksena on kierrätysmerkki, mikä ko. tapauksessa tarkoittaa pelkästään kotelon muoviosia, eikä koko tuotetta, sen elektroniikkaa ja paristoa. Kierrätysmerkki ei ole pakollinen merkintä, mutta hyvän tavan mukainen. Vastuullisena tuottajana Arctic Coders haluaa, että elinkaarensa päässä tuotteen loppukäsittely olisi asianmukainen.

3.10 Valmistus

Transponderin kotelosta muodostuu vaatimustensa vuoksi tyypillinen ruiskuvaluna valmistettava tuote. Se on tässä tapauksessa varmastikin ainoa mahdollinen valmistusmenetelmä, millä päästään vaadittuihin ominaisuuksiin samalla kustannus-volyymisuhteella. Tässä kotelossa ruiskupuristusvalmistukselle tyypillisiä ominaisuuksia ovat pieni fyysinen koko, jossa ohuet seinämävahvuudet sekä tiiviiden ja lukituksen vaatima mittatarkkuus. Tuotteen tulisi olla myös visuaalisesti siisti ja laadukas. Tuhannen kappaleen valmistusmäärä puoltaa myös ruiskupuristusvalmistusta, jota tosin pidetään myös ruiskuvalutuotannon kannattavuuden minimi sarjakokona.

Ruiskuvaluttavan muovituotteen muotoilulla on ratkaiseva merkitys muotintuotukseen, ruiskuvaluprosessiin ja tuotteen lopulliseen laatuun. Tässä käydään läpi ko. kotelon suunnitteluun eniten vaikuttavia tekijöitä.

3.10.1 Materiaalipaksuus

Suuret materiaalipaksuuserot ja raaka-ainekertymät aiheuttavat imuja, pintavikoja, kutistumiskaloita ja pidentävät sykliä. Materiaalipaksuuksien terävät muutoskohdat saattavat aiheuttaa niinkin suurta jännitysten muodostumista, joka rikkoo kappaleen. Myös seinämäpaksuus on yksi tärkeimmistä huomioitava asioista. Seinämäpaksuuden on oltava mahdollisimman pieni ja tasainen. (Nykänen, 2007 s. 6) Viimeisimmässä luonnoksessa A6.1, seinämäpaksuudet ovat 0,5 ja 1 millimetriä, mikä on käytettyjen ohjeiden mukaisesti, kolmen kriteerin mukaan minimissä, mutta kuitenkin ko. kokoiselle kappaleelle ja suunnitellulle materiaalille sopivalla alueella. Kotelossa A6.1, mahdollinen riskipaikka on kansiosan vahvemmat nurkat. Niissä voi sanoa olevan jonkin verran ns. ainekertymää, joista saattaa aiheutua valuvaurioita. Nurkkien käyttäytyminen tarkistetaan tekemällä kappaleille täyttymisanalyysi.

3.10.2 Päästöt ja kulmat

Ruiskuvalutuotteissa käytetään päästökulmia kappaleen irtoamisen helpottamiseksi valumuotista. Päästökulman suuruus riippuu mm. pinnanlaadusta, mah-

dollisesta kuvioinnista ja materiaalista. Yleensä suositellaan käytettäväksi vähintään 0,5 asteen päästökulmaa, mutta enimmäkseen käytetään 1,5 – 3 asteen päästöjä. (Nykänen, 2007 s. 7)

Ruiskuvalettavissa kappaleissa on vältettävä teräviä kulmia. Kaikki kulmat pitäisi pyöristää, mikä on erittäin tärkeää etenkin loviherkillä materiaaleilla. (Nykänen, 2007 s. 7) Amorfista muovia käytettäessä, jota ABS:kin on, myös jännityssäröilyriski kasvaa hyvin suureksi. Terävä ulkonurkka vaikeuttaa muotin täyttymistä ja sen kohdalle voi syntyä imuja. Jo pienetkin pyöristyssäteet nurkissa parantavat tilannetta merkittävästi. (TTY, 2010 s. 49) Erään suunnitteluohjeen mukaan minimi pyöristyssäde olisi 0,25 x materiaalipaksuus, mikä pitäisi vähintäänkin olla mahdollista toteuttaa näissä osissa joka paikkaan.

3.10.3 Muuta huomioitavaa

Vaikka jakotasosta päättäminen kuuluukin pääasiassa muottisuunnitteluun, on kuitenkin mekaniikkasuunnittelijan ymmärrettävä ja tiedostettava asia, jotta kappaleesta yleensäkin löytyy jakotaso ja kappale on mahdollinen valmistaa. Samoin myös ulostyöntöpaikkojen ja syöttöpisteen/pisteiden paikat. Tässä vaiheessa nämä asiat on tiedostettu ja alustavasti huomioitu, mutta käydään tarkemmin läpi toteutusvaiheessa, kuin myös muut luvussa 3.10 edellä esitetyt asiat.

3.11 Kustannukset

Muovituotteen valmistuttamisen kokonaiskustannuksista ei löydetty sellaisia esimerkkejä, jossa olisi tuotantokustannusten lisäksi mukana tuotekehityksen kustannukset. Yhdessä löydetyssä esimerkissä esitetään erään tuotteen valmistuskustannukset ja niiden tekijät sekä tuotantoerän suuruuden vaikutus tuotteen kappalehintaan.

Esimerkissä (taulukko 5) on laskettu 6,1 grammaa painavan muovituotteen ruis-kupuristustyökalan valmistuskustannukset. Esitetyissä yksikköhinnoissa on mukana kaikki työvoima- ja laitteiden käyttökustannukset. Työkalan valmistaminen sisältää lankasahausta ja kipinätyöstöä yhteensä 40000 neliömillimetriä. Taulukossa 5 olevat komponentit ovat muotin standardiosia, joita muotin rakenteessa

laajimmillaan voi olla 95 prosenttia. Yleensä standardiosia pyritään käyttämään mahdollisimman paljon, mikä takaa hyvän huollettavuuden ja varaosien nopean saatavuuden. (Aalto-yliopisto ss. 1-11)

Esimerkissä on laskettu tuotetun kappaleen ruiskutusprosessin hinnaksi 0,36 euroa kappaleelta, joka sisältää palkka- ja sosiaalikulut. Lisäksi tulee huolto- ja käsittelykulut 0,03 euroa kappale sekä materiaalin osuus 0,013 euroa kappale, materiaalin kahden euron kilohinnalla. Ruiskutusprosessin kokonaishinta materiaaleineen on siten 0,40 euroa kappale. Tuotantoerän suuruus vaikuttaa muovituotteen lopulliseen yhden kappaleen kokonaishintaan erittäin paljon, koska muotintuotteen valmistuskustannukset jakaantuvat kokonaan tuotetulle kappalemäärälle. Esim. 1000 kappaleen tuotantoerässä kappalehinnaksi tulee 8,776 euroa, kun 5000 kappaleen tuotantoerässä valmiin kappaleen hinta on 2,075 euroa, mikä on 76 prosenttia pienempi kuin tuhannen kappaleen erässä. (Aalto-yliopisto ss. 1-10...1-11)

Taulukko 5. Muottikustannukset, (Aalto-yliopisto ss. 1-8...1-9)

Kustannuslaji	á	€/á	n · á	Summa yht. €	Osuus kok. %
Suunnittelu (muotti)	h	50	50	2500	30
Koneistus	h	59	40	2360	28
Lankas. ja kipinät.	mm ²	0,02	40000	800	10
Typetyt	h	50	18	900	11
Kokoonpano	h	30	14	420	5
Komponentit	yht.	1	1396	1396	17
Yhteensä				8376	

3.11.1 Pikamalli

Pikamalleja valmistutettiin 3D-tulosteina kaikkiaan kolmesta luonnosteluvaiheen eri koteloversiosta. 3D-tulostusta kokeiltiin ensin tulostimella, minkä tulostustarkkuus oli 0,1 millimetriä. Se ei ollut riittävän tarkka näin pienelle ja tarkkuutta vaativalle kappaleelle. Seuraavalla löydetyllä pikamallinvalmistajalla, jolla kotelot tulostettiin, oli tulostimen X - ja Y-akseleiden liiketarkkuus 42 mikrometriä ja Z-akselin 16 mikrometriä, mikä on myös samalla minimikerrospaksuus. Tulosteet olivat todella tarkkoja ja palvelivat erittäin hyvin pikamallin tarkoitusta. Yhden tilauk-

sen hinta oli 92,70 euroa, joka sisälsi viiden samanlaisen kotelon kansi- ja pohjaosat. Yhden osan kappalehinnaksi tulee 9,27 euroa ja kotelon hinnaksi 18,54 euroa kappaleelta. Hyvän tulostustarkkuuden, palvelun ja kohtuullisen hinnan vuoksi muita tarjouksia ei kysytty.



Kuva 12. 3D-tulostettu kotelo A6.1

3.11.2 Ruiskupuristus

Kotelon varsinaisesta valmistuksesta, ruiskupuristuksesta, kyseltiin tarjouksia kolmelta kotimaiselta ja kahdelta ulkomaalaiselta valmistajalta. Tarjouskyselyitä tehtiin kaksi eri kierrosta. Ensimmäinen kierros tehtiin kuvassa 4 olevalle kotelolle A3.1, jossa oli lukitusratkaisun vuoksi poikittaisia muotoja, jotka olisivat edellyttäneet muotteihin liikkuvia keerna- ja pesäosia. Toinen tarjouskyselykierros on kuvassa 12 olevasta kotelosta A6.1, jonka pystyy valmistamaan ns. luonnollisella muotilla. Taulukossa 6 esitetään tarjoukset ja niiden vertailua.

Taulukossa 6 on tarjoukset ensimmäiseltä ja toiselta tarjouskyselykierroksilta. Kaikki taulukossa esitetyt hinnat ovat arvolisäverottomia hintoja, kuin myös mahdollisesti työssä muuallakin esitetyt euromääräiset summat. Tarjouksista on eritelty muotin osuus, varsinaisen ruiskutuspuristuksen hinta/kotelo, tilauksen koteloiden minimimäärä, tilauksen kokonaissumma sekä kokonaissummasta laskettu kotelon todellinen kappalehintaa. Kallein on punaisella ja halvin sinisellä fontilla. Kierroksella 1 kotimaa 1 ei jättänyt tarjousta, vaan kehotti hakemaan muotoilun ja lähinnä lukituksen suhteen sellaisia ratkaisuja, että valmistamiseen riittäisi

luonnollinen muotti. Toisella kierroksella kotimaa 3 jätti tarjoamatta uudestaan. Kotimaisista valmistajista oli aistittavissa kiinnostumattomuus näin pienien sarjojen valmistamiseen. Kotelon muotoilun vaikutus näkyi halvemman ulkomaalaisen tarjouksessa paljon voimakkaammin, kuin kotimaisen 2:n, joka on kotimaisista ainoa tarjoaja molemmilla kierroksilla. Kotimaa 2:n hinta muuttui toisella kierroksella 14,91 prosenttia, kun ulkomaisen 2:n hinta muuttui 31,61 prosenttia edullisemmäksi.

Taulukko 6. Kotelon ruiskupuristuksen tarjoukset

TARJOUKSET						
Kyselykierros	Tarjoaja	Muotti	a'/kpl	min. kpl	yht.	yht./kpl
Kierros 1	Kotimaa 1	ei tarjousta				
	Kotimaa 2	4700,00	0,330	1000	5030,00	5,03
	Kotimaa 3	3800,00	0,260	1000	4060,00	4,06
	Ulkomain. 1	2393,42	0,104	4000	2809,42	0,70
	Ulkomain. 2	1905,87	0,119	6000	2619,87	0,44
Kierros 2	Kotimaa 1	6300,00	0,450	2000	7200,00	3,60
	Kotimaa 2	4000,00	0,280	1000	4280,00	4,28
	Kotimaa 3	ei tarjousta				
	Ulkomain. 1	2216,13	0,066	5000	2546,13	0,51
	Ulkomain. 2	1196,71	0,119	5000	1791,71	0,36

Taulukon 7 vertailuosassa on vertailtu kierroksittain halvimmän kotimaisen ja halvimmän ulkomaalaisen tarjouksen kokonaissumman, eli alkupanostuksen eroa sekä vastaavasti kotelon yksikköhinnan eroa, mihin vaikuttaa tilauksen minimi kotelomäärä, kun yksikköhinta lasketaan kokonaissummasta. Kierrosten välisessä vertailussa on verrattu ykkös- ja kakkoskierrosten halvimpien tarjousten eroa. Kierrosten välinen ero näyttää suoraan kotelon A3.1:sen ja A6.1:sen valmistuksen kustannuseron, joka on siis 31,61 prosenttia. Muotoilun vaikutus pelkästään muotin hintaan on 37,21 prosenttia, kun lasketaan molempien kierrosten edullisimman, eli ulkomaan 2 tarjousten hinnoilla.

Taulukko 7. Tarjousten vertailu

TARJOUSTEN VERTAILU						
	Kustannuslaji	Ylin €	Alin €	Ero €	Ero %	
Kierros 1	Alkupanostus	4060,00	2619,87	1440,13	35,47 %	
	Kotelon a'-hinta	4,06	0,44	3,62	89,25 %	
Kierros 2	Alkupanostus	4280,00	1791,71	2488,29	58,14 %	
	Kotelon a'-hinta	3,60	0,36	3,24	90,05 %	
Kierrosten välinen ero	Alkupanostus	2619,87	1791,71	828,16	31,61 %	
	Kotelon a'-hinta	0,44	0,36	0,08	17,93 %	

3.12 Käyttö

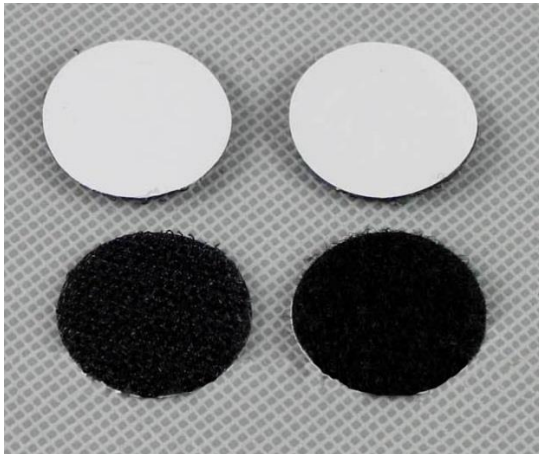
Transponderi ei ole tuotteena varsinainen käyttöesine, minkä vuoksi sillä ei ole varsinaisia käyttäjän vaatimuksia moniakaan. Tällä hetkellä tuotteen ollessa suunnattu pääasiassa autourheiluun, tärkein käyttäjän vaatimus on transponderin mahdollisimman helppo ja luotettava kiinnittäminen autoihin. Toisena vaatimuksena kotelon avattavuus pariston vaihtoa varten, joka tilanteena toteutuu erittäin harvoin.

3.12.1 Kotelon kiinnitys

Kotelon tärkeimpänä vaatimuksena oli mahdollisimman pieni fyysinen koko, minkä vuoksi koteloon ei haluttu kiinteitä rakenteita kiinnityksiä varten, esim. vastaavia kuin karting-käyttöön tarkoitettussa kotelossa (kuva 3).

Transponder painaisi A6.1-kotelolla elektroniikan kanssa vain 9 grammaa, joten luotettavimman ja vähiten tilaa vievän kiinnityksen saa Velcro-tarralla (kuva 13). Kuvan 13 alaosassa vasemmalla on tarran koukkupuoli, oikealla silmukkapuoli ja kuvan yläosassa molemmista selkäpuoli, jossa liimapinta kiinnitystä varten. Tarralapuilla kiinnitettynä kotelon tilantarve korkeussuunnassa kasvaa 12 millimetriin, kun kotelon korkeus on 9 millimetriä ja päällekkäisien Velcro-tarrojen paksaus noin 3 millimetriä. Liimattavan tarralapun ainoina huonoina puolina on puh-

taan, sileän ja suoran pinnan vaatimus tarrojen kiinnityspinnoilta. Kotelossa sellainen onkin, mutta autoihin kiinnitettävälle puoliskolle sellainen voi olla vaikeampi löytää. Epäpuhtaalla pinnalla tarran liimakiinnitys ei pidä ja tarran ollessa liimattuna epäsuoralle pinnalle, kotelo ei ole vakaasti ja välttämättä riittävän luja kiinni tarrojen välisessä kiinnityksessä.



Kuva 13. Velcro-tarralappu

Toinen kiinnitysvaihtoehto on Velcro-tarranauhan (kuva 14) käyttäminen, millä kotelo kiristetään auton rakenteeseen kiinni kotelon ympäri, ns. ylisidonta. Tarranauhoja on olemassa monenlaisia leveyksiä ja pituuksia. Tässä kiinnityksessä on oltava tarkkana, ettei kiristä nauhaa liian tiukalle, jolloin koteloon saattaa tulla kiristysvoimista muodonmuutoksia, minkä vuoksi kotelo ei ole enää tiivis. Toisaalta jos kiristysvoima ei ole riittävä, saattaa kotelo päästä luistamaan nauhan alta nauhaan nähden poikittaissuunnassa, koska nauhan tyypillinen materiaali on muovipinnalla liukas. Tässä tilanteessa auttaa, jos kotelon liukumisen tarranauhaan nähden poikittaisessa suunnassa pystyy estämään. Tarranauhakiinnitys soveltuu todennäköisesti vain karting-autoihin, koska RC-autot ovat niin ahtaita ja rakenteiltaan sellaisia, ettei niissä välttämättä ole nauhakiinnityksen mahdollisuutta.



Kuva 14. Velcro-tarranauha

Kolmas kiinnitysmahdollisuus on liima-ankkurin (kuva 15) kiinnittäminen kotelon pohjaan, mistä kotelon voi kiinnittää nippusiteellä. Liima-ankkuria löytyy esim. 19

x 19 millimetrin kokoisena, joka olisi koteloon sopiva. Ankkuria käyttäen nippusiteellä, saa varman ja vakaan kiinnityksen epätasaisempaakin pintaa vasten, esim. pyöreään tai kulmikkaisiin pintoihin. Tässä nippusiteen kiristysvoima ei kohdistu koteloon vaan ankkuriin, mikä mahdollistaa tarrakiinnityksiä paljon suuremmat kiinnitysvoimat. Käytettäessä ankkuria 19 x 19, asennustilaa kotelon korkeussuunnassa pitäisi olla noin 13 millimetriä, koska ankkurin korkeus on 3,6 millimetriä.



Kuva 15. Liima-ankkuri

Kotelon voi varmasti kiinnittää monella muullakin tavalla, olosuhteista ja kekseliäisyydestä riippuen. Muita voisi olla esim. liimateipillä kiinnitys, vastaavasti kuin tarranauhalla tai liimasilikoni. Arctic Coders:n ehkä kannattaisi harkita sisällyttää tuotepakettiin joitakin kotelon kiinnityskomponentteja, koska oikeanlainen kiinnitys vähentäisi kotelon vaurioitumisriskiä sekä varmistaisi tuotteen kokonaistoimintaa, jos transponder pysyy luotettavasti kiinni.

3.12.2 Pariston vaihto

Transponderin elektroniikka toimii kolmen voltin litium-nappi-paristolla, joka on pystyttävä tarvittaessa vaihtamaan. Keskimääräisen käyttöaktiivisuuden mukaan laskettuna pariston vaihtoväli olisi noin kolme vuotta. Vaihtoväli voi tietenkin vaihdella hyvinkin paljon molempiin suuntiin. Pariston keston vaikuttaa eniten käyttöaktiivisuus, mutta myös säilytyslämpötila sekä paristojen välinen laatuvaihtelu. Myös elektroniikkakomponenttien välillä voi olla laadullista vaihtelua, mikä saattaa hiukan vaikuttaa kulutukseen. Käyttöaktiivisuuden jälkeen virrankulutukseen eniten vaikuttaa transponderin elektroniikkaa ohjaava ohjelmisto, jota kehittämällä virran kulutus mahdollisesti pienenee entisestään. Mitään täsmällistä avaustiheyttä ei voi määrittää, vaan kotelo on oltava avattavissa tarvittaessa.

Kotelo on fyysisen kokovaatimuksen vuoksi ohut seinämäinen ja suhteellisen helposti rikkoontuva huolimattomasti käsiteltynä sekä herkkä tiiveyteen vaikuttavalle vaurioille. Koteloon ei ole tarkoituksella tehty mitään avausmekanismeja, aukkoja tai pykäliä, joista kotelon saisi avattua. Koteloa ei missään tapauksessa saa yrittää avata siten, että osien väliin tungetaan terävä esine, millä sisempi pohjaosa ikään kuin ”kaivetaan” ylös. Siinä saattavat ulomman kansiosan sivut haljeta tai leikkautua irti kokonaan. Molempien osien limittäin olevat pinnat ovat myös tiivistypintoja, mitkä varmasti vaurioituvat, jos osien väliin tunkee esineitä. Näistä vaurioriskeistä olisi käyttöohjeissa hyvä olla selkeä huomautus.

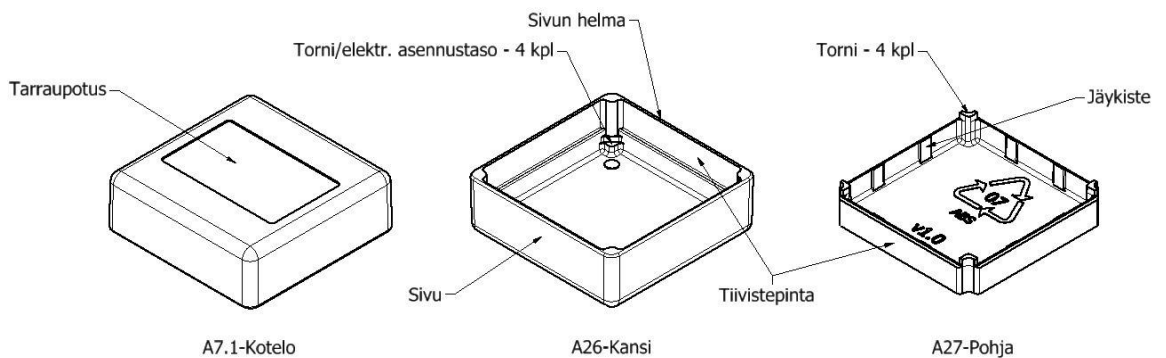
Ainoa oikea avaustekniikka on vetää kotelo auki kahdella lujasti kiinnittyvän tarran avulla, kiinnittämällä tarrat pohjaan ja kanteen, joista hitaasti ja suoraan vetämällä kotelo avautuu hyvin ja vaurioitumatta. Avaukseen sopivan tarran tyyppiä, nimiä, voimaa tai muutakaan täsmällistä määritystä on vaikea tehdä, mutta käytännön testituloksen perusteella, esim. liimattavien seinäkoukkujen tarran pitovoima on riittävä. Koukkua tai jotain muuta vastaavaa on siksikin hyvä käyttää, koska siitä saa hyvän veto-otteen. Toinen hyvä vaihtoehto on esim. 3M:n kaksipuoleinen teippi, jonka avulla kotelo ja toinen puolisko pysyy kiinni, vaikka pöydän pinnassa ja toisen puoliskon tarraan voi kiinnittää jonkin vetoapuvälineen.

4 KEHITTELY JA TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi luonnostelusta kehittelyyn valitun konstruktion jatkokehitys. Konstruktion ratkaisut ja yksityiskohdat tutkitaan ja suunnitellaan tarkemmin, erityisesti valmistettavuuteen liittyvät muotoiluasiat. Luvussa asiat käydään läpi luvun 3 tapaan ominaisuuksittain, mutta esitetään vain muuttuneet tai uudet asiat ja pyrittiin välttämään jo luonnostelussa esitettyjen asioiden toistamista.

Useastikin suunnittelutyön ollessa kehitysvaiheessa, saatetaan joutua valittu ratkaisu hylkäämään ja palaamaan takaisin luonnosteluvaiheeseen. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan tarvinnut näin tehdä, vaan kehitys- ja toteutussuunnittelu pystyttiin viemään loppuun asti.

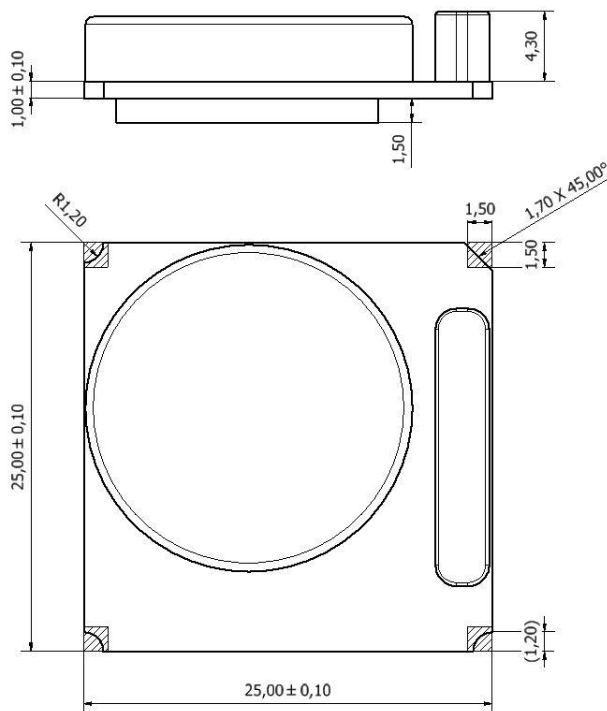
Kehittelyyn valittu konstruktio on muuten sama, kuin luonnostelussa viimeisenä ollut malli A6.1, mutta kotelon kokoa jouduttiin muuttamaan suuremmaksi. Kotelosuunnittelun kanssa samanaikaisesti edennyt elektroniikan kehitys- ja testaus työ osoittivat luonnosteluvaiheessa mitoituslähtökohdana olleen pienemmän elektroniikan ja pienemmän pariston virrankulutusongelman. Virrankulutusongelman vuoksi paristo oli vaihdettava suurempaan, minkä vuoksi elektroniikan koko kasvoi ja luonnollisesti myös kotelon kokoa oli kasvatettava. Kuvassa 16 on kehittelyyn valittu suurennettu kotelo ja sen osat. Kuvassa osoitetaan nuolin ja tekstein kotelon nimitettyjä kohtia, joita käytetään luvun käsittelyssä.



Kuva 16. Kotelon A7.1 osat.

4.1 Koko

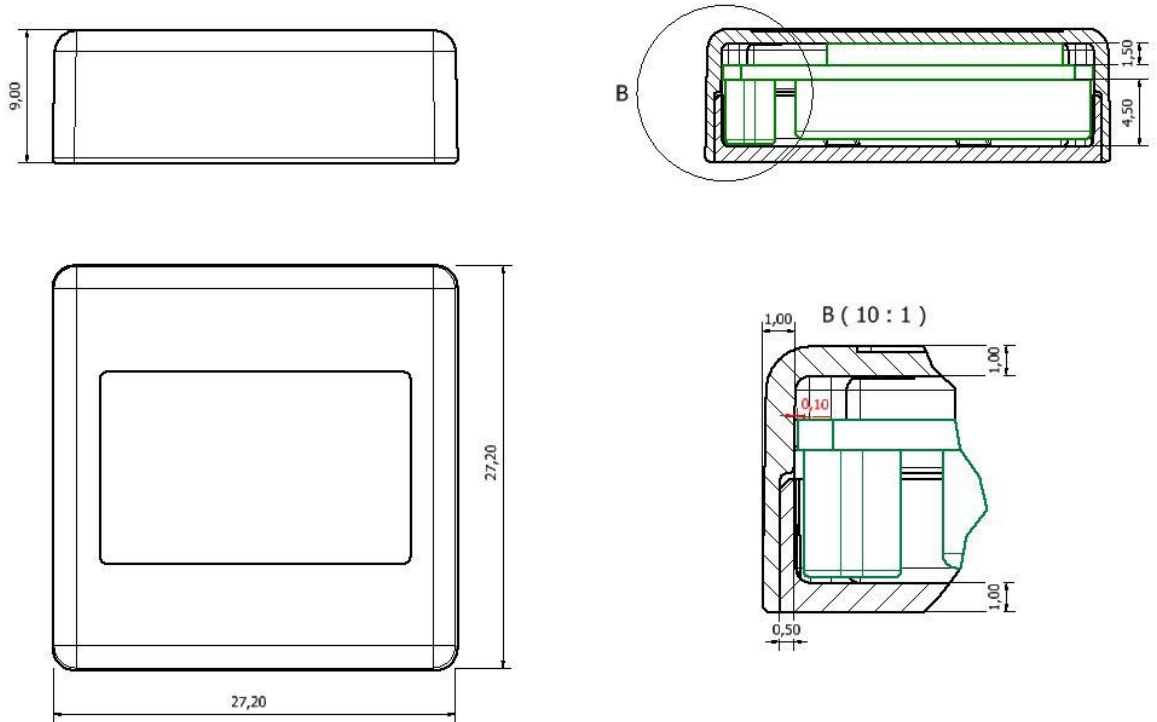
Niin kuin jo todettu, elektroniikan pariston suurentamisen seurauksena piirilevyä oli suurennettava, minkä vuoksi myös kotelon kokoa piti kasvattaa. Aikaisemman elektroniikan piirilevyn mitat olivat 21,5 x 21,5 millimetriä, minkä mukaan mitoitetun kotelon koko oli 24 x 24 x 9 millimetriä. Uuden ja suuremman piirilevyn mitat ovat 25 x 25 millimetriä, se on pinta-alaltaan noin 35 prosenttia suurempi kuin aikaisempi, mikä on aika merkittävä ero. Elektroniikan komponenttien vaatima tilantarve korkeussuunnassa on pysynyt samana molemmilla puolen piirilevyä, eli 1,5 ja 4,3 millimetriä (kuva 17).



Kuva 17. Viimeisin suurempi piirilevy

Kotelossa A6.1, oli kotelon sivujen sisäpintojen ja piirilevyn välinen toleranssi ympäriinsä 0,25 millimetriä. Piirilevyn suurentuessa haluttiin kotelon kokoon vaikuttava kaikki ylimääräinen löysä pois, minkä vuoksi toleranssi pienennettiin 0,1 millimetriin. Tämä on mahdollista, koska elektroniikan valmistaja lupaa piirilevyn $\pm 0,1$ millimetrin mittatoleranssilla. Kun 0,1 millimetrin rako on piirilevyn jokaisella sivulla, on piirilevyn asennuksen kokonaistoleranssi silloin 0,2 millimetriä. Näillä piirilevyn mitoilla ja toleransseilla, kansiosan sivujen 1 millimetrin nimellisnimäpaksuudella, kotelon nimellisulkomitat ovat 27,2 x 27,2 x 9 millimetriä (kuva

18). Käytetään ilmaisua nimellisseinäpaksuus siksi, koska päästöjen vuoksi todellinen paksuus on hiukan alle 1 millimetriä. Päästöjen vuoksi kotelon todellinen ulkomitta kasvaa noin 27,4 millimetriin.



Kuva 18. Kotelo A7.1

Kuvan 18 leikkauskuvannossa elektroniikka näkyy kotelon sisällä vihreällä. Osasuurenoskuvassa B näkyy, kuinka piirilevyn yläreuna on irti kotelon sivun sisäreunasta 0,1 millimetriä. Kotelon koko kasvoi mallista A6.1 noin 28 prosenttia. Osa A26 painaa 2 grammaa ja osa A27 1 grammaa, joten tyhjä kotelo A7.1 painaa 3 grammaa. Osa A26 materiaalityyppi on 2,19 millilitraa ja A27:n, vain 0,88 millilitraa.

4.2 Muoto

Kotelo pysyy perusmuodoltaan laatikkomaisena. Toiminnallisten ominaisuuksien vuoksi muodon muuttamiseen ei ilmennyt mitään syytä, eikä ohuista materiaali- vahvuuksista johtuen muodokkaita muotoja ole mahdollistakaan tehdä.

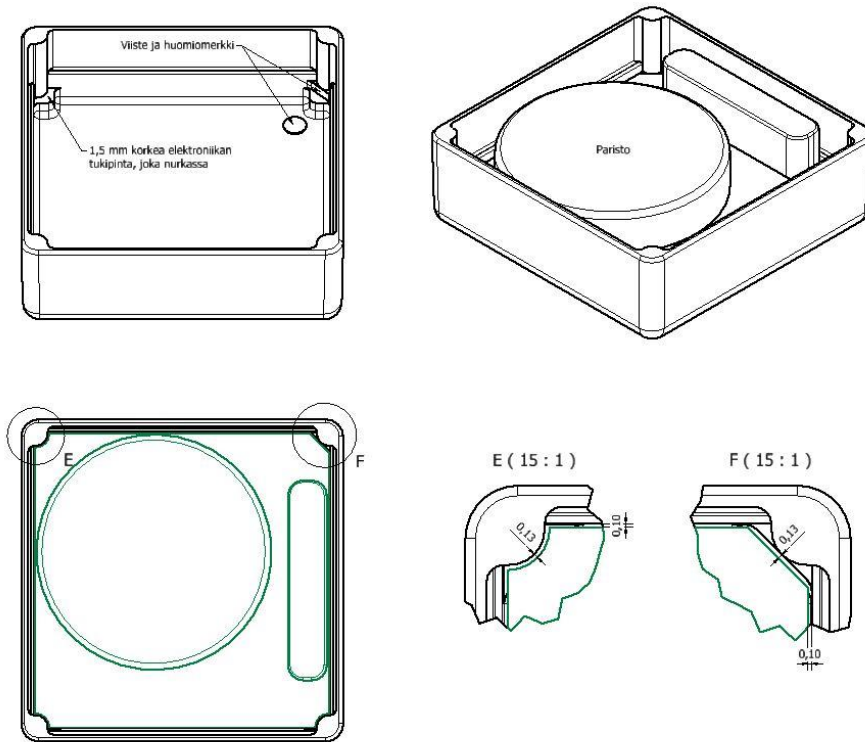
A26:sen vahvistetut, pyöristetyt sisänurkat, voisivat olla myös viisteenä, mutta saman jäykistävän vaikutuksen saamiseksi nurkkaan tulisi vielä suurempi ainekerä, mikä aiheuttaisi valuongelmia. Pyöristetyt nurkkavahvikkeet ovat valuongelmien suhteen sallimisen rajoilla, jos kaikki asiat ruiskutusparametreja myöten ovat oikein, ei valuongelmia pitäisi syntyä.

Kotelon osien kaltainen kaksiosainen rakenne on elektroniikan asennuksen kannalta hyvä ja turvallinen. Kokoonpantuna kotelo on ympäriinsä sileä, eikä siihen jää mitään pykälää tai pintoja, mitkä voisivat aiheuttaa esim. kotelon avautumisen.

Muotovaatimukseen oli liitetty myös ”tyylikäs”-toivomus. Kotelon muoto on muodostunut pelkästään toiminnallisten vaatimusten sanelemana. Koteloon saadaan kuitenkin hiukan tyylikkyyttä ja ulkonäköä kannen pintoihin tulevalle tekstuurilla, joka olisi samantyyppinen kuin nykyisessä kotelossa. Pinnoista ja muista valmistukseen vaikuttavista muotoiluista enemmän valmistukseen liittyvässä luvussa.

4.3 Elektroniikan asennus ja kiinnitys

Ajanottojärjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että transponder on autossa oikeassa asennossa ylittäessään radassa olevan magneettiraidan. Siinä on ratkaisevaa myös se, että kotelossa oleva elektroniikka on kannessa olevaan tarraan nähden oikein päin. Siksi asennusvirheen minimoimiseksi A26:n yhteen sisänurkkaan on tehty viiste, joka määrää elektroniikalle yhden ainoan paikoilleen sopivan asennon.

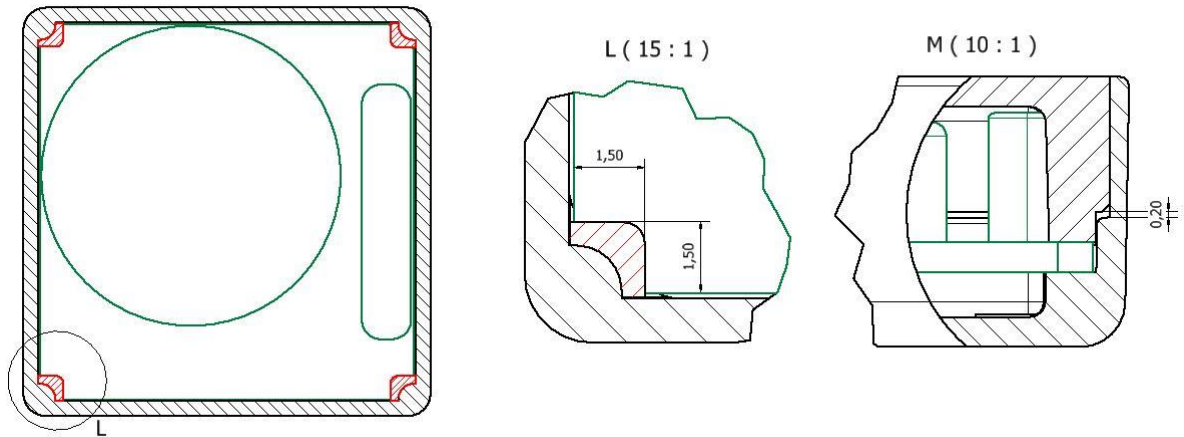


Kuva 19. Elektroniiikan asennus A26:seen

Kuvassa 19 ylhäällä vasemmalla olevassa projektiossa näkyy 1,5 millimetriä korkeat tasot (tornit), joiden päälle elektronikka asetetaan paristo ylöspäin sekä yhdessä nurkassa oleva viiste, joka määrää elektroniiikan asennon. Viiste on tasosta mitattuna 0,9 millimetriä korkea, jottei se rajoittaisi pohjaosan tornia painamasta piirilevyä kannen tasoja vasten. Kaikki muut kolme nurkkaa ovat tasoon asti pyöristettyjä. Pelkästään yhden nurkan viiste ei riittäisi määräämään ehdotonta asentoa, vaan yhdessä elektroniiikan epäsymmetrisen korkeussuuntaisen tilantarpeen vuoksi rajoitus toimii. Transponderin kokoonpanon helpottamiseksi kanteen tehdään halkaisijaltaan kahden millimetrin kokoinen huomiomerkki, mikä helpottaa havaitsemaan viistetyt nurkat. Viisteen havaitseminen luonnollisessa koossa olevasta kappaleesta on muuten erittäin hankalaa.

Elektroniiikan kiinnitykseen ei tarvita erillisiä kiinnityskomponentteja, eikä työkaluja, vaan se kiinnittyy kannen ja pohjaosan tornien väliin. Piirilevyn nurkissa on vain 1,5 x 1,5 millimetrin kokoiset vapaat alueet, joista piirilevy voi olla tornien välissä. Piirilevyn nurkkien alueet näkyvät kuvassa 17. Kuvassa 20 kotelo on katkaistu pohjasta kanteen päin niin, että nurkissa näkyvät punaisella piirilevyä painavat A27:n tornit. Kuvan 20 osasuurenoksesta L näkee A27:n tornin olevan

piirilevyä vasten sallitulla alueella. Mitat ovat piirilevyn reunasta tornin reunaan. A26:ssa olevien elektroniikan asennustasojen, eli tornien, kosketus piirilevyyn on vastaavanlainen.

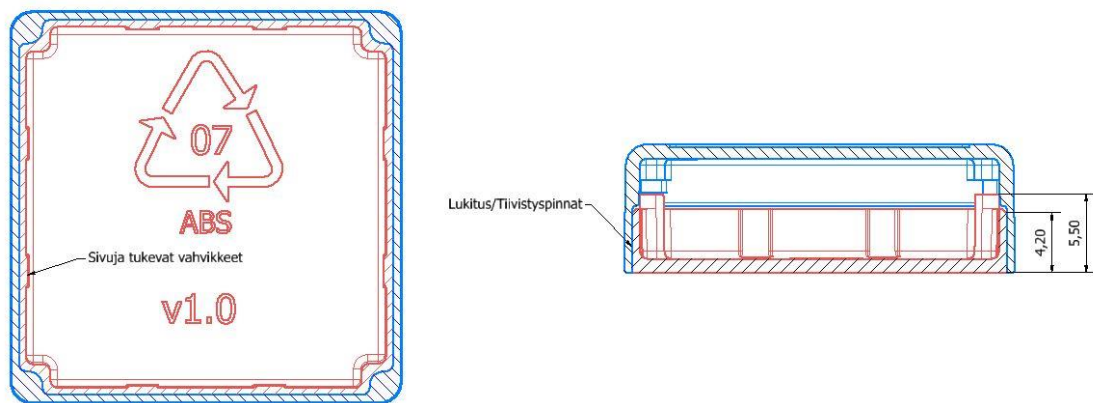


Kuva 20. Elektroniikan kiinnitys

Elektroniikan kiinnityksen varmistamiseksi piirilevyn mahdollinen toleranssialueella oleva paksuusvaihtelu on huomioitu kotelon osien rakenteissa. Kuvassa 20, osasuurenoksessa M, näkyy sivujen limityksien päissä oleva 0,2 millimetrin rako, joka mahdollistaa pohjaosan painamisen 0,1 millimetriä alemmas piirilevyn paksuuden ollessa toleranssin alarajalla.

4.4 Kotelon sulkeminen, lukitus ja tiiveys

Kotelon sulkemiseen ja lukitukseen ei tarvita mitään lisäkomponentteja eikä työkaluja. Piirilevyn asentamisen jälkeen kotelo suljetaan painamalla pohjaosa kansiosan sisään. Lukitus perustuu kannen- ja pohjan sivujen väliseen sovitteen kitkaan. Sovitteen toleranssi H7/js6 on otettu standardiin ”Reikäkanta SFS 2231” pohjautuvasta käyttökohteiden esimerkkitaulukosta, sieltä välisovitteiden alueelta, tartuntasovite (Pere, 2001 ss. 20-31). Kuvan 21 leikkausprojektiossa näkyvä pohjaosan sivun yläreunan viiste auttaa osia ohjautumaan sisäkkäin. Sivujen kontaktissa olevien pintojen korkeus on 4,2 millimetriä ja pohjaosan nurkissa olevissa torneissa 5,5 millimetriä.



Kuva 21. Kotelon lukitus ja tiivistys

Kotelon tiivisteinä toimivat samat sivujen pinnat kuin lukituksessakin. Tiiviysvaatimus toteutuu ko. ratkaisulla hyvin. Tiivistämiseen ei myöskään tarvita lisäkomponentteja tai aineita, mikä nopeuttaa ja helpottaa kokoonpanovaihetta. Pohjaosan sivujen sisäpinoissa olevilla vahvikkeilla (kuva 21) on huomattava vaikutus sivujen jäykkyyteen ja tiiviyteen pienestä koosta huolimatta. Pohjaosan kahdessa sivun sisäpinnassa, kaksi, sivuissa lähes kiinni olevaa elektroniikan komponenttia rajoittavat tekemästä vahvempia ja laajempia vahvikkeita. Symmetrian vuoksi vahvikkeet ovat näiden kahden kohdan mukaan samanlaiset jokaisella sivulla. Tiiviyteen vaikuttaa ratkaisevasti kyseisten sivujen pinnankarheus, jolla on myös yhteys sovitteen toleranssin toteutumiseen ja lukitukseen.

Kansiosan sivujen sisäpintojen ja pohjaosan sivujen ulkopintojen välinen nimellismitta on 26,2 millimetriä. Lähteen taulukossa 21.13 on annettu mitta-alueelle $>18 \geq 30$ pinnankarheuden keskipoikkeaman Ra-arvoksi 0,8, kun katsotaan tässä sovitteessa olevan pienemmän toleranssiasteen-6 mukaan (Pere, 2001 ss. 21-36). Lähteen toisessa taulukossa 21.4 on lueteltu yleisesti käytettyjä pinnankarheuden arvoja eri tilanteissa. Siinä staattiselle, ilman erillistä tiivistettä olevalle metallipinnalle Ra on 0,8 – 1,6. Koska Ra-0,8 saaminen edellyttäisi pinnan hiontaa, valitaan pinnankarheuden Ra-arvoksi 1,6, mikä on edullisemmin toteutettavissa huolellisella ja tarkalla jyrshintä-työstöllä. Pinnanlaadut esitetään tarkemmin piirustuksissa.

4.5 Materiaali

Materiaalivalinnan pääasiat on esitetty luvussa 3.7, joten tässä vain tiivistetysti materiaalin lopullinen valinta. Prospector-hakukoneella materiaalien ominaisuuksien perusteella tehtyjen hakujen mukaan ABS on ABS+PC:n ohella paras materiaali kotelolle. Lujuusominaisuuksiltaan olisi lujempiakin materiaaleja, mutta muiden ominaisuuksien kustannuksella, esim. veden absorptio, muottikutistuma, sulajuoksevuus ja sähköiset ominaisuudet, ovat useimmilla lujemmilla materiaaleilla heikompia ominaisuuksia. ABS:a saa tarvittaessa perusominaisuuksiin nähden lujempanakin, lisäaineilla lujitettuna, taivutusmoduuli voi olla jopa nelinkertainen.

Tämän työn aikana samanaikaisesti edenneen elektroniikan kehitystyön ja transponderin testien perusteella testattua materiaalia, eli ABS:a, ei tuotteistamisen kriittisessä vaiheessa ole järkevää lähteä vaihtamaan. Materiaalin vaihtamiselle tai ominaisuuksien muokkaamiselle ei ole mitään syytäkään. Lopullinen materiaalivalinta on perus-ABS, UV-stabiloituna ja väriltään mustana. Tuotenimeltään yksi mahdollinen vaihtoehto on RTP 600 UV, RTP Company:lta, jolta materiaalia löytyy maailmanlaajuisesti. Materiaalin tekniset ominaisuudet löytyvät liitteestä 1.

4.6 Lujuus

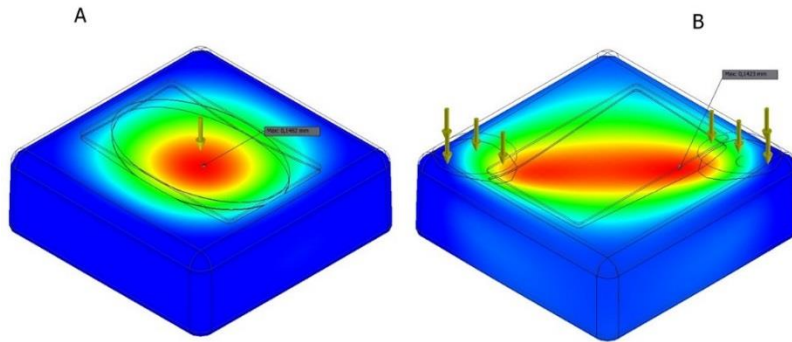
Kotelosuunnittelun päävaatimuksia ovat pienempi koko ja parempi kokoonpantavuus, minkä vuoksi koteloa ei ole mitoitettu lujuuden mukaan. Tietenkin lujuusasiat on pyritty huomioimaan mahdollisuuksien mukaan, prioriteetiltaan tärkeämpien vaatimusten sallimissa rajoissa. Tässä luvussa lujuutta käsitellään luvun 3.8 lisäksi tarkemmin kotelon sulkemisesta ja autoihin asentamisesta tulevien voimien rasituksia. Kotelolle tehtiin FEM-analyysi, jonka tarkoituksena on mitoittaa lähinnä kotelon asentamiseen käytettävien maksimivoimien suuruutta, koska liian tiukkaan puristukseen kiinnitettyyn koteloon saattaa tulla vuotoa aiheuttavia taipumia sekä pitempiaikaisessa vaikutuksessa pysyviä muodonmuutoksia. Kotelon sulkeminen analysoitiin myös vertaamalla sulkemisvoiman vaikutuksia kahdesta eri paikasta painettuna. FEM-analyysissä on käytetty valittua materiaalia RTP 600 UV:tä, jonka tekniset ominaisuudet ja arvot löytyvät liitteestä 1.

4.6.1 Kotelon sulkeminen

Kuvassa 22 kotelon kansissa näkyvät heikot ovaalit viivat kuvaavat aluetta, johon voima kohdistuu. A-kohdassa vastaava tilanne, jos painetaan keskeltä kantta yhdellä sormella ja B-kohdassa kahdella kädellä, sormien välissä, painettaisiin vastakkaisista nurkista painamista kuvaavat alueet. Molemmissa tapauksissa vastaavat alueet ovat kotelon alapuolella. Kansissa värit kuvaavat taipuman määrää taipuman kasvaessa sinisestä punaiseen päin.

Kotelon sulkemisen lopussa, ns. kiristysvaiheessa, kun osat ovat jo vastakkain, keskeltä esim. peukalolla liian lujaa painaessa saattaa kansi joutaessaan rikkoa elektroniikan komponentteja. Piirilevyn ja kannen välissä oleva 1,5 millimetrin tila ei ole tyhjää tilaa, vaan isoimmat elektroniikan komponentit saattavat olla kannessa lähes kiinni, joten kannen liiallista painumaa on vältettävä. Sulkeminen keskeltä painaen, esim. kahden sormen välissä, ei ole hyvä vaihtoehto siksikään, koska osien kohtisuora liike ei ole silloin hallinnassa, jolloin tiukan sovitteen vuoksi osat pureutuvat kiinni toisiinsa. Kuvassa 22 kohdassa A, on analysoitu kotelon sulkemista keskeltä painettuna 7,5 Newtonin voimalla, jolloin taipuma keskellä on noin 0,15 millimetriä.

Kuvan 22 B-kohdassa on analysoitu kotelon sulkemista kahdesta vastakkaisesta nurkasta painamalla, esim. kahdella kädellä sormien välissä. Kahdesta vastakkaisesta nurkasta painamalla osat liikkuvat varmemmin suorassa, eikä kiinnipureutumista tapahdu. B-kohdan tapauksessa molemmissa nurkissa on 25 Newtonin voima, eli reilu kolmekertainen A-kohtaan verrattuna. Silti taipuma kannen keskellä on sama, kuin A-kohdassa, eli 0,15 millimetriä. Nurkista painamalla kotelon saa turvallisemmin riittävän tiukalle, jolloin varmistuu myös piirilevyn puristuminen osien väliin.

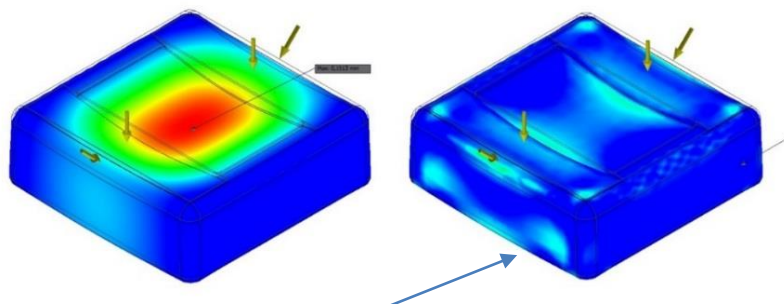


Kuva 22. Kotelön sulkeminen

Kummassakaan kuvan 22 tilanteessa jännitykset eivät ole mitoittavia tekijöitä. Korkeimmillaan jännitykset ovat 38 MPa kannessa olevan piirilevytornin tason reunoilla. Varmuuskerroin silloin 1,8.

4.6.2 Kotelön kiinnittäminen

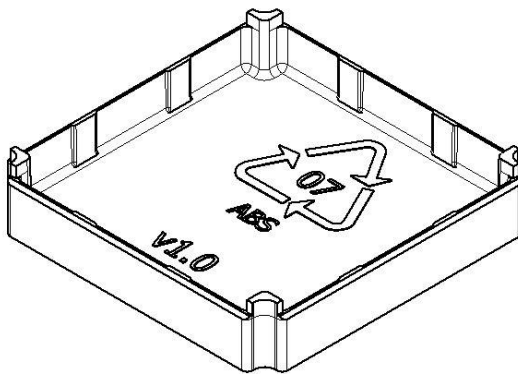
Luvussa 3.12.1 esitetyistä kotelön kiinnitysvaihtoehdoista yksi mahdollinen on ”ylisidonta”. Ylisidonnassa kotelön yli vedetään tarranauha, teippi tai jokin muu vastaava. Ylisidontaa analysoitiin kuvassa 23 näkyvien nuolien suuntaisilla voimilla. Koteloa kohtisuoraan olevan voiman suuruus oli 20 Newtonia ja reunoissa näkyvien nuolien suuntainen voimien resultantti oli 28 Newtonia. Näillä voimilla, kannen keskikohdan painauma oli noin 0,15 millimetriä ja jännitykset noin 33 megapascalia. Kotelön yli vedetty liian tiukka sidonta aiheuttaa kannen sivun alareunan ja pohjaosan väliin raon (nuoli kuvassa 23), jolloin kotelo ei ole enää tiivis. 20 Newtonin voima on ehdoton maksimi kiristysvoima lyhytaikaisesti. Kiinnitykseen riittää 10 Newtonin voima, joka olisi pidempiaikaisessa kiinnityksessä suositeltava.



Kuva 23. Kotelön kiinnittäminen

4.7 Merkinnät

Lopulliset koteloon tulevat merkinnät ovat versiomerkintä, kierrätysmerkki ja kansiosaan tuleva huomiomerkki. Versionumero vaihtuu vain silloin, jos kotelo muuttuu niin, että muotteihin tulee muutoksia tai ne vaihtuvat kokonaan. Versionumero ei muutu tuotantosarjojen välissä, eikä näin ollen ole ns. aikakello. Kierrätysmerkki jonka sisällä on numero 07, tarkoittaa ”muut”-materiaalit merkintää. 07-merkillä merkityt muovituotteet soveltuvat vain laitosmaiseen polttoon. ABS soveltuu kuitenkin erinomaisesti raaka-ainekierrätykseen. Merkinnät tulevat pohjasta koholle, koska silloin muottiin tarvitsee tehdä vain merkinnöille jyrshintä. Merkinnät tulevat koholle 0,05...0,1 millimetriä. Huomiomerkki näkyy kuvassa 19, josta on tarkempaa selvitystä s. 48 ensimmäisessä kappaleessa.



Kuva 24. Kotelon merkinnät

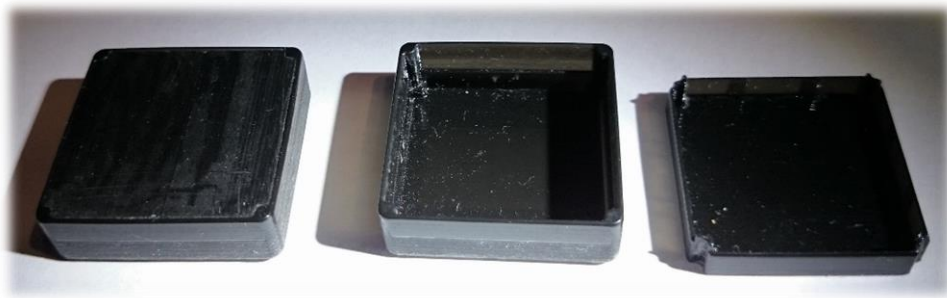
4.8 Valmistus

Suunnitellun kotelon A7.1 valmistuspäätöksen tekemisen varmisti 3D-tulosteena tehty pikamalli. Pikamallin avulla kotelosta sai erittäin hyvin ”näppituntuman” lujuudesta, kokoonpantavuudesta ja fyysisistä mittasuhteista. Kotelon valmistuksen haastavimmat aiheet ovat osien välisen lukituksen ja tiiveyden edellyttämä, vastakkain olevien pintojen yhdenmuotoisuus ja sopiva toleranssi sekä seinämäpaksuuksien vuoksi riittävien päästöjen tekeminen.

Kotelon valmistajaksi on valittu ulkomaalainen valmistaja, joka hoitaa myös muotisuunnittelun. Muotti on kaksipesäinen, jossa tulee yhdellä ruiskutuksella molemmista osista kaksi kappaletta.

4.8.1 Pikamalli

Lähes minkä tahansa tuotteen tuotekehitys- ja suunnitteluvaiheessa saatu pikamalli tai proto edesauttaa tuotteen lopullisen version valmiusastetta ja laatua. Nykyisin pikamallien valmistuksen mahdollistava 3D-tulostus alentaa tuotekehityskustannuksia valtavasti, verrattuna esim. perinteisesti vastaavissa tapauksissa käytettyihin alumiinimuotteihin. Yhden kotelomallin proton valmistamiseen käytettävien alumiinimuottien valmistaminen olisi maksanut arviolta noin kymmenkertaisen hinnan. Tulostettujen neljän eri version muutokset ovat sellaisia, ettei yksillä alumiinimuotteilla, muotteja muokkaamalla, olisi kaikkia versioita pystynyt valmistamaan. Helposti ja edullisesti saatavat protomallit antavat tuotekehitykseen ja suunnitteluun lisää rohkeutta toteuttaa sellaisiakin ratkaisuja, joita ei ilman protomallia uskallettaisi tehdä. Todennäköisesti seinämävahvuutta ei olisi uskallettu jättää 1 millimetriin, ilman pikamallia.

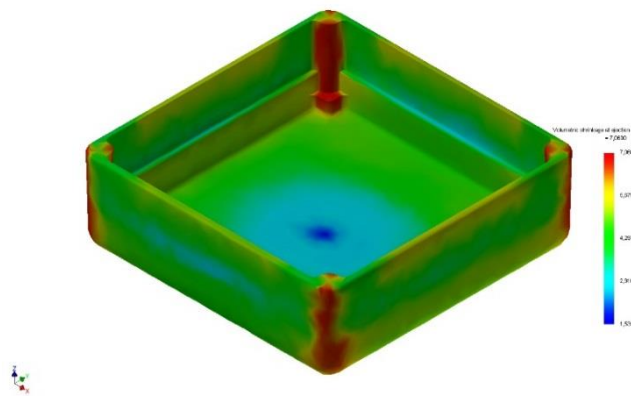


Kuva 25. 3D-tulostetut pikamallit, kotelosta A7.1.

4.8.2 Seinämät ja paksuusvaihtelut

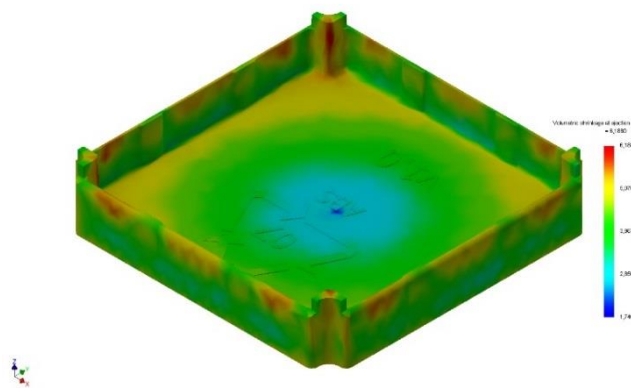
Kotelon molemmissa osissa sivujen, kannen ja pohjan vahvuudet ovat 0,5 - 1 millimetrin välillä, mikä ohjeiden mukaan tämän kokoiselle kappaleelle on ruiskuvalettavuudenkin kannalta hyvä ja sopiva seinämäpaksuus. Valettavuuden kannalta riskialttiimmat paikat ovat molemmissa kansi- ja pohjaosan nurkissa, joissa on seinämiin nähden selvästi paksumpi materiaalikertymä. Huomattavasti poikkeava materiaalipaksuus aiheuttaa epätasaista kutistumista, mikä saattaa johtaa säröihin ja muodonmuutoksiin kappaleessa. Kutistuma-analyysin (kuva 26) mukaan, osan A26 nurkissa olisi 46,8 prosenttia suurempi kutistuma (punaiset alueet), kuin kotelon muun rakenteen keskiarvokutistuma. Suurin materiaalipaksuus

ero on kansiosan elektroniikan asennustason nurkittainen paksuus 3,2 millimetriä (kuva 28, kohta B), joka on reilut kolminkertainen seinämiin nähden. Kuvassa 26 näkyy kutistuma-analyysin tulos. Kutistuma kasvaa sinisestä punaiseen väriin päin. Valmistajien kanssa käytyjen keskusteluiden ja kommenttien mukaan nurkat eivät ole kuitenkaan niin kriittisesti poikkeavia tai ongelmallisia, ettei valmistaminen onnistuisi. Paksumpien nurkkien hyvä puoli on niiden jäykistävä ominaisuus. Ne ovat vastaavia kuin jäykisterivat, sillä erolla, ettei nurkkavahvikkeissa voi olla päästöä, niin kuin ripoihin yleensä tehdään.



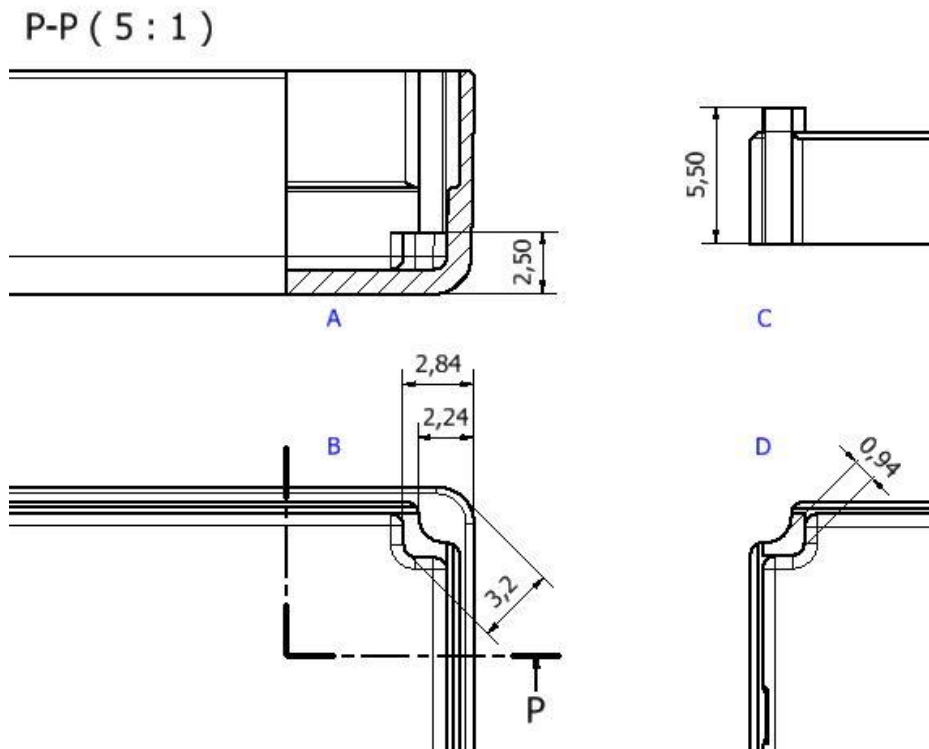
Kuva 26. Osan A26 kutistuma-analyysi.

Pohjaosassa A27 on huomattavasti pienemmät materiaalipaksuuserot. Osan A27 kutistuma-analyysi on esitetty kuvassa 27. Siinä punaisella näkyvät suurimman kutistuman alueet ovat pienempiä kuin osassa A26. Punaisella olevat kutistuman maksimiarvot ovat 36 prosenttia suuremmat kuin muu pohjaosan keskiarvokutistuma.



Kuva 27. Osan A27 kutistuma-analyysi.

Kuvassa 28, kohdissa A ja B on esitetty kansiosan nurkkien mitat ja kohdissa C ja D pohjaosan nurkat.



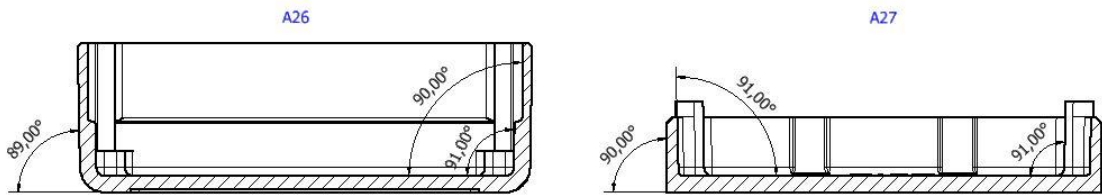
Kuva 28. Osien A26 ja A27 materiaalikertymät.

4.8.3 Päästöt ja pinnanlaatu

Kotelon tiivistys- ja lukituspintojen vuoksi osiin ei voi tehdä päästöjä täysin ohjeiden ja yleisen käytännön mukaisesti. Kansiosan A26 (kuva 29) nurkkavahvikkeet ja sivut ohennuksen, eli tiivistys- ja lukituspinnan osalta ovat ilman päästöjä, vaikka valmistuksen kannalta näissäkin päästöt olisi ollut eduksi. Näissä pinnoissa päästön suunnan ainoa vaihtoehto on aukeaman suuntaan oleva päästö, joka olisi heikentänyt kotelon kiinnipysymistä. Tämän seurauksena ei myöskään pohjaosan A27 ulkosivuilla voi olla päästöjä. Nämä ratkaisut ovat kuitenkin valmistajan hyväksymiä ja osat valmistettavissa ruiskupuristusprosessin parametreja säätämällä.

Kansiosan sivujen ulkopinnoissa on ulospäin oleva 1 asteen päästö. Päästö siis lähtee (kuva 29) kannen tasosta sivujen reunaan kohti, kasvattaen osan todellista ulkomittaa 27,20 millimetristä, hiukan alle 27,4 millimetriin. Päästöt oli tehtävä

ulospäin, koska sivujen helmasta lähtevä sisälle päin tehty päästö olisi ohentanut sivujen ohennettua kohtaa entisestään, mikä olisi heikentänyt rakennetta. Kansiosan sivujen paksumman osan sisäpinnalla on 1 asteen päästö sisälle päin, joka samalla hiukan vahvistaa sivujen ja kannen välistä kulmaa. Pohjaosan sivujen sisäpinnoilla ja jäykisteissä on ympäriinsä 1 asteen päästö sisälle päin, samoin nurkissa olevissa torneissa.



Kuva 29. Osien A26 ja A27 päästöt.

Kansiosan ulkopintoihin haluttiin kuvioitu pinta, vastaava kuin aikaisemmassa kotelossa. Valmistaja käyttää pinnanlaadusta omaa nimeä, ”sand plastic surface”, jonka pinnankarheus on vastaava, kuin saksalaisen kipinätyöstönormin VDI-3400 mukainen pinta välillä 33 – 36, jossa Ra-arvo on 4,5 – 6,3. Näillä pinnankarheusarvoilla kansiosan sivujen päästön pitäisi ABS:lla olla 2,5 – 3 astetta (Universal Precision Technology Ltd). Valmistaja kuitenkin hyväksyi poikkeuksellisesti pintoihin 1 asteen päästöt.

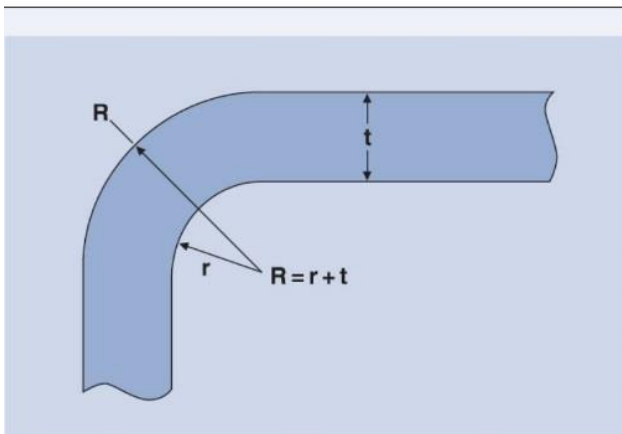
Kotelon osissa on pinnanlaatuja kaikkiaan kolme erilaista. Kansiosan ulkopinnat on kuvioitu ja lukitus- ja tiivistyspintojen Ra-arvo on 1,6, ja kaikkien muiden pintojen Ra 3,2. Tiivistyspinnan laatua ei haluttu kustannussyistä tarkemmaksi. Ra 1,6:sen pinta syntyy huolellisella koneistuksella, eikä tarvitse välttämättä hiontaa. Tiiviiden suhteen pinnanlaatu on riittävä. Tiiviys on testattu pikamallilla, jossa pinnankarheus on silmämääräisesti arvioiden selvästi karheampi, kuin Ra 1,6.

4.8.4 Pyöritykset

Eri lähteissä suositellaan sisänurkan minimipyörityssäteeksi vaihtelevasti 0,3 – 0,5 millimetriä ja ulkonurkan minimi pyörityssäteeksi sisänurkan säde + seinämäpaksuus. Kuvan 30 ohjeessa sisänurkan r-kerroin voisi olla 0,25 – 0,6 millimetriä materiaalipaksuudesta. Se ei kuitenkaan täysin päde näin ohuilla materi-

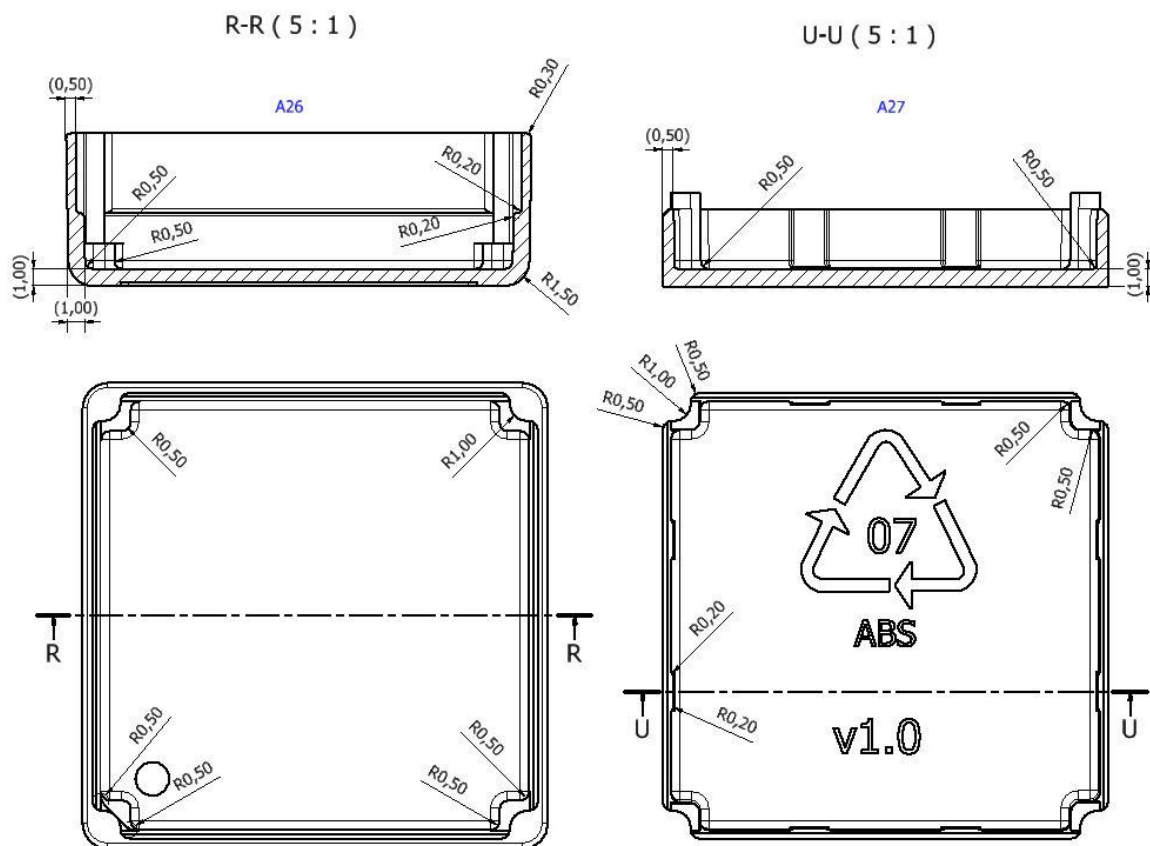
aalipaksuuksilla, minkä vuoksi ohjeessa onkin minimisäde 0,5 millimetriä. Se johdetaan valmistuksellisista käytännön syistä. Alle 0,5 millimetrin pyöristyssäteet ovat lähes mahdottomia tehdä tai ainakin erittäin kalliita. Kuvassa 31 näkyy, kuinka osissa on "alimittaisia" pyöristyssäteitä, 0,2 ja 0,3 millimetrisiä. Niillä osoitetaan lähinnä sitä, että nekin reunat ja nurkat saavat pyöristyä.

**Pyöristyssäde $r = (0,25...0,60)t$
minimisäde 0,5 mm**



Kuva 30. Pyöristysohje (Aaltonen s. 33)

Pyöristykset on tehty kaikkiin nurkkiin ja särmiin, joissa pyöristys voi olla. Pohja- ja kansiosan tornit ovat käytännössä niin pieniä, ettei niiden tasojen reunojen pyöristyksillä ole positiivista merkitystä, vaan ne saattaisivat vaarantaa tornien kunnollisen kontaktin ja piirilevyn kiinnityksen. Kansiosan sivujen helmojen sisäreunat sekä pohjaosan pohjan ja sivujen välinen kulma, ovat tiivistyspintojen välinen raja, minkä vuoksi niissä ei voi olla pyöristystä.

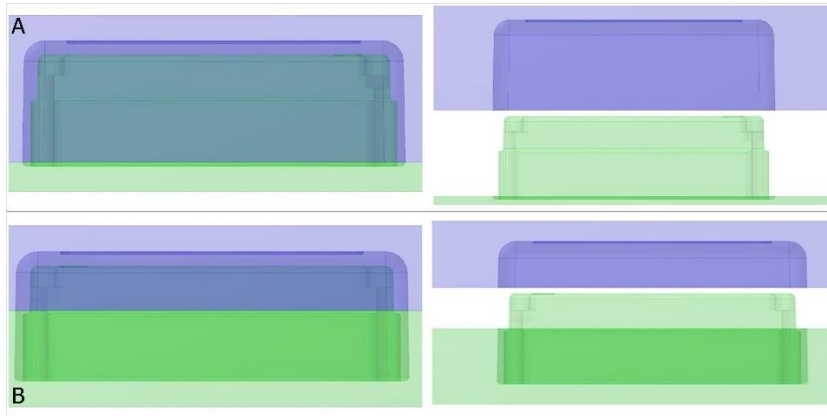


Kuva 31. Osien A26 ja A27 pyöristykset.

4.8.5 Jakotaso

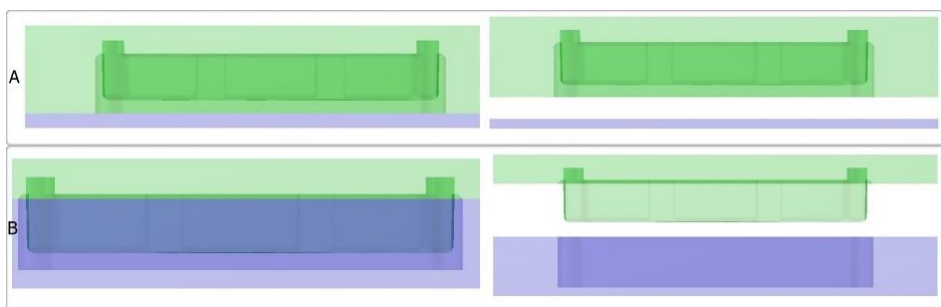
Jakotaso on kohta, jossa valettavassa kappaleessa hellitykset, eli päästöt vaihtavat suuntaa. Jakotaso voi olla myös linja, jota pitkin kappale jakaantuu keernaja pesäpuoliskoihin (Höök, 2010 s. 1).

Kuvassa 32 näkyy osan A26 kaksi mahdollista jakotasoja. Siinä A ja B ovat eri jakotasoista. Molemmissa vasemmanpuoleisessa kuvassa muottipuoliskot ovat kiinni ja oikeanpuoleisissa kuvissa auki. Osan A26 parempi jakotaso on A. Siinä molemmat, pesä- ja keernapuolen pystyy tekemään koneistamalla. Jakolinja on kansiosan sivujen helmassa olevan pyöristyksen rajassa, eli helman R-0,3:n pyöristys tulisi keernapuolen jakotasoon urana. Jakotaso A on B:hen nähden parempi myös siksi, ettei tasojen välisestä saumasta tuleva mahdollinen purse aiheuttaisi ongelmaa tiivistyspinnoille, niin kuin saattaisi B-vaihtoehdolla tehdä.



Kuva 32. Osan A26 jakotasot.

Osassa A27 on myös kaksi mahdollista jakotasoa. Vaihtoehto A olisi parempi siksi, koska siinä jakolinja on pohjan tasalla, eikä silloin sauman mahdollinen jälki haittaisi tiivistuspintoja. A-vaihtoehdon valmistusmahdollisuudet ovat kipinätyöstö tai pesäosan jyrsiminen kokonaan läpiasti poteroksi, johon asennetaan erikseen koneistettu, irrallinen keernaosa kiinni. B-vaihtoehdon jakolinja tulisi sivujen yläreunaan, josta viiste alkaa. Siinä sauman mahdollinen jälki aiheuttaisi ongelmia, koska koteloa sulkiessa sauman jälki raappaisi ja ahdistaisi kansiosan sivujen tiivistuspintoja koko matkalla. B-vaihtoehdon valmistuksessa joutuu jyrsinnän lisäksi nurkissa olevien tornien vuoksi käyttämään kipinätyöstöä, joten valmistuksellisesti se ei ole edullisempi.



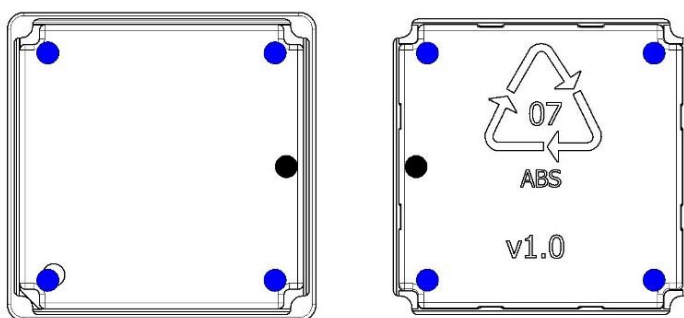
Kuva 33. Osan A27 jakotasot.

4.8.6 Ruiskutuspiisteet ja ulostyöntöpaikat

Ruiskutuspiiste on molemmissa kotelon osissa sisäpuolella, jonkin sivun vieressä, toiseen suuntaan keskellä. Muotti on kaksipesäinen, eli molemmat kotelon osat tulevat yhdellä ruiskutuksella, jolloin valukanava jaetaan rinnakkain olevien pesien keskeltä osien reunoihin. Ruiskutuspiisteiden ollessa osien sisäpuolella ei

silloin jää kotelon ulkopuolelle ruiskutuspuoleen jälkeä. Ruiskutuspuoleiden sijoittaminen kotelon sisälle edellyttää ns. kissankynsikanavaa, koska osien muotista poistusuunta edellyttää osien sisäpuolen olevan ulostyöntöpuolelle päin. Muovi kutistuu aina keernan ympärille, jolloin osa jää liikkuvaan puoliskoon, keernaan kiinni pesästä lähtiessään, jossa liikkeen lopussa irrotus tapahtuu. Kissankynsikanava viedään muottipuoliskojen läpi, jolloin ruiskutuspuole on mahdollista sijoittaa ulostyöntöpuolelle. Ruiskutuspuoleista tulevasta pienestä jäljestä ei olisi toiminnallista haittaa osien ulkopuolellakaan, vaan lähinnä visuaalinen haitta, joka saattaisi aiheuttaa suurempitöistä fiksausta ja siten pidentäisi kokoonpanoaikaa. Kuvassa 34, ruiskutuspuoleet on merkitty mustalla täplällä.

Molemmissa osissa muotista irroitusta varten ovat ulostyöntöpaikat, ovat sisäpuolella lähellä nurkkia. Paikat näkyvät kuvassa 34 sinisellä täplällä. Hiukan pieneköjen päästöjen vuoksi poistotyöntö on tehtävä jokaisesta nurkasta. Muuten osiin saattaisi tulla taipumia, joiden vuoksi sivut pureutuisivat keernaa vasten tiukemmin kiinni. Työntöpaikkojen ollessa osien sisäpuolella, eivät mahdolliset jäljet jää näkyviin.



Kuva 34. Ruiskutuspuoleet ja ulostyöntöpaikat.

Valmistuksesta valmistajan kanssa on sovittu siten, että ensin valmistetaan noin 20 kappaletta proto-koteloita, jotka hyväksytetään tilaajalla ennen varsinaisen tuotannon käynnistämistä. Opinnäytetyön kirjoituksen tässä vaiheessa, proto-kotelot olivat jo saapuneet tilaajalle. Kotelot olivat lähes sellaisia kuin piti ollakin. Huomautettavaa oli ainoastaan kotelon osien välisestä toleranssista, mikä oli hiukan liian väljä sekä kansiosan kansi oli paksumpi kuin pitäisi. Nämä asiat on pyydetty korjaamaan.

4.9 Kustannukset

Tuotekehityskustannukset tämän tuotekotelon osalta muodostuvat suunnittelusta, pikamalleista, varsinaisesta valmistuksesta ja siihen liittyvästä oheistoiminnasta, toimituksista ym. Luvussa 3.11 käsiteltyjen pikamallikustannusten ja tarjousten lisäksi tuotekehityskustannuksista ei tarkempia euromääräisiä tietoja esitetä, liiketaloudellisista syistä.

4.10 Käyttö

Transponderin käyttöön liittyen, kolme tärkeintä asiaa ovat oikea asennusasento, oikeanlainen kiinnitys ja pariston vaihto. Oikea asennusasento varmistetaan kotelon kannessa olevaan upotukseen liimattavalla tarralla, jossa on ajosuuntaa osoittava selkeä nuoli. Ensisijainen transponderin kiinnitysvaihtoehto olisi Velcro tarralappu tai liima-ankkuri ja nippusidekiinnitys. Ylisidonta vaihtoehtoa käytetään vain, jos kumpaakaan ensimmäistä ei voi käyttää. Ylisidonnassa kiristysvoima saa ja tarvitsee olla 5 – 10 Newtonia, eli noin 0,5 – 1 kilogramman massaa vastaava puristus. Pariston vaihdosta Arctic Coders on tehnyt päätöksen, että pariston toimituksen yhteydessä toimitetaan aina uusi kotelo. Tämä varmistaa parhaiten sen, että käytössä on pariston vaihdon jälkeenkin ehjä ja tiivis kotelo, joka vaikuttaa transponderin häiriöttömään toimintaan. Jos kotelo on avattava jostakin muusta syystä, avaukseen saa käyttää ainoastaan tarroilla/liimalla kanteen ja pohjaan kiinnitettäviä vetoapuvälineitä.

5 VIIMESTELY

Viimeistely sisältää valmistuspiirustuksien tekemisen sekä valmistettavuuteen ja käyttöön liittyviä tarkentavia asioita ja tietoja. Ruiskupuristettavien muovituotteiden piirustusten ja mitoituksien tekemiseen ei löydetty mitään erityisiä ohjeita, eikä muutenkaan tietoa kovin hyvin. Piirustuksien teossa käytetyt tiedot ja ohjeet ovat käytännön kokemukseen perustuvia ja ne on saatu pääasiassa työn ohjaajalta.

5.1 Piirustukset ja mitoitus

Ruiskupuristettavien muovituotteiden piirustuksien projisointikäytäntö on hiukan poikkeava koneenosien piirustuksiin verrattuna. Ruiskupuristettavasta kappaleesta esitetään aina kaikki projektiot, kun taas koneenosista välttämättömimmät. Samoin mitoituskäytäntö on poikkeava. Ruiskupuristettavista muoviosista esitetään yleensä päämittojen lisäksi vain toimintoihin vaikuttavat mitat, jotka yleensä ovat samalla myös toleroitavia mittoja. Valmistuksen kannalta kaikkien mittojen esittäminen on turhaa, koska osan valmistaminen lähtee muottisuunnittelusta, jolloin muottisuunnittelija käyttää suunnittelun apuna mekaniikkasuunnittelusta saatua 3D-mallia, josta saa kaikki tarvittavat mitat tarkasti.

Kotelosta ja sen osista tehdyissä piirustuksissa on esitetty mittoja hiukan enemmän, kuin mitä varsinaisen valmistamisen kannalta olisi tarpeellista ja mitä edellisessä kappaleessa yleisistä käytännöistä mainittiin. Piirustuksien tekemisen ja mitoituksien ajatuksena on ollut se, että samat piirustukset kävisivät myös tarjouskyselyihin paremmin. Jos tarjouta laskiessa laskettavasta kohteesta oleva informaatio on epäselvää tai puutteellista, hinta lasketaan yleensä reilummalla riskivaralla, mikä nostaa turhaan kustannuksia. Jos taas epäselvyyksien tai informaation puutteen vuoksi tarjouslaskijalla on jäänyt huomioimatta jokin merkittävä kustannuksiin vaikuttava tekijä, saattaa sekin aiheuttaa tuotantovaiheessa ongelmia, välienselvittelyä, myöhästymisiä ym.

Osista A26 ja A27 on tehty valmistuspiirustukset sekä kokoonpanopiirustus A7.1. Osien ja kokoonpanojen numerot ovat muodostuneet niin, että A-alkuiset ovat

neliön mallisen kotelon osia ja kokoonpanoja, ja B-alkuiset pyöreän. Numero on juokseva järjestysnumero.

5.2 Toleranssit

Mitoituksen yleistoleranssina on käytetty standardia SFS 3918, mikä on yhtäpitävä standardin DIN 16901 kanssa. Standardi koskee kesto- ja muovipuristeita, jotka on valmistettu ahto-, siirto- tai ruiskupuristamalla. Standardi sisältää taulukon 20.24A, jossa esitetään raaka-aineittain toleranssiryhmät toleroimattomille ja toleroiduille mitoille. Taulukosta saadun toleranssiryhmän mukaan katsotaan toisesta taulukosta 20.24B, kappaleen perusmitan mukaan toleranssi, joka on vielä annettu erikseen muottia sitoville mitoille sekä muottia sitomattomille mitoille. Muottia sitovat mitat ovat samassa muotin osassa, kun muottia sitomattomat mitat ovat muotin liikkuvien osien välisiä mittoja, joiden toleranssi on suurempi. (Pere, 2001 ss. 20-52...20-54)

Taulukon 20.24A mukaan ABS:n toleranssiryhmä toleroimattomille mitoille olisi 130, joka antaa taulukon 20.24B mukaan perusmitta-alueelle 22 – 30 millimetriä, muotin sitomattomille mitoille kohdasta A, toleranssin $\pm 0,27$ ja muottia sitoville mitoille kohdasta B, $\pm 0,17$. Toleroiduille mitoille annetaan kaksi toleranssiryhmää, yksi ja kaksi. Ryhmä 1:n mukaiset toleranssit ovat kustannuksiltaan edullisemmin toteutettavissa, kuin ryhmän 2. Taulukossa 20.24A, ABS:n toleroitujen mittojen ryhmän 2 mukainen toleranssiluokka on 110, minkä mukaan taulukossa 20.24B, perusmitta-alueella 22 – 30 millimetriä, muottia sitomattomien mittojen kokonaistoleranssi kohdassa A, olisi 0,30 ja muottia sitovien mittojen kokonaistoleranssi kohdasta B olisi 0,20. (Pere, 2001 ss. 20-52...20-54) Osien kriittisimpien toimintojen mitat ovat piirustuksissa taulukoissa annettuja arvoja tiukemmilla toleransseilla.

5.3 Valmistuttaminen

Usein tuotanto-ohjeissa määritellään tuotannosta tietyille osalle tehtäväksi tarkistusmittauksia toiminnallisesti kriittisistä paikoista. Tässä tapauksessa lähdettiin liikkeelle ns. edullisemmalla vaihtoehdolla, eli ensimmäisessä tuotantoerässä ei ole vaadittu tarkistusmittauksia. Riskinä on, että erässä tulee hylkyyn meneviä

kappaleita. Olisi kuitenkin aika vaikea määritellä järkevää ja kustannustehokasta tarkistusprosessia, kun laadusta ja sen tasaisuudesta ei ole vielä kunnollista näyttöä. Tämän tyyppisten kappaleiden, mitkä ovat käsin käsiteltyinä suhteellisen joustavia, pienten ja tarkkojen dimensioiden käsin mittaaminen on toisaalta aika turhaa mittaustulosten epäluotettavuuden vuoksi. Todellista hyötyä antavat mitaukset pystyisi tekemään esim. konenäöllä tai sovitusta varten teräksestä valmistetuilla molemmille osille olevilla ”jiki”-kappaleilla. Tarvittaessa tuotanto- ja tarkistusohje voisi olla seuraavassa kappaleessa esitetynlainen, jota protoerien osalta toteutetaan jo ensimmäisessä tilauksessa.

Jokaisen uuden tuotantoerän alussa, ennen varsinaista tuotantoa, valmistaja toimittaa tilaajalle noin 20 kappaleen protoerän hyväksyttämistä varten. Jokaisen tuotantoerän kokonaismäärästä, 5 prosentille suoritetaan tarkistusmittaus mitaukseen valmistetulla tarkistus-jikillä (kuva 35). Tarkistus tehdään molemmille osille A26 ja A27. Mittaus tehdään n-minuutin kuluessa muotista irrotuksesta.



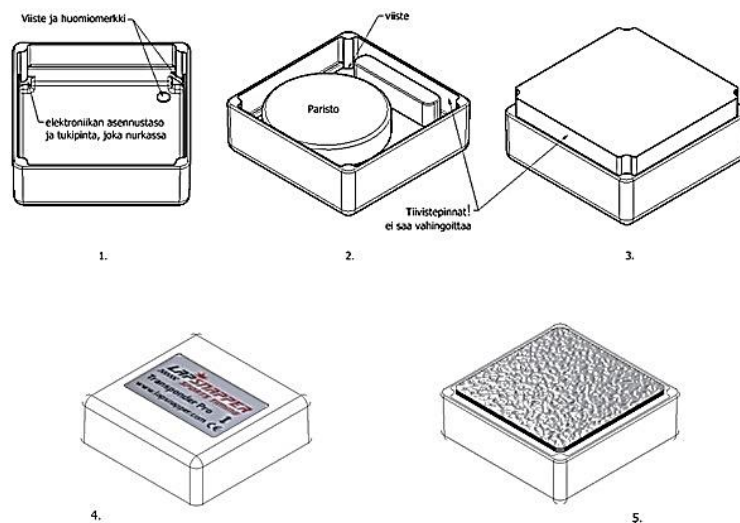
Kuva 35. Mittatarkistustyökalut

5.4 Kokoonpano ja avaaminen

Kaikilla tuotteilla on yleensä jotain sellaisia toimintoja, ominaisuuksia tai muita vastaavia asioita, joista on tiedotettava, jotta tuote toimii ja sitä käytetään niin, kuin se on suunniteltu. Tiedotettavia asioita voi olla tuotannosta loppukäsittelyyn saakka. Yleisimmin tunnettuja ovat käyttöohjeet sekä turvallisuustiedotteet.

Tässä luvussa on ohjeistus kotelon kokoonpanolle, koskien lähinnä tuotantoa. Kokoonpanon vaiheet on numeroitu ja numeroita vastaavat vaiheet on kuvattu kuvassa 36.

1. Aseta kansiosa kuvan mukaiseen asentoon. Käännä elektroniikka niin, että paristo on ylöspäin, kohdista elektroniikan ja kansiosan viistetyt nurkat. Kansiosassa oleva viisteen huomiotaipä helpottaa viistetyn nurkan löytymistä.
2. Asenna elektroniikka kansiosan tasojen päälle. Varmista kevyesti painelemalla, että elektroniikka vastaa tasoihin joka nurkassa.
3. Aseta kansiosa kovalle tasaiselle alustalle tai tue kansiosaa sormien välissä vastakkaisista nurkista (ei pelkästään kannen keskeltä). Paina pohjaosa kansiosan sisään kuvan mukaisessa asennossa. Pohja-osa painetaan tiukasti piirilevyä vasten, enintään 20 Newtonin voimalla (vastaa n. 2 kg). Jos osien välinen sovite tuntuu väljälle, laita limittäin olevien sivujen väliin tippa liuotinpohjaista pikaliimaa. Varo vaurioittamasta tiivistepintoja.
4. Liimaa asennussuuntaa osoittava tarra kannen upotukseen. Tarrassa oleva nuoli voi olla upotuksen kummassa päässä tahansa.
5. Leikkaa kaksipuoleisesta tarrateippinauhasta (leveys 24 mm, paksuus 0,8 mm) 24 millimetriä pitkä palanen. Liimaa tarrateippi keskelle kotelon pohjaa. Jätä ulomman liimapinnan suojapaperi paikoilleen.



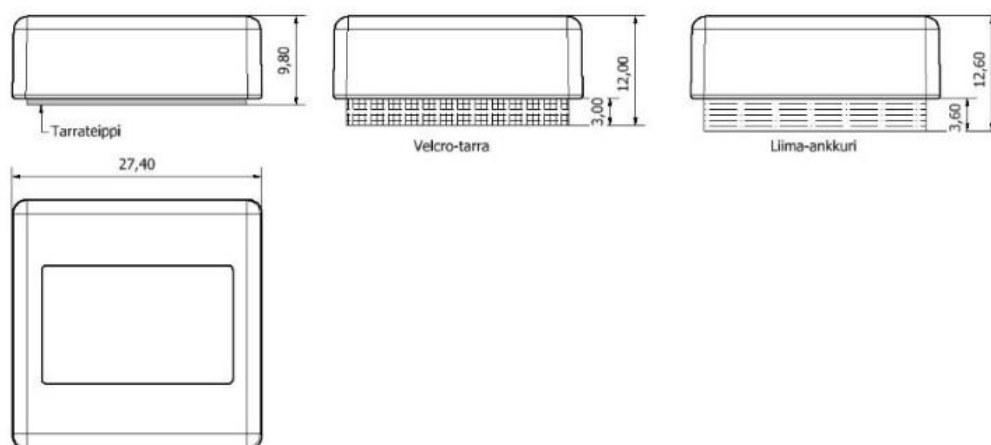
Kuva 36. Kokoonpano

Jos koteloa halutaan uudelleen käyttää, kotelo avataan kiinnittämällä kanteen ja pohjaan voimakkaasti liimautuva tarra/liima kiinnitteinen vetoapuväline, esim. seinäkoukku tai vastaava, joilla kotelon puoliskoita vedetään hitaasti auki. Osien väliseen saumaan ei saa tunkea mitään esineitä, koska tiivistepinnat vaurioituvat. Liimalla lukittua koteloa ei voi uudelleen käyttää. Kotelo on vaihdettava uuteen.

5.5 Asennus

Tämän työn aikana on löytynyt uusi hyvä kotelon kiinnitysvaihtoehto. Kiinnitys tapahtuisi kaksipuoleisella liimateipillä, jossa tartuntavoima on riittävän hyvä. Teipin paksuuden ollessa vain 0,8 millimetriä onkin se vähiten tilaa vievänä paras ja ensisijainen kiinnitysvaihtoehto. Kyseinen teippi on rullatavaraa, leveydeltään 24 millimetriä, josta itse leikataan 24 millimetriä pitkä pätkä, joka liimataan kokoonpanon yhteydessä valmiiksi kotelon pohjaan. Tämä on myös kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Muita kiinnitysvaihtoehtoja ovat liimattava Velcro-tarra tai liima-ankkuri ja nippusideyhdistelmä.

Jos mitään edellä olevia vaihtoehtoja ei voi käyttää, kiinnityksen voi tehdä esim. Velcro-tarranauhalla tai liimateipillä. Ylisidonnassa eikä muutoinkaan koteloa puristava voima saa olla yli 10 Newtonia, noin yhden kilogramman massaa vastaava puristusaine. Kuvassa 37 näkyy asennusmitat eri kiinnitysvaihtoehdoilla. Kaksipuoleinen tarrateippi tulee olemaan pakkauksen mukana toimitettava kiinnike. Teippi liimataan valmiiksi kotelon pohjaan, johon jätetään tietenkin ulompi suojapaperi paikoilleen.



Kuva 37. Asennusmitat

5.6 Luokitukset
























Sähkö- ja elektroniikkakoteloiden soveltuvuutta eri käyttökohteisiin luokitellaan useilla eri luokituksilla. Tähän suunniteltuun koteloon merkityksellisiä, joskaan ei pakollisia, eikä vaadittuja luokituksia ovat IP- ja IK-luokitus. IP-luokitus on standardin EN 60529, Euroopassa käytössä oleva järjestelmä, joka kertoo laitteen suojauksen tasosta ulkoisia esineitä, pölyä ja vettä vastaan. IK-luokitus on myös Eurooppalainen järjestelmä, standardin EN 62262, joka osoittaa koteloiden suojaustason ulkoisia mekaanisia iskuja vastaan. IP-luokassa ilmoitetaan aina kaksi numeroa, joista ensimmäinen kertoo suojauksesta kosketusta sekä vieraita esineitä vastaan ja toinen numero osoittaa vesitiiveyden. IP-luokituksen suojausasteet kiinteälle suojaukselle ovat 0 – 6 ja vedelle 0 – 8. IK-luokan numerointi on myös kaksinumeroinen, mutta siinä molemmat numerot kertovat samasta asiasta. Numerointi on välillä 00 – 10. Numerot osoittavat testattua iskuenergiaa, joka ilmoitetaan jouleina. Molempien luokitusten suojausasteet näkyvät kuvassa 38. (Ensto, 2014)

Standardit eivät ole sääntöjä vaan ohjeita valmistajalle. Niiden määrittäminen ja niistä vastaaminen on valmistajan vastuulla, ja ne pitää pystyä tarvittaessa todistamaan päteviksi. (Puttonen, 2011 s. 3) Tämän vuoksi luokitustestit ja kokeet täytyy tehdä standardien mukaisesti sekä raportoida menetelmät ja tulokset. Tässä vaiheessa hyväksyttäviä testejä ei ole pystytty tekemään, koska ensimmäiset lopulliset tuotteet ovat saapumatta. Protokotelolla tehtyjen testien perusteella, alustavasti ja epävirallisesti IP-luokka olisi vähintään IP66 ja iskuluokka IK02. Kuvassa 38 ei näy iskuluokkien alkupään suojausasteita, jotka ovat niin, että 00-luokka on suojaamaton, 01-luokka 0,15 Joulea, 02-luokka 0,2 Joulea, joka testataan pudottamalla 200 gramman esine 10 senttimetrin korkeudelta (luokassa 02).

Muita luokituksia ovat esim. paloluokitus, minkä yleensä materiaalin valmistaja ilmoittaa. Tähän suunniteltuun koteloon valitulle materiaalille materiaalivalmistajan ilmoittama paloluokka on UL 94 HB. UL 94 on amerikkalainen standardi. Luokituksen merkintä HB tarkoittaa ”Horizontal Burning”, eli vaakasuoran palamisen testi. Testattavan kappaleen pituus on 5 tuumaa, leveys 0,5 tuumaa ja paksuus enintään 0,5 tuumaa. Levy kiinnitetään toisesta kapeammasta päästä vaakasuo-

raan asentoon ja kallistetaan leveyssuunnassa 45 asteen kulmaan. Testissä käytettävässä polttimessa on oltava tuuman pituinen sininen liekki, joka suunnataan 45 asteen kulmassa muovilevyn etureunaan. Polttoaika on 30 s. (Fibox)

UL94HB luokitus edellyttää, että liekin poistamisen jälkeen palamisnopeus ei ylitä 1,5 tuumaa minuutissa, kun kappaleen paksuus on 0,12 – 0,5 tuumaa tai palamisnopeus ei ylitä 3 tuumaa/minuutti, kun kappaleen paksuus on alle 0,12 tuumaa tai palaminen loppuu, ennen kuin liekki saavuttaa 4 tuuman merkkiviivan. (Fibox)

ENSIMMÄINEN NUMERO Suojaus kiinteiltä esineiltä		TOINEN NUMERO Suojaus nestemäisiltä aineilta		KOLMAS NUMERO Suojaus mekaanisia iskuja vastaan	
IP	SUOJAUSASTE	IP	SUOJAUSASTE	IK	SUOJAUS- ASTE
0	 Ei suojausta	0	 Ei suojausta	00	 Ei suojausta
1	 Suoja yli 50 mm kokoisilta kiinteiltä esineiltä esim. kämmenen kosketus	1	 Suojaa pysty-suoraan putoavilta vesipisaroilta.	01-05	 isku < 1 joulea
2	 Suoja yli 12 mm kokoisilta kiinteiltä esineiltä esim. sormet.	2	 Suoja enintään 15° kulmassa putoavilta vesipisaroilta.	06	 Isku 1 joulea
3	 Suoja yli 2,5 mm kokoisilta kiinteiltä esineiltä esim. työkalut ja ohuet johdot.	3	 Suoja enintään 60° kulmassa putoavilta vesipisaroilta.	07	 isku 2 joulea
4	 Suoja yli 1 mm kokoisilta kiinteiltä esineiltä esim. työkalut ja ohuet johdot.	4	 Suoja kaikilta suunnilta tulevilta vesipisaroilta.	08	 Isku 5 joulea
5	 Suoja pölyltä – rajoitettu sisään-pääsy sallittu (ei haitallista määrää).	5	 Suoja kaikilta suunnilta tulevilta vesipisaroilta – vähäinen sisäänpääsy sallittu.	09	 Isku 10 joulea
6	 Täysin eristetty pölyltä.	6	 Suoja paineruisvedeltä esim. laivan kannella – vähäinen sisäänpääsy sallittu.	10	 Isku 20 joulea
		7	 Suoja upotukselta veden alle 15 cm ja 1 m välisellä syvyydellä.		
		8	 Suoja pitkäaikaiselta upotukselta paineenalaisen veden alla.		

Kuva 38. IP- ja IK-luokat. (Ensto, 2014)

6 YHTEENVETO

Tälle suunnittelutyölle oli todellinen tilaus ja tarve. Opinnäytetyön toimeksiantajan, Arctic Coders Oy:n kehittämään ajanmittauslaitteistoon ei löytynyt kaupallista valmista koteloa, joka olisi tyydyttänyt kaikkien tarpeita ja kaikkia haluttuja vaatimuksia. Vastatakseen markkinoiden vaatimuksiin, Arctic Coders päätti käynnistää transponderille oman kotelotuotannon. Kotelon muutospaineeet ovat tulleet pääasiassa RC-autojen puolelta, missä kotelon koko on ratkaiseva tekijä.

Suunniteltu kotelo ei ole varsinainen päätuote, vaan ajanmittausjärjestelmään keskeisesti kuuluvan osan, transponderin, sen elektroniikan suoja ja kiinnityskomponentti. Tämän vuoksi suunnittelun raportointi ja lopputulokset on painotettu tuottajan, eli toimeksiantajan tarpeita ja käyttöä varten, eikä niinkään loppukäyttäjää ajatellen.

Tämä työ on tarkka kuvaus ja raportti muovikotelon suunnittelun ja kehityksen vaiheista, määrittelystä tuotantoon asti. Työssä on vertailtu kotelon erilaisia ratkaisuja toimintojen sekä tuotannollisten ja taloudellisten näkökulmien pohjalta. Läpikäytyt ja valitut ratkaisut on pyritty esittämään ja kuvaamaan perusteluineen niin, että mahdollisimman moneen ”miksi”-kysymykseen löytyisi vastaus. Voidaan pitää lähes varmana asiana sitä, että tästäkin kotelosta tulee uusia kehityskierroksia tai muusta syystä tilanteita, joissa kysytään, ”miksi tämä on näin”. Jos näissä tilanteissa on dokumentti, josta vastaus löytyy, säästyy valtavasti aikaa ja turhaa työtä, etenkin jos tuotteesta kehitetään uutta versiota. Tämän työ ollessa opinnäytetyö antaa se tietenkin oman mausteensa raportointiin, muodollisuuksien ja väittämien todistustaakan osalta. Rakenteeltaan ja asiasisällöltään jatkoa palveleva suunnittelu- ja tuotekehitysdokumentti olisi muulloinkin pitkälti samanlainen.

Työn kulku ja vaiheet ovat määrittely, luonnostelu, kehittäminen ja toteutus sekä viimeistely. Määrittelyssä määritellään kotelon vaatimukset ja ominaisuudet. Luonnostelussa käydään läpi erilaisia vaihtoehtoja sekä pohditaan asioita toimintojen, valmistuksen ja käytön kannalta laaja-alaisesti. Ne asiat, joihin suunnittelulla voi

tuotteen valmiusasteeseen positiivisesti vaikuttaa, tulee näin huomioitua mahdollisimman hyvin. Kehittelyyn ja toteutukseen valitun kotelon yksityiskohtia tarkennetaan lähinnä valmistettavuuden osalta, lasketaan kahteen käyttötilanteeseen suositeltavien voimien suuruutta sekä tehdään valusimulointia, mm. kappaleen kutistuma-analyysi. Viimeistelyssä tehdään piirustukset sekä esitetään luokitus, ohjeistus ym. tarkentavaa asiaa. Tulokset ovat tiivistetyksi liitteenä olevassa tuotespesifikaatiossa, jota ei valitettavasti julkisesti voi täydellisenä esittää. Tuotespesifikaatio sisältää kaikki tuottajan tuotteistamiseen tarvitsemat tekniset tiedot, valmistuttamiseen tarvittavat tiedot piirustuksineen sekä ohjeistusta tuotannosta, kokoonpanosta, avaamisesta ja kotelon kiinnityksestä.

Työn toteutusta ja tuloksia voi pitää onnistuneena, koska koteloa on valmistettu suunnitelmien mukaisina suurempi erä, se on lisätty myyntivalikoimaan ja otettu käyttöön. Liitteenä on kuvia lopullisesta valmiista kotelosta sekä kotelon valmistukseen käytetyistä ruiskupuristustyökaluista.

7 LÄHTEET

Aaltonen, Kalevi 2014. Ruiskuvalukappaleen ja ruiskuvalumuotin suunnittelu. Viitattu 6.2.2015. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kon-15.3133/luennot/Kon-15_3133_muovikappaleen_suunnittelu.pdf.

Aalto-yliopisto. Kustannusesimerkki. Viitattu 12.2.2015. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/kon-15.3133/materiaali/Kon-15_3133_harjoitusten_tukiaineistoa.pdf.

AKK-Motorsport-Oy. Pienoisautoilu. Viitattu 14.11.2014. <http://www.autourheilu.fi/lajit/pienoisautoilu/>.

Atanasova, Yordanka. Rashev, Georgi. Nykänen, Sanna & Höök, Tuula 2007. Ruiskuvalikappaleen valettavuus. Viitattu 6.10.2014. http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_mouldfilling_FI.pdf.

Ensto 2014. Kotelointiluokka. Viitattu 19.2.2015. <http://www.ensto.com/fi/tukipalvelut/teknisetiedot/kotelointijarjestelmat/kotelointiluokka>.

Eskelinen, Harri 2012. Materiaalin valintaprosessi-luento 3. Viitattu 20.12.2014. https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bk20a2100/luennot/materiaalien_valintaprosessi.pdf.

Fibox. Paloluokitukset. Viitattu 19.02.2015. http://www.fibox.fi/12/UL%2094%20HB_FIN1.html.

Höök, Tuula 2010. Jakolinja. Viitattu 8.2.2015. http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_parting_FI.pdf.

Koivisto, K. Laitinen, E. Niinimäki, M. Tiainen, T. Tiilikka, P & Tuomikoski, J 2001. Konetekniikan materiaalioppi. 9. Helsinki : Edita Oyj

LapSnapper 2014a. User manual. Viitattu 15.11.2014.

http://lapsnapper.com/wp-content/uploads/lapsnapper_user_manual_en.pdf.

—. 2014b. LapSnapper Transponder. Viitattu 17.11.2014.

<http://lapsnapper.com/shop/lapsnapper-product-components/lapsnapper-pro-transponder-outdoor-2/>.

Muovimuotoilu. Muovin koostumus. Viitattu 4.12.2014.

<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/146/210/>.

Muoviplast 2009. Polymeerit ja muovit. Viitattu 26.12.2014.

<http://polymerik.pp.fi/pdf/Osa1-Polymeerit.pdf>.

Nykänen, Sanna 2007. Muovituotteen suunnittelun kokonaisprosessi. Viitattu 06.01.2015.

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/castingdesign_overallprocess_FI.pdf.

Pere, Aimo 2001. *Koneenpiirustus 2*. Espoo : Kirpe Oy, 2001.

Puttonen, Ville 2011. www.doria.fi. [Online] 20. 05 2011. Viitattu 19.02.2015.

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69708/nbnfi-fe201105171581.pdf?sequence=3>.

TTY 2010. Ruiskuvalettavan muovituotteen suunnittelu. Viitattu 5.12.2014.

https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko_PKAMK_Final.pdf.

Universal Precision Technology Ltd. Pinnankarheusluokkien vertailu. Viitattu

6.5.2015. http://www.uptech-cn.com/sys_m/uploadfiles/20100427224755596.pdf.

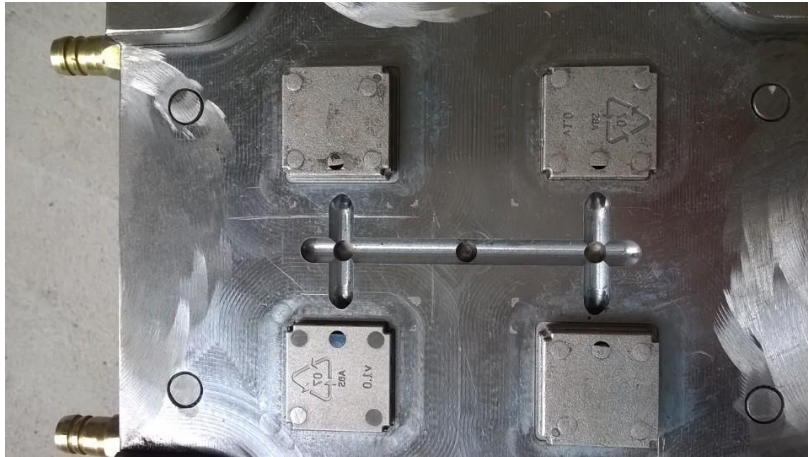
Vienamo, Pekka. Alustava materiaalivalinta. Viitattu 18.12.2014.

http://taik.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/suunnittelu/06-00_alusta.html.

LIITTEET

Liite 1. Muotti- ja kotelokuvat

Liite 2. Tuotespesifikaatio – v1.0



Ruiskuvalumuotin keernapuolisko



Ruiskuvalumuotin pesäpuolisko



Ruiskuvalettu valmis kotelo