

Pekka Puura

Säainstrumentin materiaalin ja pintakäsittelyn valinta vaativiin olosuhteisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

18.5.2016

| | |
|--|--|
| <p>Tekijä(t) Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p> | <p>Pekka Puura Säainstrumentin materiaalin ja pintakäsittelyn valinta vaativiin olosuhteisiin</p> <p>63 sivua + 5 liitettä 18.5.2016</p> |
| <p>Tutkinto</p> | <p>Insinööri (AMK)</p> |
| <p>Koulutusohjelma</p> | <p>Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka</p> |
| <p>Suuntautumisvaihtoehto</p> | |
| <p>Ohjaaja(t)</p> | <p>Yliopettaja Kai Laitinen Tuotekehityspäällikkö Arto Nivala</p> |
| <p>Työn tavoitteena oli selvittää uuden sukupolven säainstrumentin materiaalin ja pintakäsittelyn valinta vaativiin olosuhteisiin. Työ sisälsi materiaalivalinnat tuotekehitystyön eri vaiheisiin ja materiaaliehdotukset lopullisen tuotteen pääkomponenteille. Tässä työssä tutkittiin myös vaativien olosuhteiden käsitettä ja niiden vaikutusta suunnitteluun ja materiaalivalintaan. Työn yhtenä tavoitteena oli kehittää tuotekehitysprosessin materiaalivalintaa.</p> <p>Uusi säainstrumentti on tarkoitettu globaaleille markkinoille ja asennettavaksi vaativampiin olosuhteisiin kuin nykyinen tuote. Materiaalivalinta ja sen onnistuminen on hyvin merkittävässä roolissa uudessa tuotteessa, jotta lopputuloksena olisi kilpailukykyinen vaatimukset täyttävä tuote.</p> <p>Materiaalien ominaisuuksien ja lukumäärän kehittyminen on jatkuva prosessi. Materiaaleilta vaaditaan enemmän ja kehittyneiden suunnittelutyökalujen avulla niiden ominaisuuksia voidaan hyödyntää entistä paremmin. Tämän vuoksi on tärkeää kehittää tuotekehitysprosessia ottamaan suunnittelussa paremmin huomioon materiaalivalinta ja valitsemaan tuotteeseen parhaiten soveltuvat materiaalit.</p> <p>Työn alkuosassa selvitettiin yleistä tuotekehitysprosessia, materiaalivalintaa sekä sitä, kuinka tuotteen vaatimukset voidaan muuntaa materiaalien ominaisuusvaatimuksiksi näihin liittyvään kirjallisuuteen perustuen.</p> <p>Työn loppuosassa esitetään uuden sukupolven säainstrumentin tärkeimpien osien materiaalivalinnat ja pintakäsittelysuositukset käyttäen työssä esitettyjä menetelmiä. Työssä esitetään joitakin kehitysehdotuksia tuotekehitysprosessiin. Näiden ehdotusten tarkoituksena on nopeuttaa ja helpottaa uusien tuotteiden suunnittelua.</p> <p>Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet ja löydettiin uusia kehitysideoita, joilla parannetaan tuotekehitysprosessia.</p> | |
| <p>Avainsanat</p> | <p>materiaalitekniikka, pintakäsittelytekniikka, materiaalivalinta, tuotekehitys, tuotekehitysprosessi</p> |

| | |
|--|--|
| Author(s) Title | Pekka Puura Weather instrument material and surface treatment selection for demanding conditions |
| Number of Pages Date | 63 pages +5 appendices 18 May 2016 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Materials Technology and Surface Engineering |
| Specialisation option | |
| Instructor(s) | Kai Laitinen, Principle Lecturer Arto Nivala, Development Manager |
| <p>The purpose of the thesis was to determine the material selection and surface treatment for demanding conditions for the new generation of weather instruments. The thesis involved the materials selection for the different phases of the product development process and materials proposals for the main components of the final product. This thesis also studying the concept of demanding conditions and their impact on the design and material selection. One of the goals was to improve the material selection of the product development process.</p> <p>New weather instruments are aimed at the global market and at installation in more demanding conditions than the existing product. The material selection and its success play a significant role in the new product, so that the end result would be a competitive product that meets the requirements.</p> <p>The development of material properties and the number of materials is a continuous process. More is required of material, and advanced designs tools make it possible to utilize their properties more accurately. Therefore, it is important to develop the product development process to better take into account the choice of material in the design phase, and choose the best-suited materials for the product.</p> <p>The first part of the thesis project was to study the overall product development process, and to determine material selection, and how to convert product requirements to material property requirements on the basis the related literature.</p> <p>The final section of the thesis presents the materials selection and recommendations for the surface treatment of the main parts of the new generation weather instruments, applying methods presented in this thesis. The thesis presents some suggestions for the product development process. The purpose of these proposals is to make the design of new products faster and easier.</p> <p>The thesis project achieved its targets and found new development ideas which can improve the product development process.</p> | |
| Keywords | materials technology, surface technology, material selection, product development, product development process |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Materiaalien kehitys | 2 |
| 3 | Materiaalit ja tuotekehitysprosessi | 4 |
| 4 | Materiaalin valintaan vaikuttavat tekijät | 9 |
| 5 | Materiaalien ominaisuudet ja ympäristövaatimukset | 11 |
| 6 | Materiaalin valinta | 16 |
| 6.1 | Materiaalin valintaprosessi | 17 |
| 6.1.1 | Vaatimusprofiilin laadinta | 17 |
| 6.1.2 | Valintastrategia ja materiaalien esivalinta | 19 |
| 6.1.3 | Ominaisuusprofiilin laadinta | 20 |
| 6.1.4 | Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen | 22 |
| 6.1.5 | Prototyypin tai tuotteen valmistus | 24 |
| 6.1.6 | Käyttöseuranta | 24 |
| 6.2 | Materiaalin valinta ominaisuuskarttojen avulla | 24 |
| 6.3 | Tietokoneavusteinen materiaalin valinta ja valintaohjelmistot | 28 |
| 6.4 | Pintakäsittelyn valinta | 29 |
| 7 | Säainstrumentin suunnittelu | 33 |
| 8 | Säainstrumentin materiaalin valinta | 35 |
| 8.1 | Konseptiproton materiaalinvalinta | 35 |
| 8.2 | Vaativien olosuhteiden aiheuttamat vaatimukset säainstrumenteissa | 39 |
| 8.3 | Säainstrumentin vaatimusprofiili | 43 |
| 8.4 | Säainstrumentin materiaalin valintastrategia | 46 |
| 8.5 | Säainstrumentin materiaalin esivalinta | 46 |
| 8.6 | Rungon materiaalinvalinta | 47 |
| 8.7 | Keskusyksikön kotelon materiaalivalinta | 50 |
| 8.8 | Laitekotelon materiaalivalinta | 51 |
| 8.9 | Pintakäsittelyn valinta | 54 |

| | | |
|-----|-------------------------------------|----|
| 9 | Tulosten tarkastelu | 56 |
| 9.1 | Säainstrumentin vaativat olosuhteet | 56 |
| 9.2 | Materiaalinvalinta | 57 |
| 9.3 | Pintakäsittelyn valinta | 58 |
| 9.4 | Tuotekehitysprosessi | 59 |
| 10 | Johtopäätökset | 59 |
| | Lähteet | 61 |

Liitteet

Liite 1. Säainstrumentin vaatimusprofiili ja materiaaliominaisuudet

Liite 2. Laiterungon vaatimusprofiili ja arvoanalyysi

Liite 3. Keskusyksikön vaatimusprofiili ja arvoanalyysi

Liite 4. Laitetekotelon vaatimusprofiili ja arvoanalyysi

Liite 5. Tuotepäälliköiden kyselyn vastaukset

Lyhenteet ja määritelmät

| | |
|-------|--|
| CLP | Classification, Labeling and Packaging of substances and mixtures, CLP-asetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 1272/2008, joka koskee kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista. |
| DNV | Det Norske Veritas, norjalainen hyväksyntälaitos. |
| EMC | Electromagnetic Compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus. Laite kestää tietyn määrän sähkömagneettista häiriötä eikä lähetä tiettyä määrää suurempaa sähkömagneettista häiriötä. EMC-direktiivi 2004/108EY koskee suurta osaa laitteistoja, kuten sähkö-, ja elektroniikkalaitteita, järjestelmiä ja asennuksia. |
| IK | Kotelon mekaaninen iskunkesto, ilmoitetaan IK-luokkana standardin IEC 62262 mukaan. |
| IP | Ingress Protection koteloinnin tiiveysluokitusjärjestelmä SFS EN 60529. |
| JIRA | JIRA on yksittäisten tehtävien hallintaa kehitetty tehtävien hallintaohjelmisto. Ohjelmiston on kehittänyt australialainen Atlassian vuonna 2002. Ohjelmiston nimi JIRA pohjautuu japanilaiseen nimeen Gojira. |
| LCC | Life Cycle Cost, elinkaarikustannukset. Kustannuksilla tarkoitetaan kaikkia niitä yhteenlaskettuja kustannuksia, joita kohteelle syntyy tai voidaan olettaa syntyvän sille määrätyn elinkaaren aikana. |
| MTBF | Mean Time Between Failure, keskimääräinen aika laitteen vikaantumiseen. |
| PIC | Product Inventory Cost, tuotteen kaikki valmistuskustannukset. |
| REACH | Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, REACH-asetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o |

197/2006 kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoituksista.

RoHS Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment, Euroopan unionin RoHS direktiivi 2011/65/EU vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa.

UV-valo Ultraviolettisäteily, aallonpituus on pienempi kuin näkyvän valon.

WEEE Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE-direktiivi 2012/19/EU. Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden romudirektiivin tarkoituksena on ennaltaehkäistä sähkö- ja elektroniikkalaiteromun syntymistä sekä edistää romun uudelleenkäyttöä, kierrätystä ja muita hyödyntämistapoja loppukäsittelyyn tulevan jätteen määrän vähentämiseksi.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia uuden sukupolven sääanturin materiaalin ja pintakäsittelyn valintaa vaativiin olosuhteisiin. Työssä tutkitaan myös, miten materiaalivalinta liittyy tuotekehitysprosessin vaiheisiin ja miten sitä voidaan parantaa. Työ rajautuu uuden sukupolven sääanturin pääosien materiaalin ja pintakäsittelyn valintaan. Lisäksi työssä selvitetään vaativien sääolosuhteiden käsite sääinstrumenttien tuotepäälliköille suunnatulla kyselytutkimuksella ja se, kuinka sääolosuhteet voidaan ottaa huomioon suunnittelussa. Työn palautushetkellä uuden tuotteen suunnittelu on vielä tuotekehitysvaiheessa, minkä vuoksi materiaalin ja pintakäsittelyn valinnat esitetään tuotekehitysprojektille ehdotuksina. Uudesta sääinstrumentista ei esitetä tarkkoja kuvauksia, koska tuote tulee markkinoille myöhemmin eikä tämän työn kautta haluta paljastaa tarkkoja tuotetietoja.

Uudesta sääinstrumentista suunnitellaan erilaisia tuoteversioita eri sovellutuksiin, kuten esimerkiksi meteorologiset-, lentokenttä- ja tiesäänmittaukset. Sen tulee olla kilpailukykyinen, sisältää uusia innovaatioita, soveltua uusille markkinoille vaativiin olosuhteisiin ja korvata nykyiset vastaavat tuotteet. Uuden sukupolven tuotteelta odotetaan parempaa suorituskykyä, luotettavuutta ja kestävämpiä ratkaisuja vaativissa olosuhteissa.

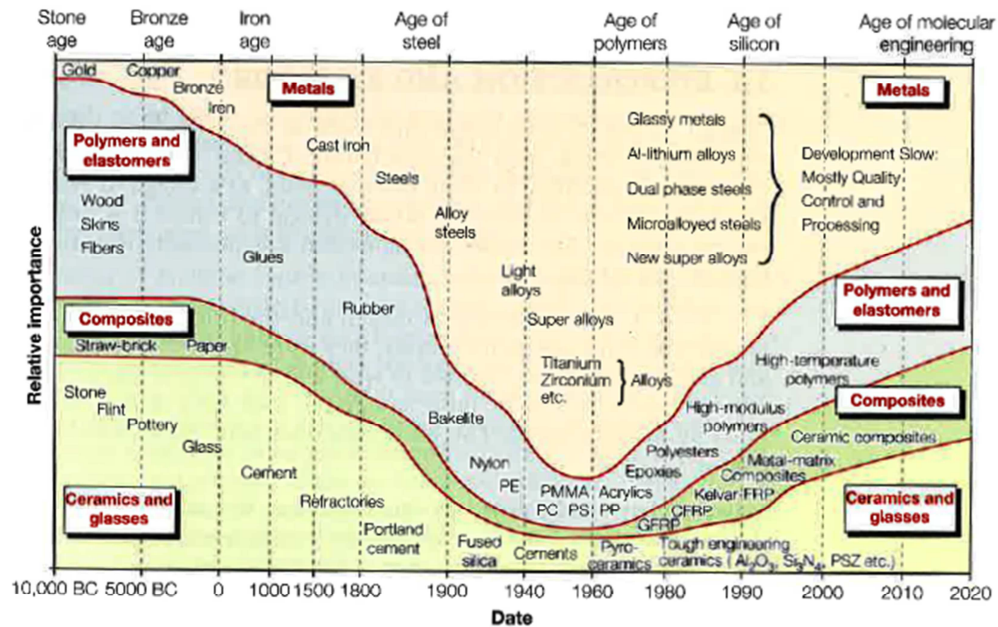
Yritysten tulee kehittää jatkuvasti tuotteitaan, jotta yritys pysyy kilpailukykyisenä. Olemassa olevia tuotteita parannetaan tai ne korvataan uusilla. Tuotteiden elinikä lyhenee ja kiristynyt kansainvälinen kilpailu pakottaa yritykset nopeampaan tuotekehitysrytmiin. Uudistumistarve vaihtelee tuotteiden ja markkina-alueiden mukaan. Kulutuselektronikassa tuotteiden uusiutuminen on nopeinta, johtuen kansainvälisistä avoimista markkinoista ja nopeasta teknologian kehitymisestä. Kilpailun seurauksena yleensä tuotteiden hinnat laskevat ja samalla ominaisuudet paranevat.

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaisala Oyj:lle. Vaisala Oyj on suomalainen pörssiyritys, joka kehittää ja valmistaa ympäristön ja teollisuuden mittausratkaisuja globaaleille markkinoille.

Vaisalan tuotteiden tyypillisiä ominaisuuksia on pitkä käyttöikä, hyvä suorituskyky, luotettavuus ja korkea laatu. Tuotteiden avulla tehtävillä päätöksillä suojellaan ihmishenkiä ja omaisuutta.

2 Materiaalien kehitys

Materiaalien kehittyminen on ollut jatkuva prosessi koko ihmiskunnan historia aikana. Materiaalien tärkeyttä ihmiskunnan historiassa kuvaa se, että materiaalien nimiä käytetään kuvaamaan eri ihmiskunnan kehitysvaiheita, kuten kivi-, pronssi- ja rautakausi. Materiaalien kehityksen päämääränä on ollut kehittää parempia ja tehokkaampia koneita ja laitteita. Kuvassa 1 on esitettyä materiaalien suhteellisen käytön historiaa. Kuvan mukaan ensimmäiset ihmiset käyttivät nykyaikaisiin materiaaliryhmiin kuuluvia materiaaleja, vähän metalleja, enemmän luonnosta sellaisenaan löytyviä polymeerejä ja keraameja. Kuvasta nähdään myös, että materiaalien kehittyminen oli aluksi hyvin hidasta, mutta tarve kehittää ominaisuuksiltaan parempia materiaaleja johti luonnonmateriaalien jalostamiseen. Metallien valtakausi on ollut huipussaan noin 1960-luvulla. Erilaiset avaruusohjelmat ja ominaisuuksiltaan kevyiden lujien materiaalien tarve johti materiaalikehitystä nykyiseen suuntaan. Polymeerien, keraamien ja komposiittimateriaalien uuteen tulemiseen. Näiden materiaalien käyttö on laajentunut avaruus- ja ilmailuteollisuudesta muille tekniikan alueille. Luonnonmateriaalien lisäksi on kehitetty erilaisia synteettisiä materiaaleja keraamien, polymeerien ja komposiittien ryhmään. [1, s. 2–11; 2, s. 260–261.]



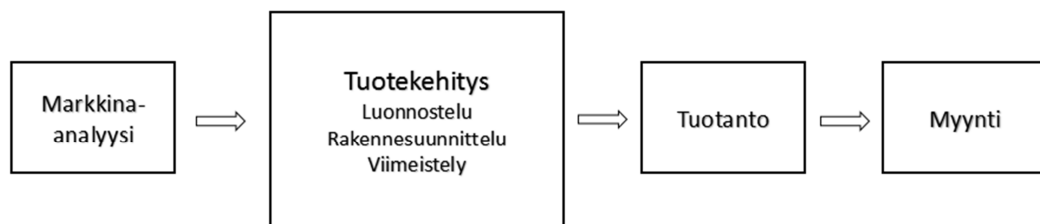
Kuva 1. Materiaalien suhteellisen käytön kehitys [1, s. 1].

Materiaalien parempien ominaisuuksien lisäksi materiaalien kehitystä ohjaavat taloudelliset paineet, huoli ympäristöstä, rajoittavat säädökset ja direktiivit, esteettisyys ja maku. Materiaalien tulee olla kierrätettäviä, paremmin korroosiota kestäviä, luotettavia, vähemmän ympäristöhaittoja aiheuttavia ja yhtä aikaa lujia, kevyitä ja jäykkiä. [2, s. 262.]

On arvioitu, että erilaisia materiaaleja on saatavilla noin 160 000 ja niiden ominaisuudet paranevat ja määrä kasvaa jatkuvasti. Tämän vuoksi on tärkeää kartoittaa materiaalivaihtoehdot aina uutta tuotetta suunniteltaessa. Myös tarpeen vaatiessa voidaan olemassa olevan tuotteen materiaalivaihtoehdot selvittää ja vaihtaa materiaali paremmin haluttuja ominaisuuksia vastaavaksi. [1, s. 3.]

3 Materiaalit ja tuotekehitysprosessi

Materiaalin valinta on osa tuotekehitysprosessia. Tuotekehitysprosessi voi alkaa markkina-analyysin perusteella havaitusta tuotetarpeesta ja se loppuu kun tuote on saatu markkinoille. Tuotteen ylläpitovaihe jatkuu tästä siihen saakka, kun tuotteen valmistus ja huolto on lopetettu. Tässä työssä tuotteella tarkoitetaan sellaista tuotetta, missä käytetään yhtä tai useampaa materiaalia. Tuote voi koostua useista osista, kuten esimerkiksi polkupyörä, kuulalaakeri tai kirves. Jokaisella tuotteen osalla on toiminnallisia vaatimuksia ja ne voivat olla hyvin erilaisia tuotteen sisällä. Tuotesuunnittelun tavoite on täyttää asiakastarpeet ja toiveet mahdollisimman kustannustehokkaasti konkreettisella tavalla. Kuvassa 2 on esitetty tuotekehitysprosessin yleiset vaiheet. [3, s. 86.]



Kuva 2. Tuotekehitysprosessi [3, s. 86].

Jos tuoteidea on kokonaan uusi tai kyseessä on yritykselle uuden teknologian käyttöönotto, niin tuotekehitysprosessia voi edeltää esitutkimus. Esitutkimuksessa selvitetään tuoteidean toteuttamiseen tarvittavat teknologiat, voimassa olevat patentit, standardit ja normit sekä tehdään tarvittavat kilpailija-analyysit. Tuotekehitysprojektissa laaditaan tuotekehitysehdotus, joka pitää sisällään valitun teknologian, kuvauksen tuotteesta, tekniset ja taloudelliset vaatimukset ja arviot käytettävästä tuotekehityspanoksesta ja aikataulusta. [4, s. 16.]

Tuotteen kehittämisessä on kolme keskeistä osa-aluetta, markkinointi, suunnittelu ja valmistus [5, s. 3].

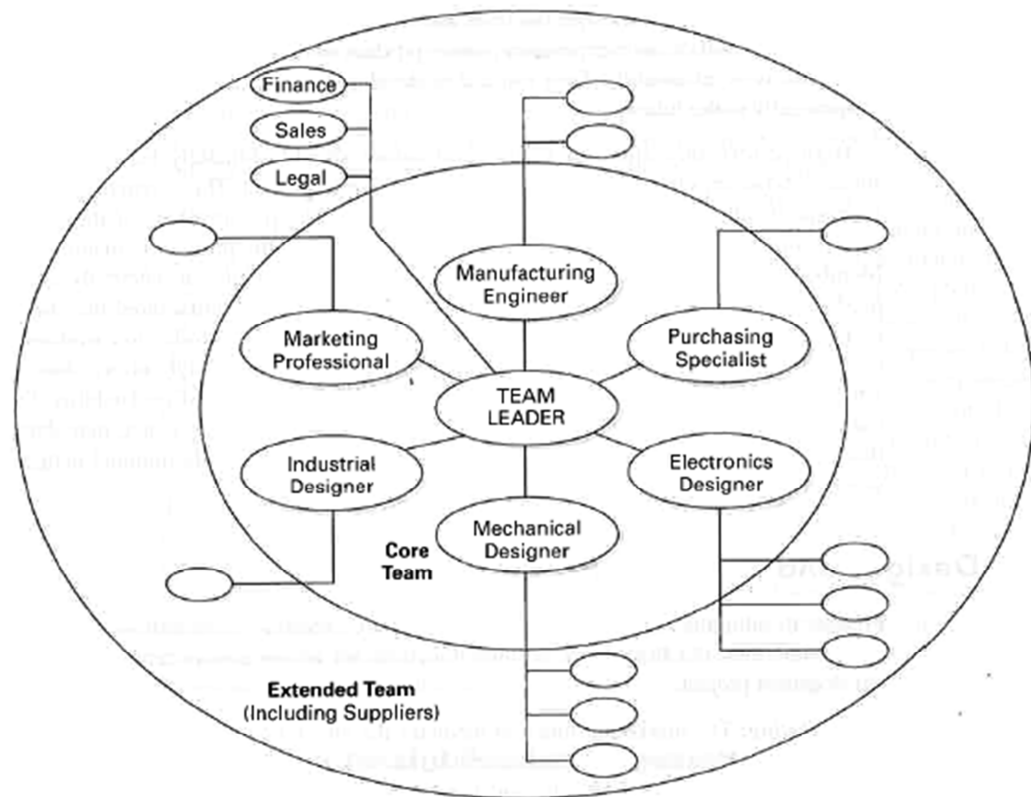
Markkinointi auttaa selvittämään tuotteen markkinasegmenttiä, mahdollisuuksia ja asiakastarpeita. Markkinoinnilla on myös suorat kontaktit asiakkaisiin ja tietoa kilpailijoista, jolloin voidaan määrittää hinta- ja lanseeraustavoite tuotteelle.

Suunnittelulla on johtava rooli määriteltäessä tuotteen fyysistä muotoa vastaamaan parhaiten asiakastarpeisiin. Suunnittelulla tarkoitetaan tässä mekaniikka-, elektroniikka-, ohjelmisto- ja testaussuunnittelua sekä teollista muotoilua. [5, s. 3.]

Tuotanto vastaa tuotteen valmistukseen liittyvästä toimitusketjusta, johon kuuluu yleisesti ostotoiminto, logistiikka, kokoonpano, laitetestaus, pakkaus, lähettäminen, asennus ja huolto. Näistä toiminnoista voidaan käyttää nimitystä toimitusketju (supply chain). [5, s. 3.]

Hyvin harvoin tuote suunnitellaan yksilötyönä. Yleensä tuotekehitysprosessi on ryhmätyötä, joka tehdään projektina. Projektiryhmän ytimen muodostaa projektijohtaja ja siihen kootut tarvittavat eri alojen asiantuntijat. Kuvassa 3 on esitetty ydinprojektiryhmä ja sen ulkopuolella olevat läheiset sidosryhmät. Kuvassa olevan projektin ydinryhmän muodostaa projektijohtaja, elektroniikka- ja mekaniikkasuunnittelija, teollinen muotoilija, markkinoinnin edustaja, valmistuksen ja oston asiantuntija. Projektiryhmä kokoontuu säännöllisesti ja raportoi työn edistymisestä sidosryhmille ja mahdolliselle ohjausryhmälle. Ydinryhmän ulkopuolelle on kuvattu yrityksen talous-, myynti- ja lakiosasto. Siihen kuuluvat myös alihankkijat ja materiaalin toimittajat. [5, s. 4.]

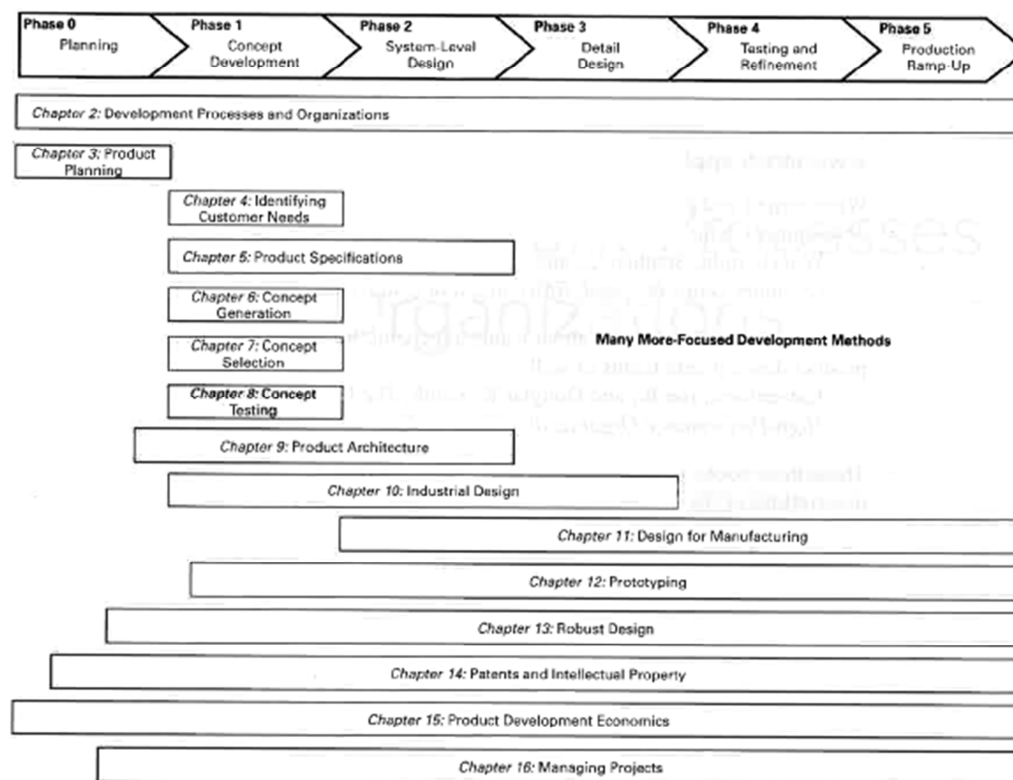
Ohjausryhmä seuraa projektiryhmän toimintaa aktiivisesti ja huolehtii, että projektilla on riittävät resurssit koko ajan käytössä ja että projekti etenee sovitulla aikataululla ja pysyy budjetissa. Ohjausryhmä puuttuu kuvasta 3.



Kuva 3. Tuotekehitysprosessin projektiryhmä ja sidosryhmät [5, s. 4].

Projektiryhmä muodostetaan projektin alussa ja puretaan, kun tuotteen valmistus on onnistuneesti saatu käyntiin.

Product design and development-kirjan mukaan geneerinen projekti voidaan jakaa kuuteen erilaiseen vaiheeseen. Kuvassa 4 on esitetty tuotekehitysprosessin vaiheet alusta (vaihe 0) tuotannon ylösajovaiheeseen saakka (vaihe 5). Materiaalin valinta alkaa konseptointivaiheessa (vaihe 1), ja lopulliset valinnat tehdään yksityiskohtaisen suunnitteluvaiheen aikana (vaihe 3).



Kuva 4. Tuotekehitysprosessi ja siihen liittyvät tehtävät [5, s. 9].

Vaihe 0. Suunnittelu (Planning)

Tässä vaiheessa hyväksytään tuotekehityshanke ja käynnistetään tuotekehitysprojekti. Määritellään projektin ja tuotteen markkinatavoitteet ja lisäksi rajoitteet. Tuotekehitysprojektin teknologian ja markkinatavoitteen tulee olla yrityksen strategian mukaisia. [5, s. 13.]

Vaihe 1. Konseptisuunnittelu (Concept Development)

Konseptivaiheessa kootaan ja tunnistetaan asiakasvaatimukset, tuotetaan ja arvioidaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja ja valitaan niistä sopivat jatkokehitykseen ja testaukseen. Konseptointivaiheessa kuvataan tuotteen muoto, toiminnot ja ominaisuudet ja asetetaan spesifikaatiot, analysoidaan kilpailevat tuotteet ja taloudelliset perusteet projektille. Tässä vaiheessa alkaa materiaalivaihtoehtojen kartoittaminen.

Vaiheen tuotoksena on yleensä geometrinen sijoittelupiirros tuotteesta, toimintojen kuvaus jokaisesta alikokoonpanosta ja alustava prosessivuokaavio lopullisesta kokoonpanoprosessista. [5, s. 15.]

Vaihe 2. Järjestelmätason suunnittelu (System-Level Design)

Järjestelmän suunnitteluvaihe sisältää tuotearkkitehtuurisen ja tuote-erittelyn alijärjestelmiin ja komponentteihin. Lopullisen kokoonpanon suunnitelma tuotannolle määritellään tässä vaiheessa. Tämän vaiheen tuotoksena on yleensä geometrinen sijoittelupiirros tuotteesta, toimintojen kuvaus jokaisesta alikokoonpanosta ja alustava prosessivuokaavio lopullisesta kokoonpano prosessista. [5, s. 15.]

Vaihe 3. Yksityiskohtainen suunnittelu (Detail Design)

Tämä vaihe sisältää tuotteen yksityiskohtaisen suunnittelun, muodot, mitat, toleranssit, materiaalit, piirustuksella tehtävät osat ja ostettavat standardiosat. Tämän vaiheen tuotoksena syntyy kokoonpano- ja osapiirustukset, 3D-mallit ja osaluettelo. Tuotantotyökalut voidaan valmistaa syntyneen dokumentaation perusteella. Tuotteen tuotantokustannukset ja luotettavuus voidaan arvioida. Tässä vaiheessa tehdään lopulliset materiaali- ja pintakäsittelyvalinnat. [5, s. 15.]

Vaihe 4. Testaus ja viimeistely (Testing and Refinement)

Testaus- ja viimeistelyvaiheessa tuotteesta tehdään protosarja tuotantotyökaluilla. Protosarjan tuotteille tehdään erilaisia testejä, kuten ympäristö-, luotettavuus- ja suorituskykytestejä. Tuotteilla tehdään myös vaaditut hyväksyntätestit. Aloitetaan pitkäaikaiset kenttätestit ja toimitetaan valituille asiakkaille tuote testikäyttöön. Koulutetaan myynnin, tuotannon ja huollon henkilöstö. Tuotteen lanseeraus voidaan aloittaa tämän vaiheen aikana. [5, s. 15.]

Vaihe 5. Tuotannon ylösajo (Production Ramp-up)

Aloitetaan tuotannon täysimittainen ylösajo, sarjatuoanto. Ensimmäiset tuotteet toimitetaan asiakkaille. Tuotekehitys seuraa tuotannon ylösajovaihetta ja arvioi tuotannosta tulevien laitteiden suorituskykyä. [5, s. 15.]

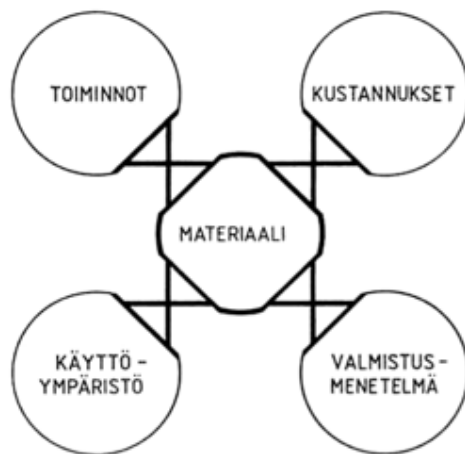
Materiaalin- ja pintakäsittelyn lopullinen valinta tehdään yksityiskohtaisen suunnitteluvaiheen aikana edellä olevan tuotekehitysprosessin mukaan. Esitetyssä tuotekehitysprosessissa voidaan palata aina edelliseen vaiheeseen ja vaiheet voivat sisältää useita oppimisvaiheita. Vaiheesta toiseen edetään, kun on saavutettu kyseessä olevan vaiheen tavoitteet. [5, s. 15.]

4 Materiaalin valintaan vaikuttavat tekijät

Materiaalin valintaan vaikuttavat kuvan 2 mukaiset riippuvuussuhteet, kuten toiminnot, kustannukset, valmistusmenetelmä ja käyttöympäristö [2, s.11].

Konetekniikan materiaaliopin mukaan:

Materiaali on riippuvainen kaikista vaatimuksista ja kukin vaatimus puolestaan materiaalista [2, s. 11].



Kuva 5. Materiaalin riippuvuus erilaisista vaatimuksista [2, s. 11].

Toimintojen vaatimukset

Laitteen ja sen osien suunnittelun alkuvaiheessa tulee selvittää niiltä odotettavat toiminnot. Materiaalin tulee tukea näiden vaatimusten saavuttamista. Osalle voi tulla hyvin erilaisia vaatimuksia, mutta jokin näistä vaatimuksista tulee määrääväksi ja avainasemaan materiaalivalinnassa. Vaatimukset voivat olla myös keskenään

ristiriitaisia, esimerkiksi keveys ja kuormankatokyky, tällöin on tehtävä valinta vaatimusten välillä ja pyrittävä mahdollisimman hyvään kompromissiin. [2, s. 9.]

Kustannusvaatimukset

Jotta tuote olisi kilpailukykyinen, myös hinnan osalta, on tuotteen ja sen osien kustannuksista oltava selvillä. Valittu valmistusmenetelmä, sarjasuuruus, materiaali ja pintakäsittely ovat merkittäviä tekijöitä yksittäisen osan kustannuksen muodostumisessa. Valmistuskustannuksiin vaikuttaa valittu valmistusmenetelmä, materiaalin ominaisuudet ja tarkkuus- ja pinnanlaatuvaatimukset. Massatuotannossa voidaan pienillä muutoksilla saada merkittäviä säästöjä. Vastaavasti yksittäisten osien valmistuksessa pienillä muutoksilla ei ole suurta vaikutusta osan kustannuksiin. [2, s. 10–11, 14–15.]

Kokonaiskustannukset eliniän aikana (Life cycle cost) muodostuvat seuraavista kustannuksista:

- tuotteen hankintakustannukset
- tuotteen valmistuskustannukset
- käyttökustannukset
- häiriö- ja seisokkikustannukset
- laadunvalvontakustannukset
- hävittämiskustannukset [2, s. 267].

Valmistusmenetelmien vaatimukset

Laite ja sen osat on pyrittävä valmistamaan mahdollisimman edullisesti, kuitenkin niin että halutut vaatimukset tulee täytettyä. Valmistusmenetelmä rajaa materiaalivalintaa esimerkkinä erilaiset valumenetelmät, joissa pyritään käyttämään hyvin valumenetelmiin soveltuvia materiaaleja. [2, s. 10.]

Alla yleiset valmistusmenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät:

- materiaalin ominaisuudet (lujuus, sitkeys, kovuus)

- kappaleen koko ja muoto
- valmistusmäärä
- osan toleranssit tai tarkkuusvaatimukset
- pinnanlaatu
- käytettävissä olevat valmistusmenetelmät [2, s. 10].

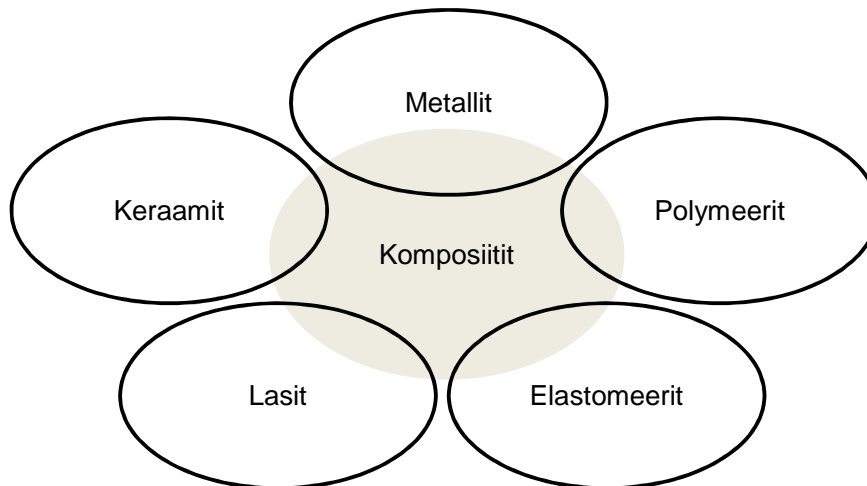
Käyttöolosuhteiden vaatimukset

Käyttöolosuhteista ja ympäristöstä aiheutuu laitteelle ja sen osille erilaisia vaatimuksia, joten ne olisi tiedettävä mahdollisimman hyvin jo suunnittelun alkuvaiheessa.

Lämpötilalla ja sen vaihtelulla on merkittävä vaikutus materiaalin lujuusominaisuuksiin ja sitkeyteen. Metallien ja polymeerien fysikaaliset ominaisuudet huononevat lämpötilan nousun seurauksena. Myös kylmässä tapahtuu sitkeyden laskua teräksillä. Lämpörasituksen kestoajalla on merkitystä esimerkkinä polymeerien viruminen. Ympäristön vaikutus, kuten korroosio-olosuhteet, UV-säteily, ilmansaasteet, lumi-, jää- ja tuulikuormat, on selvitettävä tai huolellisesti arvioitava, koska laitteen tulee toimia siellä vaaditun käyttöiän. [2, s. 10.]

5 Materiaalien ominaisuudet ja ympäristövaatimukset

Konstruktiomateriaalit on perinteisesti luokiteltu kuva 6 mukaisiin kuuteen pääryhmään. Metallit ovat olleet koneenrakennuksessa käytetyin materiaalityyppi, mutta painopiste materiaalien käytössä on siirtymässä polymeerien ja komposiittien suuntaan.



Kuva 6. Konstruktiomateriaalien pääluokat [3, s. 88].

Kuvan mukaan komposiittiryhmä poikkeaa muista materiaalityypistä. Se on yhdistelmä muista materiaalityypistä. Komposiittien materiaaliominaisuuksia voidaan helposti muunnella tarpeen mukaan, ja ne ovat yleensä kevyitä ja lujia. [3, s. 88–99.]

Yleisesti materiaaleista voidaan todeta, että niiden tulee täyttää asetetut vaatimukset ja niillä tulee olla tiettyjä ominaisuuksia.

Lujuusominaisuudet

Tuotteisiin kohdistuu käytössä rasituksia ja yleisin rasitusmuoto on staattinen rasitus eli muuttumaton rasitus. Materiaalin myötö- ja murtolujuuden on oltava suurempi kuin siihen rasituksen johdosta muodostuva jännitys. Tällöin ollaan materiaalin kimmoalueella ja pysyviä muodonmuutoksia ei synny. Materiaalin murtolujuutta ei saa kuormituksella ylittää, koska rakenne rikkoutuu eli murtuu. Tästä syystä on tärkeää tietää rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset, jotta suunnittelussa voidaan käyttää riittävää marginaalia. [2, s. 11.]

Rakenteen jäykkyys on suoraan verrannollinen materiaalin kimmomoduuliin, mikä on materiaalivakio. Kimmomoduuli on jännityksen ja venymä suhde. Kimmoalueella jännitys-venymäsuhde on lineaarinen. Rakenteen jäykkyyteen vaikuttaa kimmomoduulin lisäksi poikkipinnan suuruus ja muoto eli jäyhyys. Rakenteellista

jäykkyyttä voidaan parantaa suurentamalla poikkipinta-alaa ja muuttamalla geometriaa. [3, s. 92.]

Lämpötilaominaisuudet

Lämpötila vaikuttaa materiaalin lujuusominaisuuksiin. Yleisesti materiaalin lujuus laskee lämpötilan noustessa. Myötö- ja murtolujuus häviää kokonaan sulamislämpötilan kohdalla. Myös alhaisissa lämpötiloissa teräksillä esiintyy kylmäaurautta. Kylmäauraus ilmenee iskutietkeysarvojen alenemisena. [2, s. 11.]

Korroosio-ominaisuudet

Laitteen on toimittava suunnitellussa käyttöympäristössä halutun ajan. Joten materiaaalilta vaaditaan lisäksi korroosion- ja syöpymisenkestävyyttä. Ympäristöstä ja materiaalista johtuen korroosiotyyppejä on hyvin monenlaisia. Rakenteen rasitukset yhdessä syövyttävän ympäristön kanssa voivat kiihdyttää korroosiota. [2, s. 12.]

Pinnoittamalla perusaine voidaan parantaa muun muassa korroosionkestävyyttä, ulkonäköä ja pintakovuutta. Erilaiset pinnoitusmenetelmät valitaan joko perusaineen tai käyttötarkoituksen mukaan. [2, s. 231.]

Ympäristösäädökset- ja vaatimukset sähkö- ja elektroniikkalaitteissa

Euroopan unioni on säätänyt useita asetuksia ja direktiivejä koskien sähkö- ja elektroniikkalaitteiden sisältämien aineiden enimmäismääriä ja niiden valmistuksessa käytettäviä aineita ja kemikaaleja. Säädöksillä pyritään vähentämään tuotteiden ympäristövaikutuksia koko elinkaaren aikana ja määräykset liittyvät tuotteiden materiaaleihin, jätehuoltoon, energiatehokkuuteen tai kierrätykseen. Valmistaja vastaa siitä, että laite täyttää kaikki sitä koskevien direktiivien vaatimukset. Vaatimusten mukaisuuden osoittamiseksi ja todistamiseksi laitteet tulee merkitä CE-merkillä ja myös muilla vaadituilla merkinnöillä. Vaihtoehtoisesti nämä tiedot voivat olla pakkauksessa tai laitteen mukana toimitetussa asiakirjassa. [6.]

Euroopan unioni on säätänyt RoHS-direktiivin 2011/65/EU, joka rajoittaa vaarallisten aineiden kuten kadmiumin (Cd), lyijyn (Pb), elohopean (Hg), kuudenarvoisen kromin

(Cr⁶⁺), polybromattujen bifenyyliden (PBB) ja polybromattujen difenyyleetterien (PBDE) käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Lisäksi keväällä 2015 on julkaistu komission delegeoitu direktiivi 2015/863/EU, missä on lisätty vaarallisten aineiden luetteloon 2-etyyliheksyyliftalaatti (DEHP), butyylibentsyyliftalaatti (BBP), dibutyyliftalaatti (DBP) ja di-isobutyyliftalaatti (DIBP). Näiden direktiivien tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä sekä rajoittaa jätteiden haitallisuutta. Vaaralliset aineet ja niiden enimmäispitoisuudet homogeenisessä materiaalissa on määritelty direktiivin liitteessä II. Taulukossa 1 on esitetty direktiivin mukaiset vaaralliset aineet ja sallitut maksimipitoisuusmäärät homogeenisessä aineessa. [7.]

Taulukko 1. Vaarallisten aineiden sallitut enimmäispitoisuudet ja poikkeukset [8].

| Vaarallinen aine | Enimmäispitoisuus, paino-% |
|--|----------------------------|
| Kadmium, Cd | 0,01 |
| Lyijy, Pb | 0,1 |
| Elohopea, Hg | 0,1 |
| Kuudenarvoinen kromi, Cr ⁶⁺ | 0,1 |
| Polybromibifenyylit, PBB | 0,1 |
| Polybromidifenyyleetterit, PBDE | 0,1 |
| Bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti, DEHP | 0,1 |
| Butyylibentsyyliftalaatti, BBP | 0,1 |
| Dibutyyliftalaatti, DBP | 0,1 |
| Di-isobutyyliftalaatti, DIBP | 0,1 |

Direktiiviä on päivitetty useita kertoja ja siinä on annettu poikkeuksia joidenkin aineiden kohdalla käyttötarkoituksen mukaan, joten direktiiviä tulee seurata.

Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden romudirektiivin WEEE 2012/19/EU tarkoituksena on ennalta ehkäistä sähkö- ja elektroniikkalaitteiden romun syntymistä ja lisäksi edistää romun uudelleenkäyttöä, kierrätystä, hyödyntämistä ja vähentää loppukäsittelyyn tulevan jätteen määrää [9].

REACH-asetus rajoittaa kemikaalien käyttöä, ja asetuksen mukaan laitteiden valmistajan tulee olla selvillä, onko sen valmistamissa laitteissa säädösten alaisia aineita sekä missä laitteen osassa ja kuinka paljon niitä on. Erityisesti huolta aiheuttavat aineet on koottu niin sanotulle kandidaattilistalle, jota ylläpidetään ja päivitetään Euroopan kemikaaliviraston verkkosivuilla. [10.]

Tukesin verkkosivulta otettu suora lainaus valmistajan vastuusta [10]:

Esineen valmistajan tai maahantuojan tulee antaa riittävät tiedot esineen turvallisesta käytöstä vastaanottajalle sekä pyynnöstä kuluttajille, jos esine sisältää kandidaattilistan ainetta yli 0,1 painoprosenttia. Tiedottamisvelvollisuus tulee voimaan heti, kun aine julkaistaan kandidaattiluettelossa.

Akku- ja paristodirektiivin (2006/66/EY) tavoitteena on edistää niiden keräystä ja kierrätystä EU:n alueella. Direktiivissä säädetään ainerajoituksia, määritetään tuottajavastuuta ja annetaan merkintävelvoitteita. Lisäksi laitteiden tuotesuunnittelussa on otettava huomioon vaatimus akkujen ja paristojen helposta irrotettavuudesta. [11.]

Ekosuunnitteludirektiivin 2009/125/EY tarkoituksena on vähentää tuotteiden ympäristövaikutuksia, parantaa energiatehokkuutta ja edistää kestäväää kehitystä ja ympäristönsuojelun tasoa sekä energiahuoltovarmuutta. Direktiivi on puitedirektiivi, jonka nojalla annetaan tuoteryhmäkohtaisia täytäntöönpanotoimenpiteitä. [12.]

F-kaasuasetus, N:o 517/2014, astui voimaan 1.1.2015 kaikissa EU:n jäsenvaltioissa. Asetuksen tavoitteena on vähentää fluorattujen kaasujen käyttöä. Fluoratut kasvihuonekaasut ovat usean kemiallisen yhdisteen muodostama ryhmä kasvihuonekaasuja ja niihin kuluvat fluorihiihivedyt (HFC-yhdisteet), perfluorihiihivedyt (PFC-yhdisteet) ja rikkiheksafluoridi (SF₆). Kaasuja käytetään pääosin kylmä- ja ilmastointilaitteissa, lämpöpumpuissa, solumuovien valmistuksessa sekä aerosoleina ja liuottimina. Kaasujen käyttöä rajoitetaan vuodesta 2020 alkaen ja kaasuja sisältävien tuotteiden merkintävaatimuksia tiukennetaan ja tarkennetaan. [13.]

Biosidiasetus, N:o 528/2012, astui voimaan 17.7.2012 kaikissa EU:n jäsenvaltioissa. Biosidit ovat kemiallisia aineita, valmisteita tai pieneliöitä, joilla on tarkoitus tuhota, torjua tai tehdä haitattomaksi haitallisia eliöitä, estää niiden vaikutusta tai rajoittaa niiden esiintymistä. Näitä aineita ovat muun muassa teollisuustuotteissa käytetyt säilytys- ja puunsuoja-aineet ja niitä saatetaan käyttää kiinnittymisenestomaaleissa (antifouling). Asetuksen mukaan myös biosidillä käsitellyt esineet kuuluvat asetuksen piiriin ja ne on merkittävä asetuksen mukaisesti. [14.]

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi pakkauksista ja pakkausjätteestä 94/62/EY. Direktiivin tarkoitus on ehkäistä pakkajätteiden syntymistä, lisätä niiden

uudelleenkäyttöä ja muunlaista hyödyntämistä sekä kierrätystä. Pakkausten tulee täyttää direktiiviin liittyvien yhdennettyjen standardien asettamat vaatimukset. [15.]

6 Materiaalin valinta

Materiaalin valinta on osa tuotekehitysprosessia. Siinä lähtökohtana on kehittää tuote, joka täyttää sille asetetut toiminnot ja vaatimukset suunnitellun käyttöiän aikana halutussa käyttöympäristössä mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti ja turvallisesti. Nämä asettavat vaatimuksia tuotteen suunnittelulle ja myös käytettäville materiaaleille ja niiden ominaisuuksille. Materiaalien pitkäaikaiskestävyys ja luotettavuus ovat usein merkittävässä roolissa tuotteen kilpailukyvyyn ja menestymisen kannalta. [2, s. 248.]

Materiaalien jatkuva lukumäärän lisääntyminen, ominaisuuksien ja valmistusmenetelmien kehittyminen johtavat materiaalin valinnan yhä suurempiin haasteisiin. Vaikeutta lisää myös materiaalitekniikan yleinen kehittyminen, niihin kohdistuvien vaatimusten tason kohoaminen, taloudellisten seikkojen korostuminen ja ympäristön huomioonottaminen. [2, s. 248.]

Ympäristövaatimukset voivat kohdistua tuotteiden tai sen osien materiaalisältöön, energiankulutukseen tai tuotannossa syntyvien päästöjen ja jätteiden vähentämiseen. Näiden vaatimusten johdosta lopputuotteen valmistajan on tunnettava ja varmistettava koko toimitusketjun toiminta. [2, s. 248.]

Materiaalin valinnassa tulee esille myös materiaalin käsittelytila, koska sillä on merkitystä materiaalin ominaisuuksiin. Valinnan onnistuminen ja tavoitteeseen pääsy edellyttää suunnittelijalta materiaalien rakenteen, ominaisuuksien ja niiden välisten yhteyksien ja materiaalien valmistukseen liittyvien asioiden hallintaa ja käsitystä niiden valintaan liittyvistä kustannustekijöistä. [2, s. 248.]

Materiaalin valintaa tehdään suunnitteluprosessin aikana monella eri tasolla. Suunnittelun alkuvaiheessa kaikkien materiaalien joukosta valitaan ne, joita on mahdollista käyttää tuotteen valmistuksessa. Tässä vaiheessa materiaaleista tarvittavat tiedot ovat hyvin yleisellä tasolla. Suunnittelun edetessä materiaali joukko

supistuu ja materiaaleista tarvitaan yksityiskohtaisempaa ja täsmällisempää tietoa. Lopulta päädytään valitsemaan yksi ainoa materiaali, joka täyttää kaikki halutut vaatimukset. Jos vaatimukset ja materiaalien ominaisuudet eivät vastaa toisiaan, on seurauksena pahimmillaan epäonnistunut tuote, jolla ei ole kilpailukykyä. Tästä voi seurata uudelleen suunnittelukierros, mistä seuraa että kustannukset sekä aikataulu ylitetään. [2, s. 249.]

6.1 Materiaalin valintaprosessi

Materiaalin valinta on jatkuva prosessi, mikä saattaa kestää koko tuotteen eliniän. Valintaprosessi koostuu seuraavista päävaiheista:

- tuotteen tehtävien ja toimintojen kartoitus
- vaatimusprofiilin laadinta
- valintastrategian päättäminen
- materiaalien esivalinta
- ominaisuusprofiilin laadinta
- vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen
- prototyypin tai tuotteen valmistus
- käyttöseuranta
- mahdolliset uudelleenarvioinnit ja paluu valintaprosessin sopivaan vaiheeseen [2, s. 249].

6.1.1 Vaatimusprofiilin laadinta

Konetekniikan materiaaliopin mukaan:

Tuotteen tehtävät ja toiminnot on huolellisesti koottava mahdollisimman kattavasti eri näkökulmat huomioonottaen, myynnin, valmistuksen, huollon, laadun ja tuotekehityksen osalta [2, s. 249].

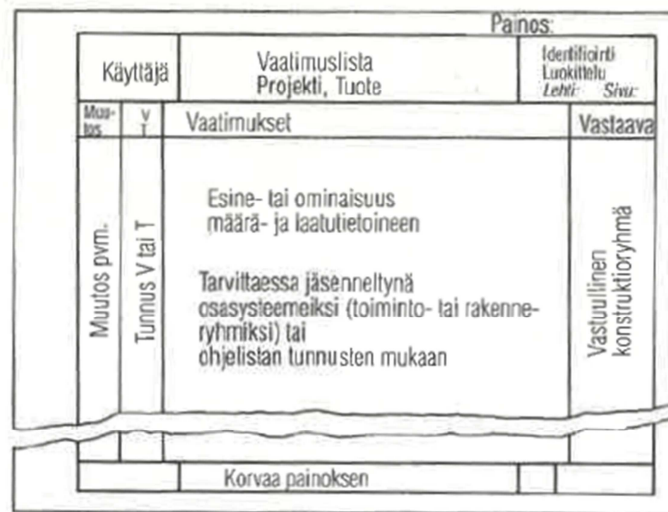
Vaatimusprofiiliin tai vaatimuslistaan kootaan kaikki tuotteelta tai sen materiaalilta edellytettävät vaatimukset. Vaatimukset voivat liittyä toimintaan, ympäristöön, valmistukseen, kustannuksiin, kierrätettävyyteen ja hävitykseen sekä viranomaismääräyksiin. Taulukossa 2 on esitetty esimerkkinä lenkkitossun pohjan materiaalin vaatimusprofiili. [2, s. 249.]

Taulukko 2. Lenkkitossun pohjan materiaalin vaatimusprofiilin esimerkki [2, s. 249].

| |
|---|
| <p>A. Toimintojen vaatimukset</p> <p>Muodon säilyttäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> - tossun pohjan on tuettava jalkaa pitkänkin käytön jälkeen materiaalissa ei saa tapahtua pysyviä muodonmuutoksia pitkäaikaisen toistuvan rasituksen yhteydessä (viruminen) - pohja ei saa liiaksi kuluua, murtua tai murentua käytön aikana (pitkäaikaiskestävyys) <p>Iskujen ja tärähdysten vaimennus</p> <ul style="list-style-type: none"> - pohjan on oltava joustava ja kimmoinen - sama vaatimus tulee jo siitä, että kävely ylipäättänsä olisi mahdollista • kimmoisuus edesauttaa juoksutapahtumaa myös kovalla alustalla • pohjalla on oltava myös tietty jäykkyys - pohjan on tasattava myös kengän alle jäävien kivien ym. alustan epätasaisuuksien vaikutusta <p>Väsymiskestävyys</p> <ul style="list-style-type: none"> - pohjaan kohdistuu käytön aikana edestakainen muodonmuutos usein hankalissa ympäristöolosuhteissa <p>Riittävä kitka erilaisiin alustoihin nähden</p> <ul style="list-style-type: none"> - pohja ei saa olla liukas mitään alustaa vasten, ei edes jääkeleillä <p>Riittävä lämmöneristys myös talvikäytön mahdollistamiseksi</p> <p>Materiaalin siisteys ja hygieenisuus</p> <ul style="list-style-type: none"> - pohja ei saa tahrata asuinhuoneiden lattiaita (vrt. kumisaappaista jäävät mustat viirut) likaa hylkivä materiaali |
| <p>B. Ympäristön vaatimukset</p> <p>Matalat käyttölämpötilat mahdollisia</p> <ul style="list-style-type: none"> - materiaali ei saa jäykistyä tai murtua pakkasessaakaan - kovettumiseen liittyy yleensä myös jonkinasteisen liukkauden kehittyminen <p>Kosteuden ja korrodoivien aineiden (esim. öljy, tiesuola jne.) sietokyky</p> <ul style="list-style-type: none"> - vesitiivisyys ja veden imemättömyys - vanheneminen ja pitkäaikaiskestävyys - korrodoivat aineet eivät saa aiheuttaa ominaisuusmuutoksia (esim. haurastumista) pitkälläkään aikavälillä <p>Otsonin ja UV-säteilyn sietokyky</p> <p>Kuluttavat olosuhteet</p> <ul style="list-style-type: none"> - pohja ei saa kulua liian nopeasti esim. sora-, kivi- ja asfalttialustoilla |
| <p>C. Valmistettavuuden vaatimukset</p> <p>Tuotantomäärät suuria, sarjatuotantoon soveltuva menetelmä</p> <ul style="list-style-type: none"> - valmistuksen on oltava automatisoitavissa ja materiaalin on sovelluttava automaattiseen valmistukseen - esim. muottipuristus tai ruiskupuristus mahdollisia <p>Kengän kokoamista ajatellen materiaalin on sovelluttava liimaukseen</p> <ul style="list-style-type: none"> - liimaliitoksen pitkäaikaiskestävyys olennaista |
| <p>D. Kustannusten vaatimukset</p> <p>Valmistusmäärät suuria ja valmistus automatisoitua</p> <ul style="list-style-type: none"> - materiaalikustannukset merkittävä osa kokonaiskustannuksista <p>Käytön aikaiset kustannukset pieniä</p> <p>Kierrätettävyys ja uusiokäyttö suotavia</p> <ul style="list-style-type: none"> - tähän liittyvät kustannukset vaikeasti arvioitavissa ja todennäköisesti suuria |

Taulukosta voidaan havaita, että vaatimukset on ryhmitelty toimintojen, ympäristön, valmistettavuuden ja kustannusten mukaisiin ryhmiin.

Vaatimuslistassa voidaan erotella toisistaan vaatimukset (V) ja toiveet (T). Vaatimukset tulee täyttää kaikissa olosuhteissa, ja täyttämättä jättäminen aiheuttaa ratkaisuehdotuksen hylkäämisen. Toiveet otetaan huomioon ja mahdollisuuksien mukaan ne pyritään täyttämään. Vaatimusten ja toiveiden erottelua pidetään tärkeänä, koska myöhemmin arvioidaan onko tuotteen vaatimukset pystytty täyttämään. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkinä vaatimuslistan rakenne. [16, s. 64–65.]



Kuva 7. Vaatimuslistan esimerkkirakenne [15, s. 65].

Vaatimuslistan muoto, rakenne ja taltiointitapa voidaan muokata yrityksen ja projektien tarpeiden mukaan.

6.1.2 Valintastrategia ja materiaalien esivalinta

Valintastrategiaksi voidaan valita edullinen valmistusmenetelmä ja alhainen myyntihinta tai vaihtoehtoisesti pyrkiä tekemään korkealaatuinen tuote. Edullisesti valmistetun tuotteen käytön aikaiset kustannukset ovat suuremmat ja käyttöikä lyhyempi kuin korkealaatuisen tuotteen. Elinkaarikustannuslaskelmilla (LCC- eli Life Cycle Cost) voidaan tarkastella materiaaleihin liittyviä kustannuksia koko tuotteen elinkaaren aikana. [2, s. 251.]

Rajataan kaikki epätodennäköiset materiaalit ja materiaalityypit pois jatkotarkastelusta. Tavoitteena on rajata tarkasteltavat materiaalit järkeväksi joukoksi. [2, s. 251.]

6.1.3 Ominaisuusprofiilin laadinta

Ominaisprofiili on materiaali-kohtainen ja siinä kuvataan materiaalin ominaisuuksien vastaavuutta vaatimusprofiilin sisältämiin vaatimuksiin. Ominaisprofiilia laadittaessa vastataan seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä ominaisuuksia asetetut vaatimukset edellyttävät?
- Mitkä ovat nämä ominaisuudet kunkin kyseeseen tulevan materiaalin tapauksessa?
- Mikä on kunkin ominaisuuden painoarvo tuotteen toiminnan kannalta?

Esimerkkinä lenkkiosun pohjan ominaisuusprofiili on esitetty taulukossa 3. [2, s. 251.]

Taulukko 3. Lenkkiosun pohjan ominaisuusprofiiliin sisältyvien ominaisuuksien etsiminen taulukon 1 vaatimusprofiilin pohjalta [2, s. 251].

| Vaatus | Ominaisuudet |
|--|---|
| A. Toiminnot | |
| - muodon säilyttäminen | - (myötölujuus), vauriokestävyys, väsymislujuus, kulumiskestävyys |
| - valmistus | - viskoelastiset ominaisuudet (häviömoduuli) |
| - väsymiskestävyys | - väsymislujuus |
| - kitkaominaisuudet | - kitakerroin |
| - lämpöeristys | - lämmönjohtavuus |
| - siisteys ja hygieenisuus | - käytetyt täyteaineet |
| B. Käyttöympäristö | |
| - matalat käyttölämpötilat | - lasimuutoslämpötila |
| - kosteus, korroosio, säteilykestävyys | - stabiiliisuus, vanhenemiskestävyys |
| - kuluminen | - kulumiskestävyys |
| C. Valmistuksen vaatimukset | |
| - valmistusmenetelmä | - valettavuus, ruiskupuristettavuus jne. |
| - liimattavuus | - adhesio-ominaisuudet, pintakäsiteltävyys |
| D. Kustannukset | |
| - valmistuskustannukset | - materiaalin hinta |
| - käytön aikaiset kustannukset | - vanhenemiskestävyys |
| - kierrätettävyys ja uusiokäyttö | - keräily-, lajittelu- ja uudelleenprosessointikustannukset |

Taulukosta voidaan havaita, että eri toiminnoista on johdettu yksi tai useampi materiaalin ominaisuuteen liittyvä vaatimus. Esimerkiksi lenkkikossun pohjalta vaaditaan hyvää lämmöneristystä eli huonoa lämmönjohtavuutta. Siitä johdettu materiaaliominaisuuden vaatimus on materiaalin lämmönjohtavuus. Materiaaleille ilmoitetaan lämmönjohtavuus yksikössä W/Km. Materiaalivaihtoehtojen lämmönjohtavuusarvojen perusteella materiaalit voidaan asettaa paremmuusjärjestykseen tämän ominaisuuden perusteella. [2, s. 251.]

Tavoitteena on saada taulukkoon numeroarvoja, joita voidaan käyttää ominaisuuksien vertailussa suoraan. Jos ominaisuudelle ei ole annettavissa suoraan numeroarvoa, ovat materiaalit asetettava suhteellisesti ominaisuuden mukaan paremmuusjärjestykseen. Esimerkiksi UV-valon tai säteilyn kestävyys on suhteellinen ominaisuus, joten parhaiten kestäväälle materiaalille annetaan suurin numeroarvo ja huonointen kestäväälle pienin arvo. Jos materiaalin ominaisuus täyttää vähimmäisvaatimuksen, niin ominaisuuden lukuarvoksi voidaan antaa korkein numeroarvo esimerkiksi 100. Jos ominaisuus ei täytä vähimmäisvaatimusta, niin lukuarvoksi voidaan antaa nolla tai jokin sataa pienempi luku. Annettava ominaisuuden lukuarvo riippuu kuitenkin siitä kuinka tärkeä on ominaisuuden vähimmäisvaatimuksen täytyminen tuotteen toiminnan kannalta ja kuinka paljon ominaisuus jää alle vähimmäisvaatimustason. On tärkeää antaa maksimiarvo kaikille vähimmäisvaatimustason ylittävälle materiaaleille, koska näin estetään ylivoimaisen materiaaliominaisuuden omaavan materiaalien painottuminen arvoanalyysissä. [2, s. 252.]

Eri ominaisuuksia voidaan painottaa antamalla tärkeille ominaisuuksille suurempi painokerroin. Painokertoimet voidaan antaa harkinnanvaraisesti. Jos tuotteen lujuus, keveys ja hinta on arvioitu tärkeimmiksi ominaisuuksiksi, niin niille annetaan korkeimmat painokertoimet. Tästä seuraa, että joudutaan vertaamaan kaikkia ominaisuuksia samanaikaisesti keskenään. Tämä voidaan välttää, jos vertaillaan taulukossa kahta ominaisuutta kerrallaan. Esimerkkinä tällaisesta painokertoimien määrittämisestä on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on pystysarakkeessa ominaisuus ja sille annettu symboli, esimerkiksi myötölujuus ja symboli A. Vaakasarakkeessa ylärivillä on kukin ominaisuuden symboli. Taulukon ruudut täytetään arvioimalla kahta materiaalia keskenään. Ruutuun tulee sen ominaisuuden symboli, mikä on tärkeämpi tai parempi tarkastettavan tuotteen kannalta. Jos ominaisuudet ovat yhtä suuret, niin

ruutuun tulee molempien materiaalien symboli. Ominaisuuden tärkeyttä voidaan korostaa merkitsemällä ruutuun materiaalin symbolin eteen kerroin, jos ominaisuus arvioidaan olevan moninkertainen muihin verrattuna. Kun taulukon ruudut on saatu täytettyä, niin siitä lasketaan symbolien esiintymisen lukumäärä. Saadut lukuarvot voidaan asettaa ominaisuuksien painokertoimiksi ominaisuusprofiiliin. [2, s. 253.]

Taulukko 4. Esimerkki lenkkiosun pohjamateriaalin painokertoimien määrittämisestä [2, s. 252].

| Ominaisuus | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Myötölujuus A | | AB | AC | D | E | F | AG | H | 2I | 2J | K | 2L | M | A |
| Virumiskest. B | | | BC | D | B | BF | B | B | I | J | BK | L | BM | B |
| Väsymislujuus C | | | | CD | C | F | C | C | I | CJ | CK | L | CM | C |
| Kulumiskest. D | | | | | D | DF | D | D | I | DJ | K | L | DM | D |
| Häviömoduuli E | | | | | | F | EG | E | 2I | 2J | K | 2L | M | E |
| Kitkakerroin F | | | | | | | F | F | FI | FJ | K | FL | F | F |
| Lämmönjoht. G | | | | | | | | G | I | 2J | K | L | M | G |
| Täyteaineet H | | | | | | | | | I | 3J | 2K | L | M | H |
| Lasinmuutosl.t. I | | | | | | | | | | J | KI | IL | I | I |
| Vanh.kestäv. J | | | | | | | | | | | KJ | JL | J | J |
| Valettav. ym K | | | | | | | | | | | | KL | K | K |
| Adheesio-om. L | | | | | | | | | | | | | L | L |
| Hinta M | | | | | | | | | | | | | | M |
| Kierrätyskust. N | | | | | | | | | | | | | | |
| Yht./painokerroin | 4 | 9 | 10 | 10 | 4 | 12 | 4 | 2 | 14 | 18 | 14 | 15 | 8 | 0 |

Taulukosta voidaan havaita, että suurin painokerroin tällä menetelmällä tuli ominaisuudelle vanhenemisen kestävyys ja vastaavasti pienin kierrätyskustannuksille.

6.1.4 Vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen

Konetekniikan materiaaliopin mukaan vaatimusten ja ominaisuuksien yhteensovittaminen voidaan tehdä kahdella eri tavalla. Ensimmäisellä tavalla lasketaan vaatimus- ja ominaisuusprofiilien avulla kullekin materiaalille vertailuluku. Tämä kuvaa materiaalin soveltuvuutta kyseiseen tarkoitukseen.

Vertailuluku lasketaan yhtälöllä:

$$\text{Vertailuluku} = \sum_i (w_i M_i) / C \quad (1)$$

M_i = ominaisuusprofiiliin kuluva materiaaliominaisuuden lukuarvo

W_i = ominaisuuden painokerroin

C = kyseessä olevan materiaalin käyttöön liittyvät kustannukset

Yhtälön mukaan jokaiselle vertailtavalle materiaalille saadaan vertailuluku ja parhaiten soveltuva materiaali saa korkeimman arvon. Tämän jälkeen varmistetaan materiaalin rajoitteet, kuten saatavuus, standardit ja säädökset. Jos materiaali täyttää nämä rajoitteet on materiaalivalinnan ensimmäinen vaihe saavutettu ja voidaan edetä seuraavaan vaiheeseen prototyypin valmistukseen.

Toinen tapa on määrittää materiaaliominaisuuksien pohjalta materiaaleille toimivuusindeksejä. Indeksit riippuvat samanaikaisesti useimmasta materiaaliominaisuudesta ja ne kuvaavat materiaalin toimivuutta tarkasteltavassa käyttökohteessa. Esimerkiksi jos halutaan mahdollisimman kevyt ja luja rakenne, on materiaalin toimivuus suoraan verrannollinen sen lujuuteen ja kääntäen verrannollinen sen tiheyteen. Taivutuskuormituksen alaisen mahdollisimman kevyen ja jäykän rakenteen toimivuusindeksin yhtälö:

$$\text{Toimivuusindeksi} = E^{1/2}/\rho \quad (2)$$

E = kimmomoduuli

ρ = tiheys

Toimivuusindeksejä voidaan kehittää tarkasteltavan rakenteen mukaan. Enemmän toimivuusindekseistä on kohdassa materiaalin valinnasta ominaisuuskarttojen avulla. Ominaisuuskartoissa on kuvattu kahdella akselilla eri materiaaliominaisuuksia ja toimivuusindeksit ovat niissä esitettyinä suorina. Niitä kutsutaan myös opassuoriksi. [2, s. 254–256.]

6.1.5 Prototyypin tai tuotteen valmistus

Tuotteen prototyyppi tai protosarja valmistetaan valituista materiaaleista, joille voidaan tehdä erilaisia testejä. Näillä testeillä pyritään varmistamaan tuotteen ja materiaalien käyttäytymistä todellisissa käyttöolosuhteissa. Yksittäisistä osista tai alikokoonpanoista voidaan valmistaa proto-osia vaihtoehtoisista materiaaleista ja niille voidaan tehdä vertailutestejä. [2, s. 254.]

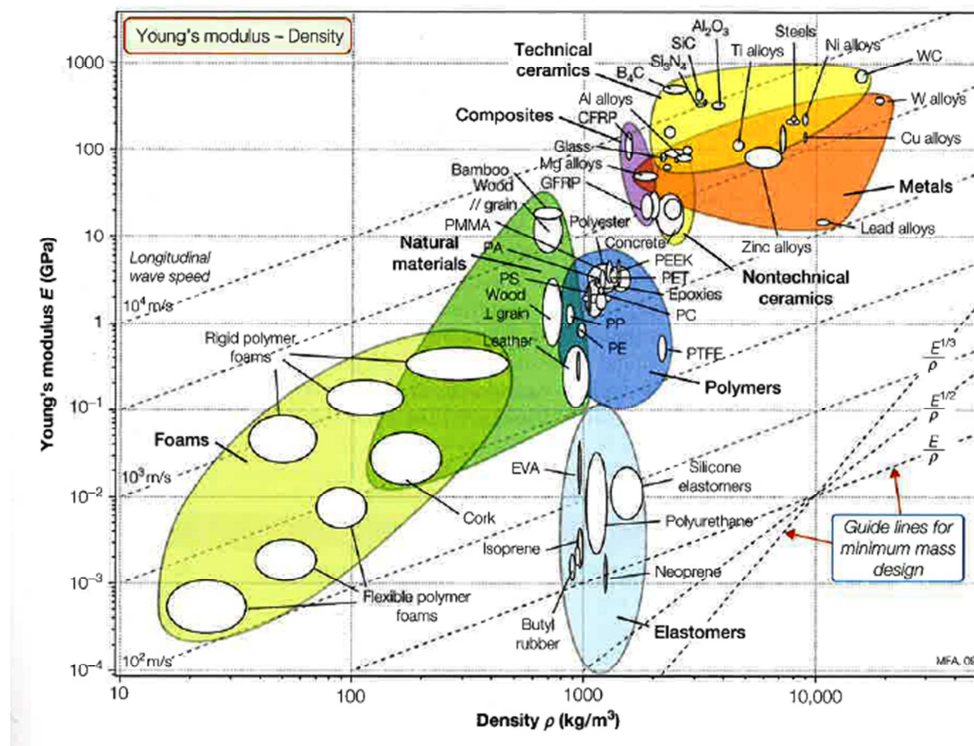
6.1.6 Käyttöseuranta

Valmistetuista protoista, tuotteista ja tehdyistä testeistä kerätään palaute ja arvioidaan tarvitaanko mahdollista materiaalien uudelleen valintakierrosta. Materiaalin valintaprosessi on jatkuva ja kestää koko tuotteen eliniän. [2, s. 254.]

Jos kerätty ja saatu palaute osoittaa, että ei ole saavutettu haluttua tavoitetta on tehtävä uudelleenarviointi ja tarvittaessa palattava valintaprosessissa sopivaa vaiheeseen. Tarvittaessa on tarkistettava ja päivitettävä vaatimusprofiilin vaatimukset, minkä jälkeen edetään uudestaan materiaalin valintaan. [2, s. 254.]

6.2 Materiaalin valinta ominaisuuskarttojen avulla

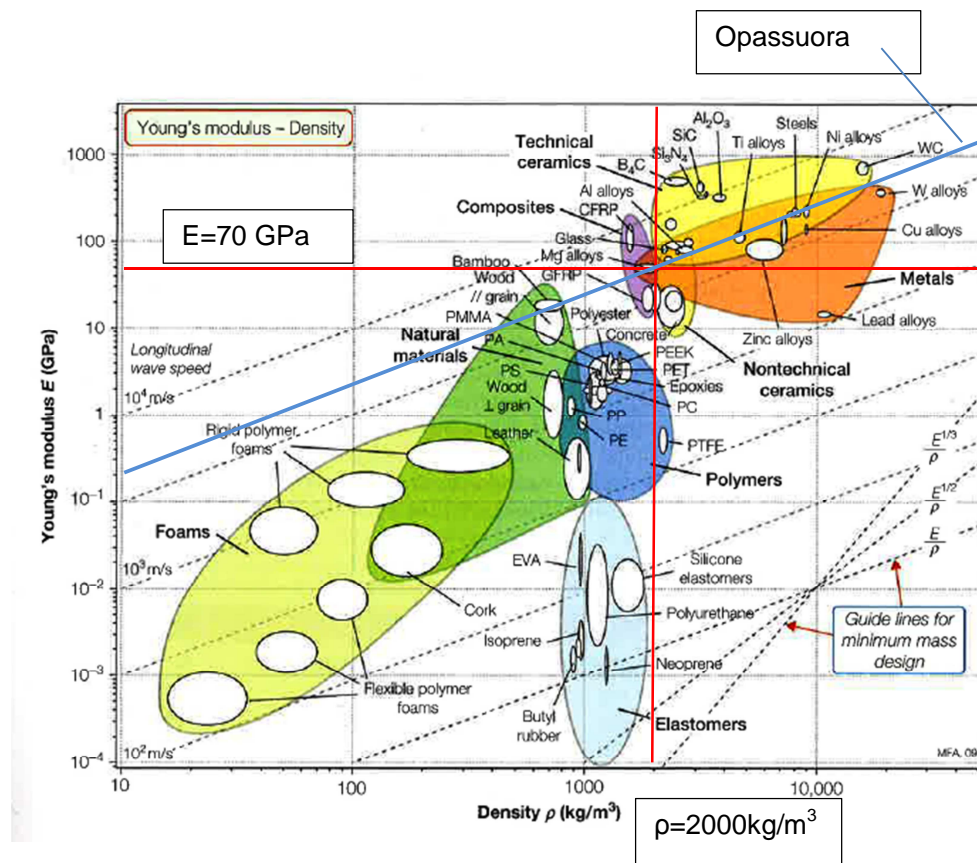
Ominaisuuskartta-ajattelun on kehittänyt professori Michael F. Ashby Cambridgen yliopistossa Englannissa. Materiaaliominaisuudet, kuten esimerkiksi kimmomoduuli ja tiheys, rajoittaa materiaalin toimivuutta halutussa käyttösovellutuksessa. Materiaaliominaisuuksia voidaan tyypillisesti tarkastella kahden ominaisuuden suhteen materiaalityypittain. Ominaisuudet vaihtelevat materiaalityypittain tietyissä rajoissa. Tästä syystä rajoittavat ominaisuudet voidaan esittää kaksiakselisessa koordinaatissa, jossa ominaisuudet ovat x- ja y-akseleilla. Kuvassa 9 on esitetty kimmomoduuli/tiheys-ominaisuuskartta. Pystyakselilla kimmomoduuli (E) ja vaakakselilla tiheys (ρ). Materiaalit on esitetty ryhmittäin ja yksittäiset materiaalit ovat ryhmien sisällä pienempinä alueina. Materiaalityypit voivat olla osittain päällekkäin. Opassuorat (Guide lines) näkyvät katkoviivoina kartan oikeassa alakulmassa. [2, s. 257.]



Kuva 8. Materiaalin ominaisuuskartta kimmomoduuli/tiheys (Material Property Chart) [1, s. 61].

Opassuorat kuvaavat toimivuusindeksejä. Kun toimivuusindeksin arvo kasvaa, niin suora siirtyy ylöspäin ja kun arvo pienenee, suora siirtyy alaspäin. Opassuoralla osuvat materiaalit ovat tarkasteltavan käyttökohteen kannalta samanarvoisia. [2, s. 257–258.]

Ominaisuuksille, kuten kimmomoduuli (E) tai tiheys (ρ), voidaan asettaa kynns- tai raja-arvoja tai minimiarvoja, jotka materiaalin ominaisuuden tulee vähintään täyttää. Ne voidaan merkitä karttaan akselien suuntaisina suorina. Kuvassa 9 on kimmomoduulille E asetettu 70 GPa minimiarvo ja tiheydelle ρ asetettu 2000 kg/m^3 maksimiarvo. Suorat on piirretty akseleiden suuntaisina.



Kuva 9. Materiaalin tiheys/kimmomoduuli-ominaisuuskartaan on lisätty tiheyden ja kimmomoduulin kynnysarvot.

Kuvaan on myös piirretty sininen opassuora, jolla tarkasteltavien ominaisuuksien suhde on vakio. Suoran yläpuolella olevat materiaalit ovat toimivuusindeksiltään, kimmomoduuli/tiheys, parempia kuin suoran alapuolella. Tässä esimerkissä haettava materiaali löytyy vasemmasta yläkulmasta punaisten viivojen rajaamalta alueelta.

Opassuoria voidaan kutsua myös materiaalien vertailuluvuiksi kuormitustapauksittain. Taulukossa 5 on esitetty jännitysten ja jäykkyyden optimointiin soveltuvat vertailuluvut. [3, s. 100–101.]

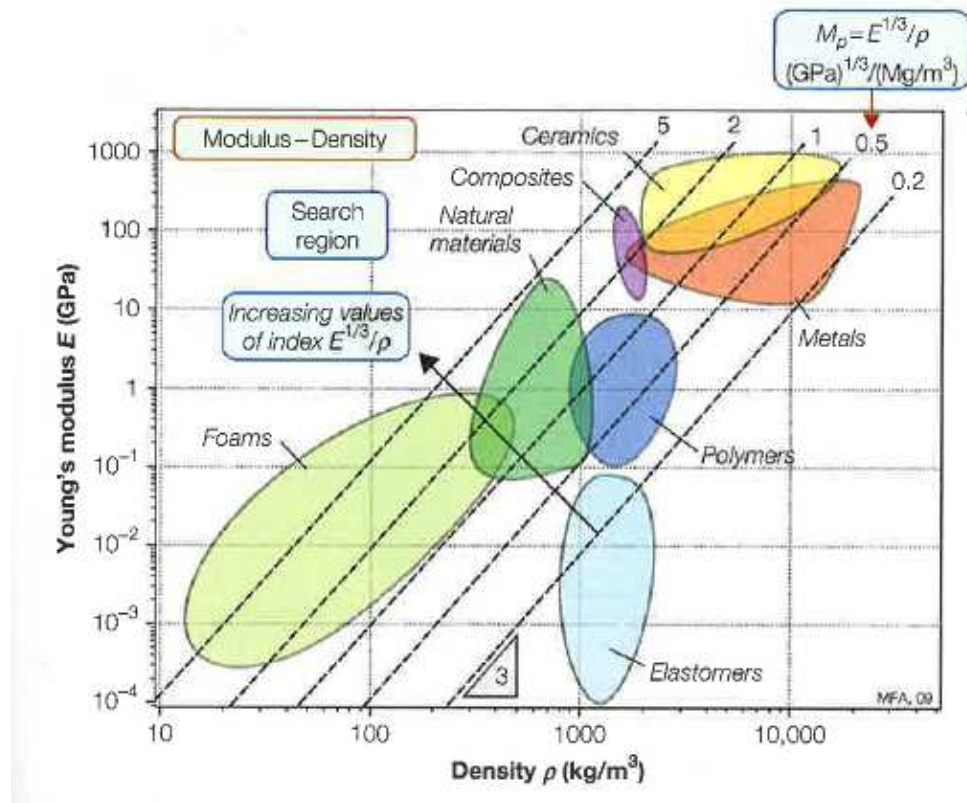
Taulukko 5. Vertailuluvut rakenteen painon ja materiaalikustannusten¹ optimointiin [3, s. 102].

| Rakenteen kuormitus ²⁾ (poikkileikkauksen geometria) | Jäykkyyden vertailuluku (max) | Lujuuden vertailuluku (max) |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Vetosauva (pituus ja muoto määrätty, pinta-ala valinnainen) | E/ρ | σ/ρ |
| Vääntösauva (pituus ja muoto määrätty, pinta-ala valinnainen) | $G^{3/2}/\rho$ | $\sigma^{3/2}/\rho$ |
| Taivutuspaalkki (pituus ja muoto määrätty, pinta-ala valinnainen) | $E^{3/2}/\rho$ | $\sigma^{3/2}/\rho$ |
| Stabiiliteetti (lommahdus, kiepahdus jne.) (pituus määrätty, pinta-ala valinnainen) | $E^{3/2}/\rho$ | σ/ρ |
| Levy (poikittainen kuormitus) (pituus ja leveys määrätty, paksuus valinnainen) | $E^{3/2}/\rho$ | $\sigma^{3/2}/\rho$ |
| Pyörivä levy (vauhtipyörä) (energia määrätty) | - | σ/ρ |
| Paineistettu säiliö (paine ja säde määrätty, seinämävahvuus valinnainen) | E/ρ | σ/ρ |

1) Kustannusten minimoinnissa vertailuluku jaetaan kilohinnalla (mk/kg)

2) E = kimmomoduuli, G = liukumoduuli, σ = jännitys (max), ρ = tiheys

Kuvassa 10 on esimerkki opassuoran käytössä, kun halutaan löytää jäykkä ja kevyt rakennemateriaali. Opassuoran paikkaa siirtämällä voidaan rajata etsintäaluetta sopivan kokoiseksi. Vertailuluvun tai toimivuusindeksin (M_p) arvoilla 0,2–5 on piirretty kartan päälle viisi erilaista opassuoraa. Toimivuusindeksin arvon muuttuessa opassuora siirtyy yhdensuuntaissiirtona kartalla, kuten kuvassa 10 on esitetty opassuoran $E^{1/3}/\rho$ -arvoja. Toimivuusindeksin arvon kasvaessa suoran paikka muuttuu ylöspäin ja materiaalien joukko rajautuu pienemmäksi.



Kuva 10. Materiaalin ominaisuuskartta kimmomoduuli/tiheys opassuoralla rajataan materiaaleja [1, s. 119].

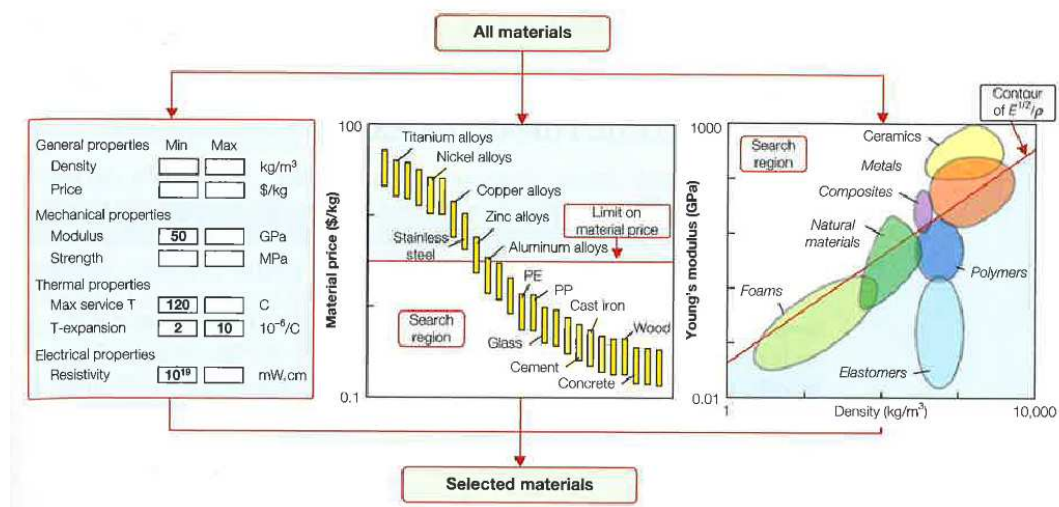
Tavoitteena on rajata materiaalijoukkoa niin, että siinä on vain muutamia kohteeseen parhaiten soveltuvia materiaaliryhmiä tai materiaaleja jäljellä [2, s. 258].

6.3 Tietokoneavusteinen materiaalin valinta ja valintaohjelmistot

Materiaaleja voidaan myös valita materiaalin valintaohjelmistojen kautta. Ohjelmistoja on useita ja osa on tarkoitettu vain rajatulle materiaaliryhmälle kuten esimerkiksi polymeerit eli muovit. Valintaohjelman tietokannassa on valtava määrä erilaisia materiaaleja, joita voidaan rajata teknisten arvojen mukaan. Syöttämällä hakukriteereitä tietokone rajaa hyvin nopeasti tietokannassa olevista materiaaleista ne jotka täyttävät hakukriteerit. Materiaaleja voidaan edelleen rajata ensimmäisen karkean haun kriteereillä tehdystä hausta.

Esimerkki tietokoneavusteisesta materiaalivalinnasta on kuvassa 11, missä kuvataan lujan ja kevyen materiaalin valintaprosessia. Esimerkissä materiaalin valintaohjelmana on käytetty CES-ohjelmaa, (The CES material and process selection software, Granta Design Ltd, Cambridge, U.K.). [17.]

Hakukriteereinä on käytetty materiaalin kimmomoduulin minimiarvoa $E=50$ GPa, lämpötilan minimikesto $T=120$ °C ja lämpölaajenemis kertoimen minimiarvoa $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, maksimiarvoa $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ja sähköistä ominaisuutta ominaisvastusta eli resistiivisyyttä minimissään 10^{19} mW.cm.



Kuva 11. Materiaalin valinta käyttäen materiaalinvalinta CES-ohjelmaa (Material Property Chart) [1, s. 121].

Ohjelma rajaa tietokannasta edellä annettujen hakukriteerien perusteella materiaaliehdokkaita. Niistä saattaa löytyä lopullinen materiaalivalinta jonkun lisävalintakriteerin perusteella esimerkiksi hinnan, saatavuuden tai valmistusmenetelmän perusteella. [1, s. 121.]

6.4 Pintakäsittelyn valinta

Pinnoittamalla materiaaleja niille saadaan uusia ominaisuuksia. Pinnoitteilla voidaan parantaa perusmateriaalin ulkonäköä, UV-säteilykestoa, pintojen puhdistettavuutta,

korroosion- ja vanhenemisenkestävyyttä ja pienentää syöpymisvaroja eli keventää rakenteita. [18, s. 8.]

Sopiva pinnoitus tulisi valita pinnoitteen pääkäyttötarkoituksen mukaan. Käytännössä pinnoitteella on useita vaatimuksia ja valinta tehdään pinnoituksen ominaisuuksien kompromissina. [18, s. 10.]

Pintakäsittely käsittää pintojen esikäsittelyn ja sopivan maaliyhdistelmän. Maaliyhdistelmä valitaan yleensä maalinvalmistajien valikoimasta. Maalausjärjestelmä voi koostua alustamateriaalista, esikäsittelystä ja pohja-, väli- ja pintamaaleista. [19, s. 13.]

Pintakäsittelyn valinnassa apuna voidaan käyttää standardia SFS-EN ISO 12944, ”maalit ja lakat, teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä”. Standardi sisältää osiot ympäristöolosuhteiden luokittelun, rakenteen suunnittelun, pinnan esikäsittelyn, maaliyhdistelmät, laboratoriomenetelmät, maalaustyön toteutuksen ja valvonnan. Standardi käsittelee ainoastaan teräsrakenteiden, joiden seinämänpaksuus on vähintään 3 mm, märkämaaliyhdistelmien korroosionesto-ominaisuuksia. Standardi ei käsittele rakenteita, jotka ovat valmistettu ohutlevyistä, alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä. Muut maalausmenetelmät, kuten jauhemaalaukset, ei sisälly standardiin. Standardia voidaan soveltaa muiden materiaalien ja maalausmenetelmien maalausjärjestelmissä. [24, s.11–13; 20.]

Standardin SFS-EN ISO 12944-1 mukaan valitaan maalauksen haluttu kestävyysluokka [20]:

| | |
|-----------------|---------------|
| alhainen (L) | 2...5 vuotta |
| kohtalainen (M) | 5...15 vuotta |
| korkea (H) | yli 15 vuotta |

Standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan valitaan maalauksen ilmastoympäristön ilmastorasitusluokka [21]:

| | |
|----|-------------|
| C1 | hyvin lievä |
|----|-------------|

| | |
|------|------------------------------|
| C2 | lievä |
| C3 | kohtalainen |
| C4 | ankara |
| C5-I | erittäin ankara (teollisuus) |
| C5-M | erittäin ankara (meri) |

Standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan valitaan upotetuille ja maanalaisille rakenteille ilmastorasitusluokka [21]:

| | |
|-----|---------------------|
| Im1 | makea vesi |
| Im2 | meri- tai murtovesi |
| Im3 | maaperä |

Standardissa SFS-EN ISO 12944-5 on suojamaaliyhdistelmät teräsrakenteille. Suomessa teräsrakenteiden suojamaaliyhdistelmät merkitään työpiirustuksiin, työselitteisiin tai muihin valmistusdokumentteihin standardin SFS-EN ISO 12944-5 mukaan. Jos merkintää sovelletaan, niin merkinnästä jätetään pois standardin tunnus ja standardin mukainen maaliyhdistelmän numero. [22.]

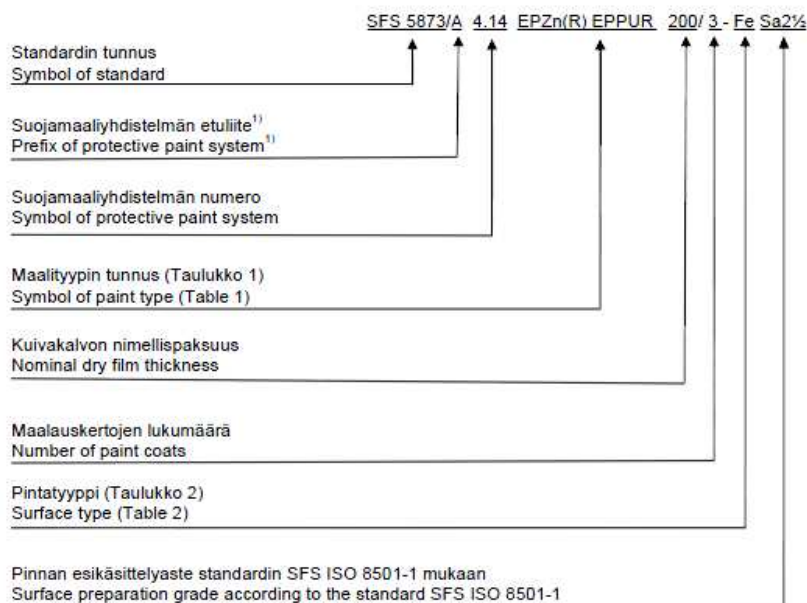
Esimerkki niukkahiilisen teräsrakenteen suojamaaliyhdistelmän merkinnästä, kun ilmastorasitusluokka on C5-M, kestävyysluokka on (M) ja esikäsittely on suihkupuhdistus luokalle Sa 2½ standardin SFS-EN ISO 12944-5 taulukko A1 mukaan:

SFS-EN ISO 12944-5/A1.20

Standardin mukainen merkintä on hyvin lyhyt ja sen käyttö vaatii standardin hyvää tuntemista.

Standardille SFS-EN ISO 12944 on laadittu täydentävä kansallinen standardi SFS 5873. Tämä standardi ottaa huomioon alumiinipintojen maalausjärjestelmät, sekä korjaus- ja huoltomaalausjärjestelmät.

Standardin SFS 5873 mukainen maalausjärjestelmän esimerkkimerkintä on esitetty kuvassa 12. Maalusalusta on teräs (Fe), esikäsitteily pyyhkäisysuihkupuhdistus (SaS), pohjamaali sinkkiepoksimaali (EPZn(R)), väli- ja pintamaali epoksi- ja polyuretaanimaaliyhdistelmä, kokonaiskuivakalvonpaksuus 200 µm ja maalauskertojen lukumäärä kolme (3). [23.]



Kuva 12. Esimerkki maalausjärjestelmän merkinnästä valmistusdokumentaatiossa standardin SFS 5873 mukaan [23].

Maalinvalmistajat soveltavat maalausjärjestelmän merkintää ja kuvassa 13 on esimerkki Tikkurila Oyj:n metallipintojen käsittely-yhdistelmien merkinnästä.



Kuva 13. Esimerkki Tikkurila Oyj:n käyttämästä maalausjärjestelmämerkinnästä [25, s. 10].

Erilaisista maalausjärjestelmien merkinnöistä voidaan havaita, että kaikkia tarvittavia tietoja ei standardimerkintä kerro. Siitä jää pois joitakin maalin teknisiä tietoja, kuten väri ja kiiltoaste. Kaikki standardeihin pohjautuvat merkinnät vaativat merkinnät hyvää tuntemista ja osaamista. Tämän vuoksi voidaan pintakäsittelymerkintä avata ja eritellä kaikki pintakäsittelyn vaiheet valmistusdokumentaatioon. Alla oleva esimerkki kuvaa merkintöjen eroja.

Esimerkki: Teräsrakenne rasitusolosuhde C5-M

Valitaan korroosionsuojamaali rasitusolosuhteisiin C5-M Tikkurilan tuotteista polyuretaanijärjestelmä TP82. [26.]

Tikkurilan suosittelema maalausjärjestelmän merkintä:

TP130-A5M.05 (EPZn(R)EPPUR240/4-FeSa2½)

Vaihtoehtoinen merkintä valmistusdokumentaatioon:

Pinnan esikäsitteily: Suihkupuhdistus Sa½ (SFS-ISO 8501-1)

Pohjamaali: Temazinc 77 1 x 40 µm RAL 7035 himmeä

Välimaali: Temacoat GPL-S MIO 2 x 60 µm RAL 9003 himmeä

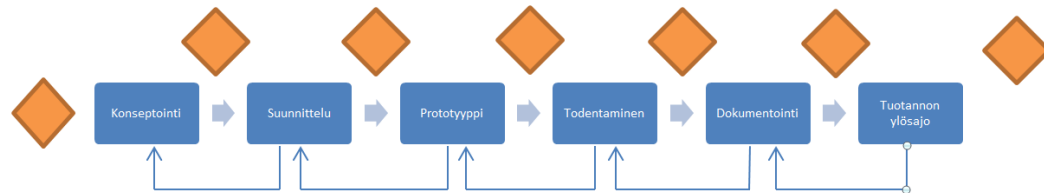
Pintamaali: Temathane PC 80 1 x 80 µm RAL 9003 puolikiiltävä

Kokonaiskerrospaksuus: 240 µm

7 Säainstrumentin suunnittelu

Vaisalassa noudatetaan uusien tuotteiden suunnittelussa yrityksen sisäistä suunnitteluprosessia. Uuden tuotteen suunnittelu alkaa tunnistetusta tarpeesta kehittää uusi tuote tai päivittää jo olemassa olevasta tuotteesta uusi tuote. Kuvassa 14 on esitetty yksinkertaistettu mekaniikkasuunnitteluprosessi. Vinoneliöt kuvaavat pidettäviä katselmuksia eri vaiheiden välillä. Jokaisesta prosessin vaiheesta on mahdollista palata

taaksepäin ja aloittaa edeltävä vaihe uudelleen. Projektin aikataulu laaditaan yleensä ilman uusintakierroksia, joten projektin jonkin vaiheen uusiminen voi vaarantaa aikataulussa pysymisen. Konseptointivaiheessa voidaan jo tehdä alustava materiaalin valinta, mutta varsinainen materiaalinvalinta tehdään suunnitteluvaiheessa. Materiaalinvalinta varmennetaan todentamivaiheessa.



Kuva 14. Yksinkertaistettu mekaniikkasuunnitteluprosessi (muokattu Vaisalan tuotekehitysprosessista).

Jos myöhemmin tuotannon ylösajon jälkeen huomataan materiaalivalinnassa puutteita, voidaan tähän tehdä muutoksia tuotteen ylläpidossa. Tällainen tarve saattaa tulla esille, jos tuotetta myöhemmin päätetään myydä uudelle sovellusalueelle. Tuotteiden ylläpito jatkuu niin kauan kuin tuotetta valmistetaan tai sen varaosilla on tarvetta.

Uuden tuotteen suunnittelu käynnistyi konseptointivaiheella. Tässä vaiheessa tutkittiin erilaisia automaattisia havainnointi- ja mittausmenetelmiä nykyisen tuotteen ja sen eri versioiden korvaamiseksi. Nykyinen tuote mittaa optisesti lähi-infrapunan aallonpituusalueella. Laite koostuu rungosta, johon on kiinnitetty lähetinyksikkö ja yhdistetty vastaanotin- ja keskusyksikkö. Säainstrumentti kiinnitetään yleensä muutaman metrin korkeuteen maanpinnasta putki- tai ristikkomastoon. Korvattavan tuotteen pääosat, materiaalit ja niiden pintakäsittelyt on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Korvattavan sääinstrumentin pääosat, materiaalit ja pintakäsittely.

| Yksikkö | Materiaali | Pintakäsittely |
|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Runko | Kuumapuristettu alumiini (EN AW 6063 T5) | Anodisointi |
| Lähetinkotelo | Painevalettu alumiini (AlSi12) | Anodisointi + jauhemaalaus |
| Vastaanotin ja keskusyksikön kotelo | Painevalettu alumiini (AlSi12) | Kromatointi + jauhemaalaus |
| Laitetekotelo | Ruostumaton ohutlevyteräs (1.4301) | Jauhemaalaus |

8 Sääinstrumentin materiaalin valinta

8.1 Konseptiproton materiaalinvalinta

Konseptointivaiheessa keskeinen tavoite oli ratkaista sääinstrumentin mittaukseen liittyvät teoreettiset ongelmat, periaatteet ja mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot. Tässä vaiheessa selvitettiin olemassa olevat patentit ja uuden tuotteen mahdolliset patenttitarpeet.

Konseptivaiheessa eri mittausmenetelmiä tutkittiin ja vertailtiin keskenään teoreettisesti. Konseptivaiheen protojen tarkoituksena oli varmentaa ja tukea teoreettista tutkimusta ja auttaa siten parhaan mittausmenetelmän valinnassa.

Konseptiprotoon tulevat tärkeimmät osat ovat taulukossa 7. Rungon muodostaa taivutettu putki, johon kiinnitetään lähetin- ja vastaanotinyksiköt. Koottu laite kiinnitetään putkimastoon, niin että mittaustilavuus tulee noin 2,5 m:n korkeudelle

maanpinnasta. Laitetekotelo kiinnitetään putkimastoon noin 1,5 m:n korkeudelle. Sähkönsyöttö ja tiedonkeruu tapahtuvat laitekotelon kautta.

Taulukko 7. Konseptiproton tärkeimmät mekaaniset osat ja tehtävät.

| Osa | Tehtävä |
|----------------------|---|
| Runkoputki | Muodostaa laitteen rungon, johon kiinnitetään lähetin- ja vastaanotinyksiköt. Runkoputkeen asennetaan kiinnitin, minkä avulla laite kiinnitetään ja suunnataan. |
| Lähetinyksikön runko | Lähetinyksikön rungon sisälle tulee lähetinmoduuli, optiikka ja suodattimet. Osien pitää tulla täsmällisesti oikeaan paikkaan ja ohjata optinen säde näytetilavuuden keskelle. |
| Vastaanottimen runko | Vastaanottimen rungon sisälle tulee vastaanottomoduuli, suodatin ja optiikka. Osien pitää olla täsmällisesti oikeissa paikoissa ja detektorin tulee nähdä näytetilavuuden keskelle. |
| Laitetekotelo | Laitetekotelon sisälle tulee keskusyksikkö, sähkönsyöttö, sulakkeet ja sen tulee olla lukittava. Kotelon tulee olla tiivis ja pohjassa täytyy olla riittävästi tilaa liittimille. |

Konseptivaiheen protomateriaalivalinnan tärkeimmät vaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet on esitetty taulukossa 8.

Tässä työssä konseptivaiheen protolla tarkoitetaan kokonaista ulos testikentälle asennettavaa laitetta. Konseptointivaiheessa voidaan valmistaa näköislaitteita pahvista tai koota laite 3D-malleista tulostettujen pikamallien avulla. Yleensä pikamallit valmistetaan muovimateriaalista, joka kestää vähäistä räsitusta. Ulos asennettavilta protolaitteilta vaaditaan enemmän kuin nykyiset 3D-pikamallit kykenevät, joten yleensä ne valmistetaan polymeereistä tai metalleista lastuamalla. Tarvittavat ohutlevyosat valmistetaan yleensä leikkaamalla, lävistämällä, taivuttamalla ja muovaamalla. Konseptiprotojen osat pintakäsittellään, niin että ne kestävät halutun ajan testikäytössä.

Taulukko 8. Sääinstrumentin konseptivaiheen protomateriaalivaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet. V tarkoittaa vaatimusta ja T toivomusta.

| V/T | Vaatus | Materiaaliominaisuus |
|-----|--|---|
| V | EMC-suojaus | Hyvä sähkönjohtavuus |
| V | Riittävä sitkeys lämpötilassa -20 – 35 °C, käyttöikä muutama vuosi | Kohtalainen iskusitkeys, korroosionkestävyys ja UV-säteilyn kestävyys |
| V | Kantaa lähettimien ja vastaanottimien painot + normaalin tuulikuorman testikentällä (20 m/s) | Riittävä ominaislujuus (myötölujuus/ tiheys) |
| V | Koteloiden tiiveysluokka IP65 | Kimmomoduuli (jäykkyys), hyvä pinnanlaatu, pienet toleranssit |
| V | Helposti ja nopeasti hankittava yrityksen prototoimittajalta (koneistusalihankkija) | Saatavuus (käytettävä saatavilla olevia varastomateriaaleja) |
| V | Helppo ja nopea pintakäsittelyprosessi, musta väri | Pintakäsiteltävyys |
| T | Edullinen hankintahinta | Materiaalin kilohintavaatimus |

Konseptiproton materiaalin valintastrategian perustana käytettiin protojen lyhytaikaista, omalle testikentälle sijoittuvaa, lyhyellä toimitusajalla haluttua mittaustarvetta. Protoosien toimitusaika painottui valintastrategiassa, koska koko tuotekehitysprojektin kannalta ei ole järkevää odottaa useita viikkoja tai kuukausia konseptiprotojen valmistumista. Tuotekehitysprojektien aikataulut laaditaan yleensä optimistisesti ilman viiveitä ja syntyneitä viiveitä harvoin pystytään kuromaan kiinni projektin aikana. Tutkimusprotojen mittausdataa kerätään koko projektin ajan. Mittausdataa verrataan ja analysoidaan samanaikaisesti referenssiantureista kerättyyn mittaustietoon.

Esivalinnalla rajataan materiaalijoukko pienemmäksi ja konseptiprotovaiheessa oli päätarkoitus saada nopeasti rakennettua protolaitteita laitteen mittausten menetelmän vertailua ja lopullista valintaa varten. Lyhyen toimitusajan vuoksi materiaalijoukkoa päätettiin rajata alihankkijalla olevien varastomateriaalien mukaan. Protolaitteesta haluttiin saada helposti asennettavat ja liikuteltavat, koska yleensä niitä joudutaan liikuttelemaan laboratorion ja ulkona olevan testikentän välillä erilaisten päivitysten takia. Laitteesta haluttiin niin kevyt, että yksi henkilö voi sen helposti asentaa noin 2 m korkeaan putkimastoon. Konseptiproton materiaalin esivalinnassa käytettiin taulukko 8 mukaista vaatimuslistaa ja ominaisuusprofiilia. Koska protoja valmistettiin pieni määrä ja valmistusmenetelmäksi oli valittu lastuaminen, niin päämateriaaliryhmistä elastomeerit, lasit, keraamit ja komposiitit voitiin jättää esivalinnan ulkopuolelle. Polymeereillä EMC-suojavaatimus olisi vaatinut johtavan pinnoituksen tai johtavan materiaalin käyttöä. Polymeeriosat olisi voitu pinnoittaa johtavalla pinnoitteella, mutta aikataulun vuoksi tätä pidettiin huonona vaihtoehtona. Johtavien polymeerien saatavuus tanko- ja levymateriaalina on myös hyvin rajallinen, joten materiaaliryhmistä jäljelle jäivät vain metallit. Käytettävissä olevat materiaalivaihtoehdot selvitettiin alihankkijalta, vaihtoehdot olivat alumiini EN AW-6082 T6 ja ruostumaton teräs EN 1.4301. Näistä materiaaleista oli saatavilla järkevät varastokoot ja myös materiaalien edullinen hintatoivomus täyttyi.

Ruostumattoman teräksen hyviä ominaisuuksia ovat korkea myötölujuus, hyvä iskutietoisuus kylmässä ja säänkestävyys. Alumiinin hyviä ominaisuuksia ovat pieni tiheys, suhteellisen hyvä myötölujuus, hyvä iskunkestävyys kylmässä ja varastomateriaalien hyvä saatavuus. Protolaitte koostuu erilaisista osista, kuten esimerkiksi runko valmistetaan taivutetusta putkesta ja siihen kiinnitetään ruuveilla lähetin- ja vastaanottoyksiköt. Ne valmistetaan lastuamalla pyörö- ja lattatangosta. Joitakin osia tehdään taivuttamalla ohutlevystä. Konseptiprotojen päämateriaaliksi valittiin kuumapuristettu alumiini EN AW-6082, josta proto-osat valmistettiin pääosin lastuamalla. Taulukossa 9 on arvonalyysin avulla vertailtu kahta konseptiprotojen materiaalivaihtoehtoa. Painokertoimet määritettiin harkinnanvaraisesti ja arvoanalyysissä sovellettiin yhtälöä 1.

Taulukko 9. Arvoanalyysitaulukko konseptiprotomateriaaleista.

| Materiaali Ominaisuus | Painoarvo | Alumiini EN AW-6082 T6 | | Ruostumaton teräs EN 1.4301 | |
|-------------------------------------|-----------|---------------------------|--------|-----------------------------------|-------|
| | | Materiaali | Arvo | Materiaali | Arvo |
| Mytötolujuus Re [MPa] | 1 | 250 | 1x5=5 | 230 | 1x5=5 |
| Tiheys ρ [kg/dm ³] | 2 | 2,7 | 2x5=10 | 7,9 | 2x1=2 |
| Korroosionkestävyys | 1 | +++ | 1x1=1 | +++ | 1x1=1 |
| Saatavuus | 5 | 10 | 5x5=25 | 5 | 5x1=5 |
| Arvo yhteensä | | 41 | | 13 | |

Taulukosta voidaan havaita, että alumiini EN AW-6082 T6 sai korkeammat pisteet kuin ruostumaton teräs EN 1.4301. Materiaaliksi valittiin kuumapuristettu alumiini EN AW-6082 T6.

Konseptointivaiheessa suunniteltiin ja valmistettiin eri mittausperiaatteella toimivia konseptiprotoja muutaman kappaleen sarja valitusta materiaalista. Pintakäsittelyksi valittiin anodisointi. Protolaitteet asennettiin ulos yrityksen omalle testikentälle ja niistä kerättiin mittausdataa analysoitavaksi. Samalla niiden toiminnasta kerättiin palautetta.

Konseptivaiheen perusteella valittiin jatkokehittäväksi paras konseptivaihtoehto, jonka perusteella tullaan kehittämään uusi sääinstrumentti.

8.2 Vaativien olosuhteiden aiheuttamat vaatimukset sääinstrumenteissa

Tässä työssä oli myös tavoitteena selvittää vaativien olosuhteiden käsite. Mitä ne ovat ja miten ne voidaan huomioida sääinstrumentin suunnittelussa? Selvitys toteutettiin

säainstrumenttien tuotepäälliköille suunnatulla kyselyllä, koska heillä on pitkä kokemus ja paras asiantuntemus tuotteiden asennuksista ja olosuhteista. He ovat jatkuvasti yhteydessä asiakkaisiin ja saavat palautetta omista tuotteista ja myös asiakkaiden tulevaisuuden toiveista. Kyselylomake lähetettiin sähköpostin kautta tuotepäälliköille. Vastaukset koottiin yhteen ja analysoitiin. Liitteeseen 5 on koottu tuotepäälliköiden vastaukset.

Vastauksista on koottu lyhyt yhteenveto taulukkoon 10. Vasemmassa sarakkeessa on vaativan olosuhteen kuvaus ja keskellä siitä johdettu suunnitteluvaatimus ja oikealla edelleen tästä johdettu materiaalivaatimus.

Taulukko 10. Yhteenveto tuotepäälliköille suunnatusta kyselystä.

| Olosuhde | Suunnitteluvaatimus | Materiaalivaatimus |
|---|---|--|
| Yllättävä lyhytkestoinen rasitus esimerkiksi ukkosmyrsky, hurrikaani, ilkivalta, eläimet, hyönteiset | Kestää suurta mekaanista kuormitusta, erilaiset eliöt eivät pysty turmelemaan | Suuri lujuus, eliöille kelpaamattomuus |
| Voimakkaasti korrodoivat olosuhteet, rannikko- ja merialueet, missä vesi, suola, UV-säteilyn ja hiekka aiheuttavat ongelmia. Poiju-, laiva- ja öljynporauslautta-asennukset | Kestää voimakkaita ympäristörasituksia. | Korroosion-, UV-säteilyn ja kulumisenkestävyys |
| Hyvin kylmät olosuhteet, rakenteisiin kertyvä jää, pieni ilmanpaine | Pysyy ehjänä kylmissä olosuhteissa, jään kertyminen estetty | Hyvä iskutkeys kylmässä, hydrofobinen pinta, lämmönjohtavuus |
| Hyvin kuumat olosuhteet, suuret lämpötilan vaihtelut vuorokauden aikana | Kuumenee mahdollisimman vähän | Suuri lämpösäteilyn heijastavuus |
| Korkeat mastot, vuoristo-olosuhteet | Helppo asennettavuus ja huollettavuus | Materiaalin tiheys |

Vaikeista olosuhteista aiheutuu erilaisia ongelmia sääinstrumenteille, kuten esimerkiksi meriolosuhteisiin asennettu sääinstrumentti korrodoituu nopeammin kuin maalle asennetut laitteet. Yllättävät ja poikkeukselliset sääilmiöt rikkovat laitteita, kuten ukkosmyrsky, hurrikaani ja tulva. Ihmiset saattavat aiheuttaa tahallisesti tai tahattomasti vaurioita laitteille, asennusvirheitä, onnettomuuksia tai ilkivaltaa. Osa sääinstrumenteista asennetaan aidatulle alueelle, missä ne ovat ihmisten ulottumattomissa. Osa mittalaitteita joudutaan asentamaan sellaisiin paikkoihin, missä niitä ei voida aidata, esimerkiksi tiesääasemat. Näissä asennuspaikoissa laitteet voivat houkuttaa ohikulkijoita ilkivaltaan tai kiinnostuksen kohteeksi. Säättä mittaavia instrumentteja voidaan epäillä kameravalvontalaitteiksi osittain ulkonäön ja sijoituspaikan vuoksi. Ilmansaaste ja pöly aiheuttavat ongelmia varsinkin optisesti mittaaville instrumenteille.

Erittäin kylmät tai kuumat olosuhteet ja suuret lämpötilanvaihtelut aiheuttavat materiaaleille erilaisia vaurioita. Kylmissä olosuhteissa laitteisiin kohdistuu jää- ja lumikuormia ja iskuja putoavista jäälohkareista. Kuumissa olosuhteissa lämmön lisäksi voimakas UV-säteily vanhentaa materiaaleja. Vuorokautinen lämpötilavaihtelu rasittaa rakenteita ja aiheuttaa termisiä jännityksiä materiaaleihin.

Korkeisiin mastoihin asennettuihin instrumentteihin kohdistuu voimakasta tuulta, UV-säteilyä, salamaniskuja, putoavia jäälohkareita ja huolto vaatii erikoisjärjestelyjä. Mastoissa voi olla painorajoituksia asennettaville instrumenteille.

Vuoristo-olosuhteissa sääinstrumentteja rasittavat voimakkaat tuulet, kylmyys ja UV-säteily. Myös sääinstrumenttien asennus ja huolto vaativat erikoisjärjestelyjä näissä olosuhteissa.

Kyselyssä tiedusteltiin tuotepäälliköiltä, onko laite suunniteltu alun perin näihin olosuhteisiin. Vastauksista ilmeni, että harvoin näiden instrumenttien alkuperäisenä suunnitteluvaatimuksena olivat olleet vaikeat olosuhteet.

Kyselyssä tiedusteltiin olosuhteiden merkitystä huoltoon. Vastauksista kävi ilmi, että huoltotarve lisääntyy, mutta käytännössä huollot jäävät usein tekemättä. Syynä tähän on se, että laitteet on asennettu niin vaikeisiin paikkoihin, että huolto vaatii erikoisjärjestelyjä, on erittäin kallista tai vaatii luvan viranomaiselta. Joissakin paikoissa

huoltotarvetta vähennetään asentamalla alun perin useita antureita mittaamaan samaa asiaa. Esimerkiksi tuuliantureita voidaan asentaa kaksi tai kolme kappaletta, jos yksi rikkoutuu tai sen lukemat muuttuvat selvästi muista, niin sen mittausdata voidaan jättää kokonaan pois havainnoista. Tässä tapauksessa paikan päällä ei tarvitse käydä.

Vaativat tai erittäin vaativat olosuhteet aiheuttavat vaatimuksia sääinstrumentin suunnitteluun sekä materiaalien ja pintakäsittelyjen valintaan. Olosuhteet tulisi huomioida ja tunnistaa mahdollisimman hyvin jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tämän jälkeen niistä voidaan johtaa materiaalivaatimukset ja oikeilla pintakäsittelyvalinnoilla voidaan parantaa materiaalien ominaisuuksia. Suunnittelun ja valintojen rajoitteena voidaan käyttää hintaa ja saatavuutta, jotta valinnat olisivat realistisia ja tuotteella säilyisi kilpailukyky. On syytä muistaa, että valinnat ovat aina kompromisseja.

Joihinkin olosuhteisiin on helpompi varautua, mutta yllättäviin ja ennalta arvaamattomiin olosuhteisiin on vaikea täsmällisesti varautua. Ilkivallan huomioiminen ja estäminen sääinstrumentin suunnittelussa olisi helpompi toteuttaa yhteistyössä asiakkaan kanssa. Sääinstrumenttien ongelma on, että ne voidaan asentaa hyvin erilaisiin olosuhteisiin. Suuri haaste on ottaa nämä vaatimukset huomioon ja suunnitella instrumentti, joka täyttää kaikki nämä vaatimukset, on helposti valmistettävissä ja on lisäksi hinnaltaan sekä suorituskyvyltään kilpailukykyinen.

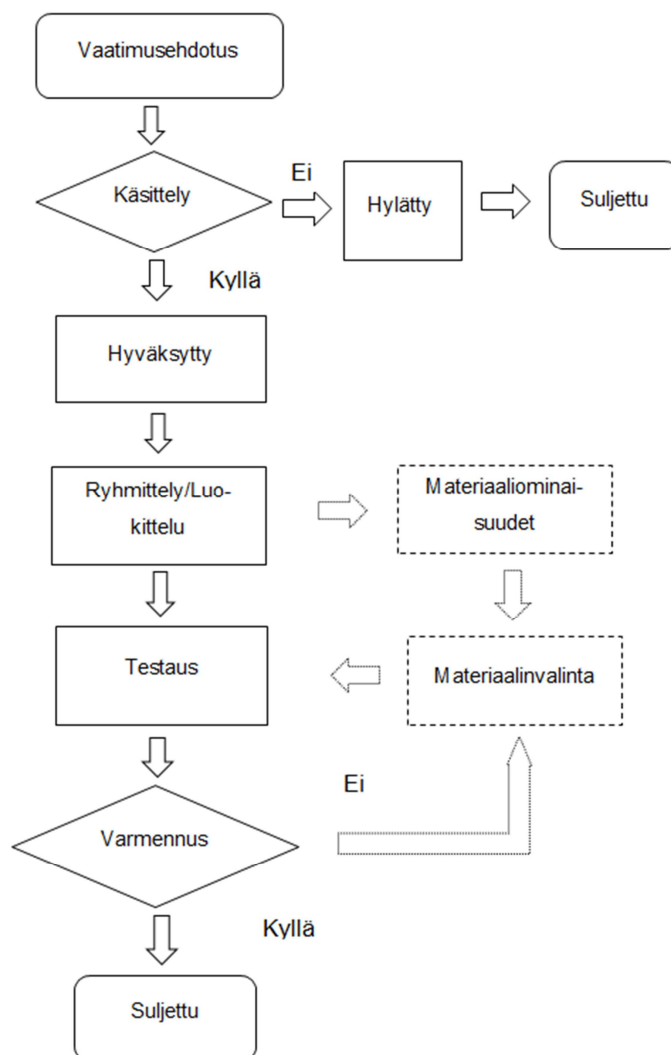
Teoriaosassa ohjeistettiin valitsemaan tärkein tai tärkeimmät vaatimukset, joka tai jotka valitaan määrääväksi. Vaatimusten ristiriitatapauksissa on myös pystyttävä valitsemaan tärkein vaatimus ja pyrittävä hyvään kompromissiin.

8.3 Sääinstrumentin vaatimusprofiili

Vaisalassa tuotteen vaatimukset kootaan JIRA-ohjelmiston tietokantaan. JIRA-ohjelmisto on yksittäisten tehtävien hallintaan kehitetty tehtävienhallintaohjelmisto.

Jokaiselle vaatimukselle avataan oma juoksevalla tunnisteella varustettu tehtävä. Vaatimukset on koottu myynnistä, valmistuksesta, hullosta, laatuosastolta ja tuotekehityksestä pienryhmätyönä. Alkuvaiheessa kaikki mahdolliset vaatimukset on kirjattu ylös järjestelmään ilman karsintaa. Tämän jälkeen ne ryhmitellään ja

luokitellaan. Vaatimuksessa voidaan antaa lisätietoja ja tarkennuksia, esimerkiksi standardi, joka tulee täyttää. Vaatimuksen tilaa ohjataan ja seurataan status-kentän avulla. Kun vaatimus on testattu ja varmennettu, niin se voidaan sulkea. Jokaiselle vaatimukselle voidaan lisätä testausmenetelmä, jonka avulla valvotaan kuinka vaatimus tullaan testaamaan ja varmentamaan. Jokaiseen vaatimukseen voidaan liittää muita dokumentteja esimerkiksi valokuvia, tiedostoja ja testiraportteja, jotka antavat lisätietoa tai selventävät vaatimusta ja sen todentamista. Kuvassa 15 on yksinkertaistettu kaavioesitys opinnäyteyössä käytetystä vaatimusten käsittelykaavio. Katkoviivalla kuvatut toiminnot eivät sisälly vaatimustenhallintajärjestelmään.



Kuva 15. Vaatimusten yksinkertaistettu käsittelykaavio.

Hylättyyn vaatimusehdotukseen lisätään perustelu, miksi vaatimus on hylätty ja sen jälkeen se suljetaan. Suljetut vaatimusehdotukset jäävät järjestelmään myöhempää tarkastelua varten ja tarvittaessa ne voidaan ottaa uudelleen käsittelyyn. Uuden sääinstrumentin vaatimukset ja materiaaliominaisuudet on koottu liitteeseen 1 vaatimustenhallintajärjestelmästä.

Materiaalivalinta tehdään muutamalle tärkeimmille sääinstrumentin osalle. Taulukkoon 11 on koottu uuden sääinstrumentin tärkeimmät pääosat ja lyhyt kuvaus niiden tehtävistä.

Taulukko 11. Sääinstrumentin tärkeimmät pääosat ja niiden tehtävät.

| Osa | Tehtävä |
|----------------------|---|
| Runko | Kantaa kuormat, pitää ja asemoi lähetin- ja vastaanotinyksiköt paikoillaan, mahdollisimman pieni sivuprofiili, jotta ei varjostaisi mittaustilavuutta, sateesta ei saa tulla roiskeita mittaustilavuuteen. Kiinnitettävissä putki- tai ristikkomastoon. Paikat yhdelle lähettimelle ja kahdelle vastaanottimelle. Paikkojen tarkkuus $\pm 0,25^\circ$. Lähetin- ja vastaanotinyksiköt asemoidaan tarkasti ja suunnataan tiettyyn kulmaan alaspäin. |
| Keskusyksikön kotelo | Tilaa keskusyksikölle (elektroniikkayksikkö), WLAN-yksikölle, pohjassa riittävästi tilaa kolmelle liittimelle. Paikka WLAN-antennille. Tiivis kotelo, muotoiltava niin, että roiskeita ei tule mittaustilavuuteen. Koko mahdollisimman pieni, jotta ei häiritse mittaustilavuutta esimerkiksi rajoita tai ohjaa tuulta. |
| Laitekotelo | Tiivis, lukittava kotelo. Tilaa sähkönsyöttö- ja tiedonsiirtoyksikölle. Kotelon pohjassa riittävästi tilaa liittimille. Kotelon ulkopuolella auringonsäteilyn lämmitysvaikutusta ehkäisevä suoja. Kotelo kiinnitetään putki- tai ristikkomastoon, tätä varten tarvitaan sopivat kiinnittimet. |

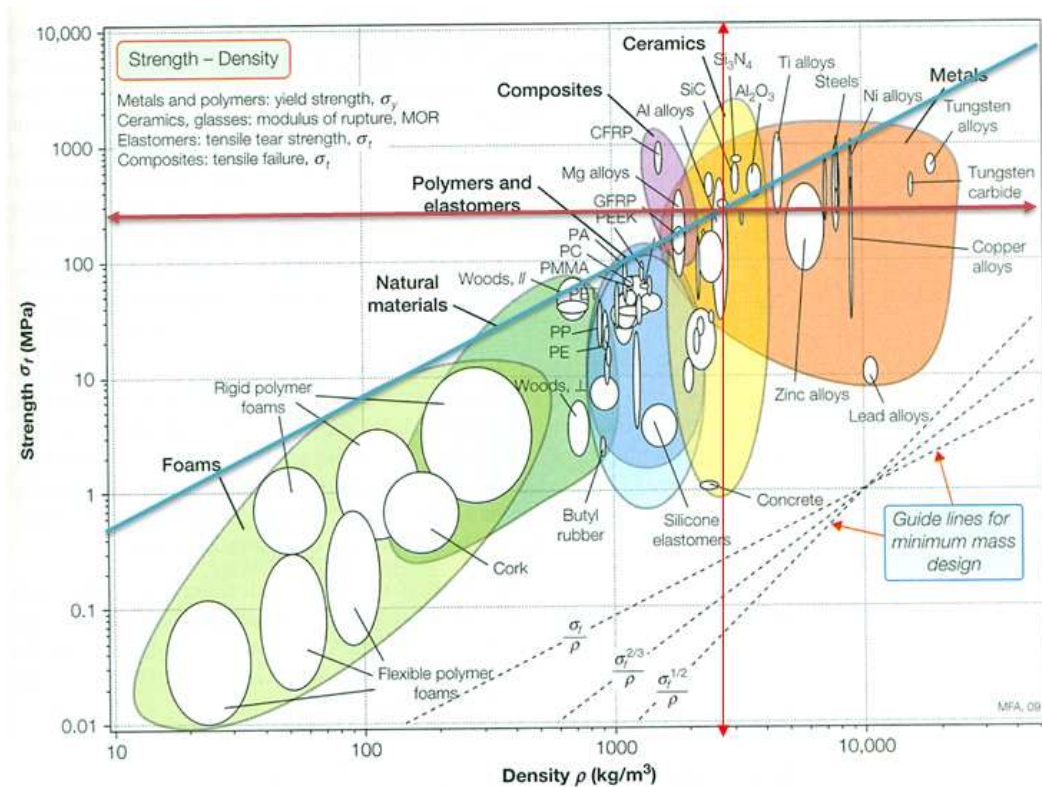
8.4 Sääinstrumentin materiaalin valintastrategia

Uudelta sääinstrumentilta odotetaan uusia ominaisuuksia, luotettavuutta, korkeaa laatua ja parempaa suorituskykyä vaikeimmissa olosuhteissa, joten materiaalin valintastrategian perustaksi muodostui laadukas tuote kilpailukykyisellä hinnalla. Tuotteen hintatavoite muodostuu markkinoilla olevien tuotteiden mukaan. Uusi tuote asemoituu teknisiltä ominaisuuksilta korkealuokkaiseksi. Osassa markkinoita myyntihinta on tärkeämpi kuin ominaisuudet, joten hinnan pitää olla kilpailukykyinen myös näillä markkinoilla. Tuotteesta tulee erilaisia versioita eri sovelluksiin, mutta perusratkaisut ovat kaikissa malleissa samat.

8.5 Sääinstrumentin materiaalin esivalinta

Esivalinnan tarkoitus on rajata materiaalijoukkoa pienemmäksi, jotta valintajoukko olisi järkevä kokoinen. Tämän vuoksi materiaaliryhmiä rajattiin esivalinnassa. Sääinstrumentin materiaalin esivalinnassa käytettiin liitteen 1 mukaista vaatimuslistaa ja materiaalien ominaisuusprofiilia. Sen mukaan päämateriaaliryhmistä elastomeerit, lasit ja keraamit voidaan jättää esivalinnan ulkopuolelle. Materiaaliryhmistä jäljelle jäivät polymeerit, komposiitit ja metallit.

Polymeerimateriaali vaatii kuitulujitteen, UV-stabiloinnin tai pinnoitteen ja mahdollisesti johtavan pinnoitteen tai muun rakennevaihtoehdon EMC-häiriöiden ratkaisuun. Kevytmetalleilla on suhteellisen hyvä lujuus, korroosiokestävyys, hyvä iskutkeys kylmässä ja pieni tiheys. Näiden ominaisuuksien takia siitä ryhmästä voisi löytyä materiaalivaihtoehto. Ruostumattomilla teräksillä on hyvä lujuus, suuri kimmomoduuli, hyvä iskutkeys kylmässä ja hyvä korroosionkesto hapettavissa olosuhteissa. Näiden ominaisuuksien vuoksi myös ruostumattomat teräkset on otettava mukaan tarkasteluun. Alustava materiaalivalinta ei sulje pois muita materiaaleja. Materiaalin esivalinnassa apuna voidaan käyttää materiaalin valintakarttaa, jossa tiheys on x-akselilla ja lujuus y-akselilla, kuva 16. Esivalinnassa on käytetty lujuuden minimiarvona 230 MPa ja tiheyden ohjeellisena arvona 2,7 kg/dm³. Opassuoralla olevat materiaalit täyttävät vaatimukset ja sen yläpuolella olevat ovat ominaisuuksiltaan parempia.



Kuva 16. Esivalinta lujuus/tiheys materiaalikartan avulla.

Materiaaliryhmistä polymeerit, komposiitit, ja metallit löytyvät vaatimukset täyttävät materiaalit. Näistä materiaaleista kerätään lisätietoja ja valintaa voidaan edelleen rajoittaa valmistustekniikan, saatavuuden ja hinnan perusteella. Valintaa voidaan edelleen lisärajoittaa vaatimuksella käyttää nykyistä toimittajaketjua. Kuvan 16 perusteella esivalittiin sinisellä opassuoralla ja sen yläpuolella olevista materiaaliryhmistä tarkempaan materiaalivertailuun alumiiniseokset, titaaniseokset, ruostumattomat teräkset ja kuitulujitteiset polymeerit. Esivalinnassa ei haluttu rajata kaikkia tiheydeltään painavampia mahdollisia vaihtoehtoja pois. Valintaa laajennettiin painavampiin metalleihin. Esivalinnassa olisi ollut mahdollista rajata tiheyden perusteella titaaniseokset ja ruostumattomat teräkset pois.

8.6 Rungon materiaalivalinta

Rungon tehtävät ovat yhdistää eri osat toisiinsa, kantaa kuormat, antaa riittävä jäykkyys ja kestää ympäristörasituksia halutun käyttöiän. Runko ei saa haitata optista

mittausta, eikä siitä saa tulla sateesta johtuvia roiskeita mittaustilavuuteen ja se saa rajoittaa tai ohjata tuulta mahdollisimman vähän, joten sen tulisi olla mahdollisimman pieni poikkileikkaukseltaan. Rungon tulee olla riittävän luja, jäykkä ja kevyt. Korroosion- ja UV-säteilynkestävyyttä halutaan parantaa nykyiseen tuotteeseen verrattuna, joten nämä ominaisuudet otettiin mukaan. Saatavuus käsittää tässä myös valmistusmenetelmän. Materiaalin tulee soveltua ja tukea sarjavalmistusmenetelmää. Rungon pitää myös maadoittaa osat toisiinsa. Tämä vaatimus on helpointa toteuttaa metalleilla, mutta myös polymeerit saadaan johtaviksi esimerkiksi metallisilla pinnoitteilla. Taulukossa 12 on esivalinnan perusteella rajatut vertailtavat materiaalit ja niiden materiaaliominaisuudet. Painokertoimet määritettiin harkinnanvaraisesti tärkeimpiä vaadittavia ominaisuuksia korostaen väliltä 1–5. Tärkeimmälle ominaisuudelle annettiin painokertoimeksi 5 ja vastaavasti ei merkittävälle ominaisuudelle kerroin 1. Vaatimuksista johdetut materiaaliominaisuudet ovat liitteessä 1. Materiaalivaihtoehtojen arvot on laskettu liitteessä 2 yhtälöä 1 soveltaen. Suurimman arvon saava materiaali vastaa parhaiten haettua materiaalia. On huomioitava, että pintakäsittelyllä voidaan parantaa joitakin perusmateriaalin ominaisuuksia, kuten korroosion- ja UV-säteilynkestävyyttä. Jokaiselle materiaalille on annettu taulukossa olevan ominaisuuden kohdalle numeerinen arvo. Osalle ominaisuuksien arvo on jouduttu arvioimaan asteikolla 1–5, paras arvo on 5. Esimerkiksi korroosionkestävyydellä ei ole absoluuttista arvoa, vaan on käytettävä suhteellista arviota. Hinta on arvioitu asteikolla 1–10, kalleimmalle materiaalille on annettu suhteelliseksi hinnaksi arvo 10.

Taulukko 12. Säainstrumentin rungon vertailtavien materiaalien materiaaliominaisuudet.

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|-----------|--------------------|------------|
| Painokerroin | 5 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | |
| Ominaisuus | | | | | | | | | |
| Materiaali | Myötolujuus Re [MPa] | Kimmoduuli [GPa] | Tiheys ρ [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilyn kestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta | Arvo |
| Alumiini EN AW-6082 T6 | 250 | 70 | 2,7 | 3 | 5 | 5 | 5 | 2 | 124 |
| Alumiini EN AW-5754 | 200 | 70 | 2,7 | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 103 |
| Titaani Ti5 | 880 | 113,8 | 4,43 | 5 | 5 | 5 | 1 | 10 | 97 |
| GD-AISI12 | 140 | 70 | 2,7 | 3 | 5 | 5 | 3 | 2 | 100 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4301 | 230 | 200 | 7,9 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 104 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4401 | 250 | 200 | 7,9 | 4 | 5 | 5 | 3 | 6 | 105 |
| Duplex teräs EN 1.4462 | 450 | 200 | 7,9 | 4 | 5 | 5 | 2 | 7 | 98 |
| Polykarbonaatti PC+20% GF | 85 | 0,38 | 1,3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 1,5 | 101 |

Rungon materiaaliin parhaaksi vaihtoehdoksi vertailussa tuli alumiini EN AW-6083 T6 ja toiseksi ruostumaton teräs EN 1.4401.

8.7 Keskusyksikön kotelon materiaalivalinta

Keskusyksikön kotelon tehtävä on antaa keskusyksikön elektroniikalle suojattu riittävän kokoinen tila ja maadoittaa elektroniikka laiterunkoon. Kotelon pohjassa on oltava riittävä tila liittimille. Kotelon on oltava mahdollisimman pieni, eikä se saa aiheuttaa roiskeita vesisateessa mittaustilavuuteen eikä rajoittaa tai ohjata tuulta liikaa. Kotelon sisätilan koko on noin (leveys x korkeus x syvyys) 150 x 120 x 50 (mm). Keskuskotelo kiinnitetään runkoon ja optiikkayksikön sisäinen kaapelointi kulkee sääsuojuissa rungon sisällä. Keskusyksikön kotelo valmistetaan sarjavalmistusmenetelmillä valamalla omien piirustusten mukaan nykyisillä alihankkijoilla. Keskuskotelon materiaalivaihtoehtojen arvot on laskettu liitteessä 3. Kotelon keveys, korroosionkestävyys ja valmistettavuus painottuvat laitekotelon materiaalinvalinnassa. Saatavuus kattaa valmistettavuuden. Taulukossa 13 on laitekotelon vertailtavat materiaalit ja materiaaliominaisuudet.

Taulukko 13. Sääinstrumentin keskuskotelon vertailtavien materiaalien materiaali-ominaisuudet.

| Painokerroin | 5 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|-----------|--------------------|------------|
| Ominaisuus Materiaali | Murtolujuus [MPa] | Myötölujuus [GPa] | Tiheys p [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilyn kestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta | Arvo |
| Alumiini GD-AISi12 | 160 | 80 | 2,7 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 115 |
| Alumiini GD-AISi10Mg | 220 | 190 | 2,7 | 5 | 5 | 5 | 3 | 2 | 116 |
| Polykarbonaatti PC+20% GF | 110 | 5,93 | 1,34 | 3 | 4 | 4 | 5 | 1,5 | 111 |
| Nylon PA6 | 80 | 3,0 | 1,14 | 3 | 4 | 4 | 5 | 1,5 | 108 |
| PC + ABS Bayblend FR3305TV | 75 | 4,35 | 1,28 | 2 | 3 | 3 | 5 | 1,5 | 99 |

Keskusyksikön kotelon materiaalin parhaaksi vaihtoehdoksi vertailussa tuli painevalettava alumiini GD-AISi10Mg. Toiseksi vaihtoehdoksi painevalettava alumiini GD-AISi12. Muovikotelo olisi houkutteleva vaihtoehto, mutta laaja lämpötila-aluevaatimus ja pitkäaikainen sääräsitus vaikeissa olosuhteissa puoltavat metallisen materiaalin valintaa. Myös maadoituksen suunnittelu ja elektroniikan vaatima EMC-suoja on helpommin toteutettavissa metallisella kotelolla.

8.8 Laitekotelon materiaalivalinta

Laitekotelon tehtävä on antaa tiivis, lukittava, riittävän suuri tila sähkönsyötölle, modeemille, sulakkeille ja mahdollisille muille sähkötarvikkeille. Arvioitu kotelon koko on (leveys x korkeus x syvyys) 300x400x210 (mm). Kotelolta vaaditaan tiiveyttä, iskun- ja säänkestävyyttä, luotettavuutta, helppoa asennettavuutta, pitkää käyttöikää yli 10

vuotta. Koska kotelo ei ole merkittävä sääinstrumentin mittauskyvyn kanssa, niin voidaan kotelolle asettaa rajoitteeksi hinta ja helppo saatavuus. Laitetekelön ei tarvitse olla kokonaan metallinen. Kotelon sisälle asennettavat laitteet voidaan kiinnittää metalliseen pohjalevyyn, joka on hyvin maadoitettu. Kotelo voidaan valmistaa omien piirustusten mukaan valitusta materiaalista tai vaihtoehtoisesti valitaan kaupallinen valmiskotelo valitusta materiaalista. Taulukkoon 14 on koottu yhden valmistajan valmiskoteloiden tyypilliset materiaalit ja niiden spesifikaatiot.

Taulukko 14. Kaupallisen kotelon x valmistajan speksit eri materiaaleille, kotelon koko noin 300x400x210 mm.

| Ominaisuus Materiaali | Tiiveysluokka | Iskunkestävyys | Jatkuva käyttö- lämpötila (°C) | Paloluokka | UV-säteilyn kesto |
|----------------------------------|---------------|----------------|-----------------------------------|---------------|-------------------|
| Alumiini | IP 66 | IK 08 | -40 – 10 ¹⁾ | N/A | 4 |
| Akrylinitriilibutadieenistyreeni | IP 66 | IK 09 | -40 – 60 | UL 94 HB | 1 |
| Polykarbonaatti | IP 66 | IK 08 | -40 – 80 | UL 746C 5V | 4 |
| Lasikuituvahvistettupolyesteri | IP 66 | IK 08 | -40 – 80 | N/A | 5 ²⁾ |
| Maalattu teräs | IP 66 | IK 09 | N/A | N/A | 4 |
| Ruostumaton teräs | IP 66 | IK 09 | N/A | N/A | 5 |

1) Tiivistemateriaali rajoittaa jatkuvaa käyttölämpötilaa

2) Ulkokäyttöön kotelo suositellaan maalattavaksi UV-säteilyä vastaan 2-komponenttimaalilla.

Taulukosta 14 huomataan, että polymeeri- ja alumiinikotelolla on rajoitettu pitkäaikainen jatkuvan käytön lämpötila-alue. Sääinstrumentin laaja lämpötila-

aluevaatimus rajaa voimakkaasti kaupallisten koteloiden valikoimaa, jäljelle jää vaihtoehdot maalattu teräs tai ruostumaton teräs.

Laitekotelon materiaalivaihtoehtojen arvoanalyysi on laskettu liitteessä 4. Kotelon keveys ja saatavuus painottuvat laitekotelon materiaalinvalinnassa. Saatavuus kattaa vaihtoehdot ostettavan kaupallisen valmiskotelon tai omien piirustusten mukaan valmistetun laitekotelon välillä. Taulukossa 15 on laitekotelon vertailtavat materiaalit ja materiaaliominaisuudet.

Taulukko 15. Sääainstrumentin laitekotelon vertailtavien materiaalien materiaaliominaisuudet.

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|-----------|--------------------|------------|
| Painokerroin | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 | 5 | 4 | |
| Ominaisuus | | | | | | | | | |
| Materiaali | Myötölujuus Re [MPa] | Kimmomoduuli [GPa] | Tiheys ρ [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilyn kestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta | Arvo |
| Alumiini EN AW-5754 | 200 | 70 | 2,7 | 5 | 5 | 5 | 2 | 6 | 129 |
| Lasikuitulujitteinen polyesteri | 85 | 0,38 | 1,3 | 4 | 1 | 1 | 5 | 8 | 114 |
| Teräslevy DC 01 | 280 | 210 | 7,9 | 3 | 5 | 5 | 3 | 7 | 112 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4301 | 230 | 200 | 7,9 | 5 | 5 | 5 | 2 | 5 | 105 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4401 | 250 | 200 | 7,9 | 5 | 5 | 5 | 2 | 4 | 101 |

Laitekotelon parhaaksi materiaalivaihtoehdoksi vertailussa tuli alumiini EN AW-5754. Alumiinin parhaat ominaisuudet ovat keveys, korroosionkestävyys, ja säänkestävyys. Toiseksi vertailussa tuli lasikuitulujitteinenpolyesteri. Laitekotelon kohdalle tulee

myöhemmin projektissa päätettäväksi tehdäänkö oma vai käytetäänkö valmista kaupallista koteloa ehdotetusta materiaalista.

Kaupallista valmista koteloa ei ole tällä hetkellä saatavilla alumiiniseoksesta EN AW-5754. Saatavilla on lasikuitulujitteinen polyesterikotelo usealta eri valmistajalta.

8.9 Pintakäsittelyn valinta

Sääinstrumentin pintakäsittelyn päätarkoitus oli parantaa tuotteen ulkonäköä, puhdistettavuutta, korroosionkestävyyttä ja mahdollisesti UV-säteilyn kestävyttä. Jos materiaalivalinta on epäonnistunut, niin pintakäsittelyllä sitä ei voida kokonaan korjata. Rajoitteena oli pintakäsittelyn saatavuus ja kustannus. Pintakäsittelyn valinnassa apuna on käytetty Teknos Oy ja Tikkurilan Oyj korroosiosuojamaalausjärjestelmiä [24; 25; 27].

Taulukkoon 16 on koottu sääinstrumentin pääkomponenttien ehdotetut materiaalit ja pintakäsittelyt.

Taulukko 16. Sääainstrumentin pintakäsittelyvalinnat.

| Osa | Ehdotettu materiaalivalinta | Ehdotettu esikäsittely | Ehdotettu pintakäsittely |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| Laiterunko | Alumiini EN AW-6083 T6 | Anodisointi | Jauhemaalauus Teknos PE8316-05-60/1 PE8350 100/1 Al SaS ¹⁾ |
| Keskusyksikön kotelo | Alumiini GD-ALSi10Mg | Kromatointi tai anodisointi | Jauhemaalauus Teknos PE8316-05-60/1 PE8350 100/1 Al SaS ¹⁾ |
| Laitetekotelo Vaihtoehto 1 | Alumiini EN AW-5754 | Anodisointi | Jauhemaalauus Teknos PE8316-05-60/1 PE8350 100/1 Al SaS ¹⁾ |
| Laitetekotelo Vaihtoehto 2 | Lasikuituvahvistettu polyesteri | Ei tarvita | Pohja: Temacoat GPL-S primer Pinta: Temadur 50 ²⁾ |

1) [27]

2) [28]

Metallisten osien pintakäsittelyksi suositellaan esimerkiksi Teknos Oy Infralit PE 8316-05 / PE 8350-00 polyesterijauhemaalijärjestelmää ilmastorasitusluokka C5-M [27, s. 1].

Maalausjärjestelmän merkintä: P219c – EP 8026-05 60/1 EP 8026-00 180/1 – AISa 2½

Pintakäsittely koostuu:

Esikäsittely: Suihkupuhdistus asteelle Sa 2½

Pohjamaali: Sinkkiepoksijauhemaalii Infralit EP 8026-05 1x60 µm

Pintamaali: Epoksijauhemaalii Infralit PE 8026-00 1x80 µm tai 2x90 µm RAL 9003 kiiltävä

Maalikerroksen kokonaispaksuus 240 µm

9 Tulosten tarkastelu

9.1 Sääinstrumentin vaativat olosuhteet

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on selvittää, mitä ja millaiset ovat sääinstrumentin vaativat olosuhteet ja kuinka ne voidaan ottaa huomioon suunnittelussa. Selvitys suoritettiin sääinstrumenttien tuotepäälliköille suunnatulla kyselyllä. Kyselyssä nousi esille seuraavia tekijät, jotka voidaan yhdistää vaativiin tai erittäin vaativiin olosuhteisiin:

- rannikko-, poiju-, laiva- ja öljynporauslautta-asennukset
- tiesääasemat
- erittäin kylmät ja kuumat olosuhteet
- yllättävät ja ennalta arvaamattomat sääilmiöt
- ilkivalta
- korkeat mastot ja vuoristo-olosuhteet
- ilmansaasteet, pöly, hiekka, siitepöly
- eläimet, hyönteiset, hämähäkin verkot, lintujen jätökset.

Osalle näistä tekijöistä voidaan antaa numeeriset vaatimukset, mistä voidaan johtaa materiaalin ominaisuudelle vaatimus. Mutta ongelmaksi muodostuvat yllättävät ja ennalta arvaamattomat sääilmiöt, ilkivalta ja eläimet. Johonkin tasoon asti voidaan varautua, mutta rajoitteena tulevat vastaan tuotteen kustannukset.

Vaativien olosuhteiden kartoitus tehtiin tässä työssä pelkästään tuotepäälliköille suunnatulla kyselyllä. Olosuhteita olisi voitu myös selvittää laajemmin yrityksen sisältä huollon, myynnin, laatuosaston ja asiakasreklamaatioiden kautta. Huollon keräämän tiedon analysointi ja haastattelu voisi tuoda tarkempaa tietoa siitä, millaisia vaurioita

niissä on havaittu, missä laitteita on käytetty ja mikä on ollut käyttöikä. Takuuhuollon piiriin kuuluvien nopeasti esille tulleiden ongelmien selvittäminen voisi paljastaa puutteita materiaali- tai pintakäsittelyvallinnoissa.

Asiakasreklamaatioiden analysointi voisi antaa tietoa asiakkaan kokemista ongelmista ja vioista laitteissa.

Myöskään myynnin ja laatuosaston käsitystä vaativista olosuhteista ei kartoitettu tässä työssä. Kysely kohdistui vain kolmelle sääinstrumenttien tuotepäällikölle, joten vastaajien joukko oli hyvin pieni. He ovat myös hyvin kiireisiä, joten on hyvinkin mahdollista, että jokin tärkeä tieto on saattanut unohtua saaduista vastauksista.

Kyselyn vastauksissa tuli esille käsite erittäin vaativat olosuhteet. Saattaa olla, että osa vastaajista mielsi vaikeat olosuhteet erittäin vaativiksi olosuhteiksi.

Yksi mahdollinen tietolähde vaativien olosuhteiden numeerisille arvoille voisi olla säätilastot. Näitä tilastoja tutkimalla ja valikoimalla tunnettuja vaativia paikkakuntia voisi saada hyvin tarkan käsityksen eri suureiden maksimi- ja minimiarvoista.

9.2 Materiaalinvalinta

Materiaalivalinnan tärkein vaihe on koota kaikki tuotteeseen kohdistuvat vaatimukset taulukkoon tai vaatimusten hallintajärjestelmään. Vaatimukset tulee luokitella täytettäviin vaatimuksiin ja toiveisiin. Opinnäytetyössä kohteena olleen sääinstrumentin vaatimukset oli koottu vaatimusten hallintajärjestelmään. Mutta niiden luokittelu ja ryhmittely oli vielä osittain kesken. Opinnäytetyössä vaatimukset kerättiin hallintajärjestelmästä ja ryhmiteltiin kahdeksaan eri ryhmään. Vaatimuksille johdettiin materiaaliominaisuus ja numeerinen materiaalivaatimus. Esivalinnassa apuna käytettiin materiaalikarttoja, josta valittiin materiaalivalintaan vaatimukset täyttävät materiaaliehdokkaat.

Tässä työssä painokertoimia ei määritetty työn teoriaosassa esitetyllä tavalla. Taulukon koko olisi kasvanut vaatimusten suuren lukumäärän vuoksi isoksi ja hankalaksi käsitellä. Painokertoimet määriteltiin harkinnanvaraisesti.

Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden materiaaleille on useita erilaisia vaatimuksia ja normeja, jotka rajaavat käytössä olevia materiaaleja. Materiaalien kierrätysvaatimukset myös vaikuttavat käytettävissä oleviin materiaaleihin. Näitä normeja on jatkuvasti seurattava, koska näitä normeja päivitetään puolivuositain. Normit ovat myös kansallisia ja voivat hiukan poiketa toisistaan.

Materiaalit valittiin vain sääinstrumentin pääkomponenteille, laiterungolle, keskusyksikön kotelolle ja laitekotelolle. Kunkin pääkomponentin materiaalivalinnassa painotettiin hiukan eri tavalla materiaaliominaisuuksia. Konseptiproton materiaali valittiin konseptiproton vaatimusten perusteella ja siinä rajoitteena oli materiaalin saatavuus. Varsinaisen tuotteen materiaalivalinnat ovat ehdotuksia tuotekehitysprojektille, koska tuote on vielä tuotekehitysvaiheessa. Lopulliset materiaalivalinnat tehdään tuotekehitysprojektissa ja ne pohjautuvat tässä työssä käytettyihin vaatimuksiin.

Laitekotelon materiaalivalinnassa tärkein päätös tulee olemaan se, käytetäänkö kaupallista koteloa vai tehdäänkö oma kotelo valitusta materiaalista. Laitekotelon materiaali voidaan valita kuitenkin kotelon vaatimuksista johdettujen materiaalivaatimusten avulla.

9.3 Pintakäsittelyn valinta

Tehdyssä opinnäytetyössä pääpaino oli materiaalin valinnassa. Pintakäsittelyn valinta jäi hyvin vähäiselle painoarvolle. Sen valinnassa päätarkoitus oli noudattaa Vaisalan väriohjeistusta, parantaa ulkonäköä sekä korroosion- ja UV-säteilynkestävyyttä. Koska projekti ei vielä ollut edennyt yksityiskohtaiseen suunnitteluvaiheeseen, niin pintakäsittelystä annettiin projektille vain ehdotukset.

Kun suunnittelu etenee materiaalivalintoihin, niin pintakäsittelyehdotukset tullaan tarkastelemaan uudestaan ja sääinstrumentin osille valitaan lopulliset pintakäsittelyt. Valittujen materiaalien ja pintakäsittelyjen tulee läpäistä kaikki ympäristö- ja olosuhdetestit ennen kuin ne voidaan hyväksyä tuotteeseen.

9.4 Tuotekehitysprosessi

Materiaalin ja pintakäsittelyn valinta on tärkeä osa tuotekehitysprosessia. Prosessin alkuvaiheessa tehdään alustavia valintoja ja rajataan materiaaliryhmiä. Yksityiskohtaisen suunnitteluvaiheen aikana tehdään varsinaiset valinnat. Tämä opinnäytetyö ajoittui tuotekehitysohjelman alkuvaiheesta konseptivaiheeseen, varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen ei vielä edetty. Pintakäsittelyn valinta liittyy perusmateriaaliin ja se yleensä valitaan materiaalivalinnan jälkeen yksityiskohtaisen suunnitteluvaiheen aikana.

Vaatumustenhallintajärjestelmään kootut tuotteen vaatimukset auttavat tuotekehitysprosessia, vaatimukset ovat helposti löydettävissä, ne voidaan ryhmitellä järkevästi ja niiden täyttymisen raportointia voidaan seurata. Materiaaliominaisuuden liittämistä vaatimukseen tulisi jatkossa suunnitella ja tutkia.

10 Johtopäätökset

Sääinstrumentin rungon materiaaliksi ehdotetaan esisijaisesti kuumapuristettavaa alumiinia EN AW-6082 T6 ja toisena vaihtoehtona ruostumatonta terästä EN 1.4401. Kuumapuristettavan alumiinin hyvä ominaislujuus ja hyvä saatavuus puoltavat tätä vaihtoehtoa. Ruostumaton teräs on kilpailukykyinen vaihtoehto, mutta rungon sisälle pitää saada riittävä tila kaapeleille. Käytännössä runko tehdään putkiprofiilista taivuttamalla ja hitsaamalla. Helppo hitsattavuus puoltaa ruostumatonta terästä, mutta sisäisen kaapeloinnin takia on käytettävä isohkoa putkea, jolla on suuri rakenteellinen jäykkyys, joten paremmalla kimmomoduulilla ei saada hyötyä runkoputken koossa. Lisäksi rungon paino kasvaa, kun joudutaan ottamaan käyttöön suurempi putki. Ruostumattoman teräksen tiheys on lähes kolme kertaa suurempi kuin alumiinin. Koska myös ruostumattoman teräksen jäykkyys on kolminkertainen alumiinin verrattuna, on mahdollista käyttää ohutseinäistä putkea, jolla päästään samaan ominaisjäykkyyteen kuin alumiinilla. Tämä vaatii vielä tarkempaa selvitystä tuotekehitysohjelman aikana.

Keskusyksikön kotelon materiaaliksi ehdotetaan alumiinia GD-AISI10Mg. Kotelo tullaan tekemään sarjavalmistusmenetelmällä valamalla. Valmistusmenetelmä tällä

materiaalilla on painevalu. Ehdotetulla alumiininseoksella on hyvät korroosionkestominaisuudet, hyvä lujuus ja se on valettava materiaali.

Laitekotelon materiaalivalintaan on ehdolla kaksi vaihtoehtoa. Vaihtoehdossa yksi kotelo valmistetaan omien mittojen ja materiaalin mukaan alumiinista EN AW-5754. Vaihtoehdossa kaksi kotelo hankitaan valmiina ostokomponenttina, joka on valmistettu lasikuituvahvisteisesta polyesterista.

Alumiiniseos EN AW-5754 sai laitekotelomateriaalien vertailussa selkeästi korkeimmat pisteet. Laitekotelon valmistusmenetelmä tulisi olemaan tällä materiaalilla ohutlevyvalmistus: leikkaus, taivutus ja hitsaus. Materiaalilla on hyvä korroosionkesto, suhteellisen hyvä ominaislujuus, hyvä iskunkestävyys kylmässä ja riittävä lämpötilankestävyys.

Valmiskoteloiden valikoimasta ehdotetaan lasikuidulla vahvistetusta polyesteristä valmistettua koteloa. Koteloa puoltaa sen hyvä saatavuus ja edullisuus. Kotelon ongelma on huono korkean lämpötilan jatkuva kesto, kylmässä iskunkestävyys ja huono UV-säteilyn kesto. UV-säteilyn kesto voidaan parantaa sopivalla pintakäsittelyllä. Muuten polyesteri kestää hyvin korrodoivia olosuhteita.

Lähteet

- 1 Ashby, Michael F. 2011. Materials selectionin mechanical design. 4. edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- 2 Koivisto, Kaarlo, Laitinen, Esko, Niinimäki, Matti, Tiainen, Tuomo, Tiilikainen, Pentti & Tuomikoski, Juho. 2014. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- 3 Airila, Mauri, Ekman, Kalevi, Hautala, Pekka, Kivioja, Seppo, Kleimola, Matti, Martikka, Heikki, Miettinen, Juha, Niemi, Erkki, Ranta, Aarno, Rinkinen, Jari, Salonen, Pekka, Verho, Arto, Vilenius, Matti & Välimaa, Veikko. 1995. Koneenosien suunnittelu. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- 4 Airila, Mauri, Karjalainen, Jussi A., Mantovaara, Urpo, Nurmi, Lasse, Ranta, Aarno & Verho, Arto. 1985. Koneenosien suunnittelu 1 perusteet. Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö.
- 5 Ulrich, Karl T. & Eppinger, Steven D. 2008. Product design and development. 4 edition. Singapore: McGraw-Hill Education.
- 6 Tuotteet ympäristövaatimusten mukaisiksi: ohjeet, toimintamallit ja liittyvät kustannukset. Opas ympäristölainsäädännön viidakkoon. Teknologiateollisuus ry. Verkkodokumentti.
http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/web_tuotteet_ymparistovaatimusten_2015.pdf Luettu 24.3.2016.
- 7 Tukes verkkopalvelu. RoHS-vaarallisten aineiden käytön rajoittaminen. Verkkopas. Verkkodokumentti. <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/> Luettu 24.3.2016.
- 8 Tukes verkkopalvelu. Lisätietoa RoHS-direktiivistä. Verkkopas.
[http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittamisesta-sahko--ja-elektroniikkalaitteissa/](http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/RoHS-direktiivi-vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittamisesta-sahko--ja-elektroniikkalaitteissa/) Luettu 24.3.2016.
- 9 Tukes verkkopalvelu. WEEE- sähkö ja elektroniikkalaiteromu. Verkkopas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/WEEE---Sahko--ja-elektroniikkalaiteromu/> Luettu 24.3.2016.
- 10 Tukes verkkopalvelu. REACH-asetus. Verkkopas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja->

kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--ja-kuluttajakemikaalit/REACH---asetus/ Luettu 24.3.2016.

- 11 Tukes verkkopalvelu. Akut ja paristot. Verkko-opas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/Akut-ja-paristot/> Luettu 24.3.2016.
- 12 Tukes verkkopalvelu. Ekosuunnittelu. Verkko-opas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/EcoDesign---Tuotteiden-ekologinen-suunnittelu-ja-energiamerkinnaat/> Luettu 24.3.2016.
- 13 Tukes verkkopalvelu. Uusi F-kaasuasetus tuo rajoituksia kylmäaineiden käyttöön. Verkko-opas.
<http://www.tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Kylmalaiteliikkeit/Uusi-F-kaasuasetus-tuo-rajoituksia-kylmaaineiden-kayttoon/> Luettu 24.3.2016.
- 14 Tukes verkkopalvelu. Mitä biosidiasetus koskee. Verkko-opas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Biosidit/Tietoa-biosidiasetuksesta/> Luettu 24.3.2016.
- 15 Tukes verkkopalvelu. Pakkaukset ja pakkausjätteet. Verkko-opas.
<http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Kemikaalit-ja-ymparisto/Pakkaukset-ja-pakkausjatteen/> Luettu 11.5.2016.
- 16 Gerhard, Pahl. Beitz, Wolfgang. Koneensuunnitteluoppi. Helsinki: Suomen Metalli-, Kone-, ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET. 1990.
- 17 Granta Design Ltd, Cambridge, U.K. CES 2016 selector. Verkko-ohjelma.
<https://www.grantadesign.com/products/ces/> Luettu 24.3.2016.
- 18 Tunturi, Pirjo. Tunturi, Pekka. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Helsinki: Metalliteollisuuden keskusliitto. 1999.
- 19 Jokinen, Isto. Kuusela, Asko. Nikkari, Tapani. Pinnalla 2. Metallituotteiden maalaus. Helsinki: Opetushallitus. 2012.
- 20 SFS-EN ISO12944-1. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 1: Yleistä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 1998.
- 21 SFS-EN ISO12944-2. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 1998.

- 22 SFS-EN ISO12944-5. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 2008.
- 23 SFS 5873. Metallirakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Käyttösuositus prosessi- ja metalliteollisuudelle. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 2008.
- 24 Teknos Oy. Korroosionestomaalauksen käsikirja. 2013. Verkkodokumentti. <http://www.teknos.fi/?pageid=H4918> Luettu 24.4.2016.
- 25 Tikkurila Oyj. Teollinen pintakäsittely. Esite. Verkkodokumentti. http://www.tikkurila.fi/files/7079/Teollinen_pintakasittely.pdf Luettu 24.4.2016
- 26 Tikkurila Oyj. Polyuretaaniyhdistelmät TP82. Esite. Verkkodokumentti. http://www.tikkurila.fi/files/50304/TP82_Kesa2014.pdf Luettu 24.4.2016
- 27 Teknos Oy. Infralit EP 8026-05/EP 8026-00 Epoksijauhemaalijärjestelmät EP 8316-05/PE 8350-00 Polyesterijauhemaalijärjestelmät. Esite. 2008. Verkkodokumentti. [http://194.100.44.55/Maalausj.nsf/\(\\$All\)/2FA6A9A967213D8CC2257448001CE335/\\$File/P219.pdf?OpenElement](http://194.100.44.55/Maalausj.nsf/($All)/2FA6A9A967213D8CC2257448001CE335/$File/P219.pdf?OpenElement) Luettu 25.4.2016.
- 28 Tikurila Oyj. Temadur 50. Kaksikomponenttinen, puolikiiltävä, akryylipolyuretaanimaali-esite. Esite. 2008. Verkkodokumentti. http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden_tuotteet/med_hyvaksytyt_tuotteet/temadur_50.3198.shtml Luettu 26.4.2016.

Sääinstrumentin vaatimusprofiili ja materiaaliominaisuudet

Uuden sääinstrumentin vaatimukset on esikäsitelty ja niistä on koottu tärkeimmät vaatimukset taulukkoon 1. Vaatimukset on ryhmitelty kahdeksaan ryhmään ja jokaisesta vaatimuksesta on johdettu materiaaliominaisuus.

Taulukko 1. Uuden sääinstrumentin vaatimukset ja materiaaliominaisuudet. V tarkoittaa vaatimusta ja T toivomusta.

| V/T | Vaatus | Materiaaliominaisuus |
|---------------------------------|---|--|
| Toiminnot | | |
| V | Muodon säilyttäminen, sirontakulman tarkkuus $\pm 0,25^\circ$ | Myötölujuus Re, kimmomoduuli E |
| V | Maksimi tuulikuorma 60 m/s | Myötölujuus Re |
| V | Yhden miehen asennettavissa, kevyt laite | Suuri ominaislujuus |
| Käyttöympäristö | | |
| V | Toimintalämpötila-alue $-55\text{ }^\circ\text{C} - 65\text{ }^\circ\text{C}$ | Lasimuutos lämpötila, Iskuitkeysluokka teräksellä J2, maksimilämpötila |
| V | Suhteellinen kosteus 0 – 100 %RH | Vedenkestävyys, vanhenemisenkestävyys |
| V | UV-säteilyn kestävä | Vanhenemisenkestävyys |
| V | Korroosionkestävyys >10 vuotta | Korroosion- ja UV-säteilyn- ja vanhenemisenkestävyys, pintakäsiteltävyys |
| V | Ei kerää lunta eikä jäätä | Pintakäsiteltävyys |
| Valmistuksen vaatimukset | | |
| V | Sirontakulman helppo varmennus $\pm 0,25^\circ$ | Hyvä työsteittävyys, pieni muottikutistuma |
| V | Lujat ja tiiviit liitokset | Hitsattavuus |
| V | Optisten osien luotettava ja helppo puhdistettavuus | Pintakäsiteltävyys, hyvä pinnansileys |
| V | Ympäristöystävällinen | Kierrätettävyys |
| Luotettavuus | | |
| V | Käyttöikä >10 vuotta | Väsymislujuus, korroosionkestävyys, |

| | | |
|--|---|---|
| | | vanhenemiskestävyys, kulumiskestävyys |
| V | Huoltoväli 6 kk | Stabiilisuus, pintakäsiteltävyys, korroosionkestävyys, muodonpysyvyys |
| Huollettavuus | | |
| V | Helppo puhdistettavuus | Pintakäsiteltävyys, pinnan hyvä sileys |
| V | Hyönteisten, hämähäkinverkojen torjunta | Pintakäsiteltävyys |
| Lakien ja asetusten vaatimukset | | |
| V | RoHS direktiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Kiina RoHS SJ/T 11364-2014 | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | REACH-asetus | Ei kandidaattilistalla olevia materiaaleja |
| V | WEEE, muoviosien merkintä materiaali- ja kierrätysmerkillä | Valettavuus |
| V | Pakkausdirektiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Akku- ja paristo direktiivi 2006/66/EC | Ei kiellettyjä materiaaleja, |
| V | Biosidiasetus | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Ekosuunnitteludirektiivi | Materiaalien kierrätettävyys |
| V | F-kaasuasetus | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| Kustannukset | | |
| V | Valmistuskustannukset | Materiaalin hinta, muottien investoinnit |
| V | Käytönaikaiset kustannukset | Pitkäaikaiskestävyys |

Rungon materiaaliprofiili ja arvonalyysi

Sääinstrumentin rungolta vaaditaan lujuutta, korroosionkestävyyttä, stabiilisuutta, pitkäaikaiskestävyyttä, keveyttä ja muodossapysyvyyttä. Rungon pitää antaa EMC-suoja sisäiselle kaapeloinnille ja maadoittaa elektroniikkayksiköt. Rajoitteena rungolla on kokovaatimus, optiikkayksiköiden etäisyys mittaustilavuuden keskipisteestä on määrätty ja toisena rajoitteena hinta. Uuden sukupolven sääinstrumentti ei saa olla valmistuskustannuksiltaan korkeampi kuin nykyinen tuotannossa oleva malli. Taulukkoon 1 on koottu rungon keskeiset vaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet. Vaatimukset ovat ryhmitelty seitsemään (7) ryhmään ja taulukon vasemmassa reunassa olevassa sarakkeessa V tarkoittaa vaatimusta ja T toivomusta.

Taulukko 1. Sääinstrumentin rungon materiaalivaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet.

| V/T | Vaatus | Materiaaliominaisuus |
|------------------------|---|---|
| Toiminnot | | |
| V | Jäykkä runko | Kimmomoduuli E |
| V | Kevyt runko | Tiheys ρ |
| V | Maksimi tuulikuorma 60 m/s | Myötölujuus Re |
| V | Sisäinen kaapelointi rungon sisällä sääsuojassa, putkirakenne | Myötölujuus Re |
| V | Muodon säilyttäminen, sirontakulman tarkkuus $\pm 0,25^\circ$ | Hyvä työstettävyys, pieni muottikutistuma |
| V | Runko maadoittaa ja suojaa elektroniikkaa | Hyvä sähkönjohtavuus |
| Käyttöympäristö | | |
| V | Toimintalämpötila-alue $-55\text{ °C} - 65\text{ °C}$ | Lasinmuutos lämpötila, Iskuitkeysluokka teräksellä J2, maksimilämpötila |
| V | Suhteellinen kosteus 0 – 100 %RH | Vedenkestävyys, vanhenemisenkestävyys |
| V | UV-säteilyn kestävä | Säteilynkestävyys |
| V | Korroosionkestävyys >10 vuotta | Korroosion-, UV-säteilyn ja vanhenemisenkestävyys |
| V | Ei kerää lunta eikä jäätä | Pintakäsiteltävyys |

| Valmistuksen vaatimukset | | |
|--|--|---|
| V | Sarjavalmistusmenetelmällä valmistettava | Valettavuus |
| V | Lujat ja tiiviit liitokset | Hitsaus- tai ruuviliitoksia, hitsattavuus |
| V | Materiaalit kierrätettäviä | Kierrätettävyys |
| Luotettavuus | | |
| V | Käyttöikä 10 vuotta (korkea MTBF-arvo) | Väsymislujuus, stabiilisuus |
| V | Huoltoväli 6 kk | Stabiilisuus, pintakäsiteltävyys, korroosionkestävyys, muodonpysyvyys |
| Huollettavuus | | |
| V | Helppo puhdistettavuus | Pintakäsiteltävyys, pinnan hyvä sileyys |
| V | Hyönteisten, hämähäkinverkojen torjunta | Pintakäsiteltävyys |
| Ympäristön suunnittelun vaatimukset | | |
| V | RoHS direktiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Kiina RoHS SJ/T 11364-2014 | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | REACH-asetus | Ei kandidaattilistalla olevia materiaaleja |
| V | WEEE, muoviosien merkintä materiaali- ja kierrätysmerkillä | Valettavuus |
| V | Pakkausdirektiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Akku- ja paristo direktiivi 2006/66/EC | Ei kiellettyjä materiaaleja, akun tai pariston helppo irrotus |
| V | Biosiditasetus | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| Kustannukset | | |
| V | Valmistuskustannukset | Materiaalin hinta, muuttien investoinnit |
| V | Käytönaikaiset kustannukset | Vanhenemisen- ja korroosionkestävyys |

Taulukon 2 arvot on laskettu antamalla vaatimukset täyttävälle ominaisuudelle 5 pistettä ja huonoimmalle arvolle 1 piste. Ominaisuuden pisteet on kerrottu painokertoimella ja laskettu yhteen oikean puoleiseen sarakkeeseen. Jokaiselle materiaalille saadaan oma vertailukelpoinen arvo. Hinta on arvioitu suhteellisen kilohinnan kautta ja asteikko on 1–10. Kallein materiaali on saanut alhaisemman suhteellisen hinta-arvon ja halvin materiaali korkeimman arvon. Painokertoimien asteikko on 1–5. Painokertoimissa korostetaan materiaalin myötölujuutta, tiheyttä ja

saatavuutta. UV-säteilyn kestävyydelle on annettu painokertoimeksi 1, koska tätä ominaisuutta voidaan helposti parantaa pintakäsittelyllä myöhemmin. Arvoanalyysissä on sovellettu yhtälöä 1.

Taulukko 2. Sääainstrumentin rungon materiaalivalinnan arvoanalyysi.

| Painokerroin | 5 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------|-----------|-------------------------|------------|
| Ominaisuus | | | | | | | | | |
| Materiaali | Myötölujuus Re [MPa] | Kimmo-moduuli [GPa] | Tiheys ρ [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilynkestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta-arvo | Arvo |
| Alumiini EN AW-6082 T6 | 5x5 | 3x3 | 5x5 | 3x3 | 1x5 | 2x5 | 5x5 | 2x8 | 124 |
| Alumiini EN AW-5754 | 5x4 | 3x3 | 5x5 | 3x4 | 1x5 | 2x5 | 5x2 | 2x6 | 103 |
| Titaani Ti5 | 5x5 | 3x5 | 5x4 | 3x5 | 1x5 | 2x5 | 5x1 | 2x1 | 97 |
| GD-AISi12 | 5x3 | 3x5 | 5x5 | 3x3 | 1x5 | 2x5 | 5x1 | 2x8 | 100 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4301 | 5x5 | 3x5 | 5x3 | 3x3 | 1x5 | 2x5 | 5x3 | 2x5 | 104 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4401 | 5x5 | 3x5 | 5x3 | 3x4 | 1x5 | 2x5 | 5x3 | 2x4 | 105 |
| Duplex teräs EN 1.4462 | 5x5 | 3x5 | 5x3 | 3x4 | 1x5 | 2x5 | 5x2 | 2x3 | 98 |
| Polykarbonaatti PC+20% GF | 5x2 | 3x1 | 5x5 | 3x3 | 1x4 | 2x4 | 5x5 | 2x8,5 | 101 |

Keskusyksikön kotelon materiaali-profiili ja arvoanalyysi

Keskusyksikön kotelona voidaan käyttää valmista kaupallista koteloa tai valaa omien mittojen mukaan. Omien mittojen mukaan valettua koteloa puoltaa muotoilun tärkeys, kotelosta halutaan pieni ja muodoltaan sellainen, että se mahdollisimman vähän häiritsee mittaustilavuutta. Kotelon täytyy olla metallisessa kontaktissa sääinstrumentin laiterunkoon. Jos kotelo valmistetaan polymeeristä, niin se voidaan pinnoittaa metallilla tai valmistaa johtavasta polymeeristä. Kotelon sisälle voidaan suunniteltava erillinen EMC-suojakotelo, mikä on hyvässä kontaktissa laiterungon kanssa. Taulukossa 1 on keskusyksikön kotelon keskeiset vaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet. Vaatimukset ovat ryhmitelty seitsemään (7) ryhmään ja taulukon vasemmassa reunassa olevassa sarakkeessa V kuvaa vaatimusta ja T toivomusta.

Taulukko 1. Sääinstrumentin keskusyksikön materiaalivaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet.

| V/T | Vaatus | Materiaaliominaisuus |
|---------------------------------|--|---|
| Toiminnot | | |
| V | Jäykkä kotelo | Kimmomoduuli E, virumiskestävyys |
| V | Kevyt kotelo | Tiheys ρ |
| V | Maksimi tuulikuorma 60 m/s | Myötölujuus Re |
| V | Kotelon tiiveysluokka IP65 | Myötölujuus Re, kimmomoduuli E |
| V | Hyvä iskunkestävyys IK09 | Myötölujuus Re, vanhenemiskestävyys |
| Käyttöympäristö | | |
| V | Toimintalämpötila-alue -55 °C – 65 °C | Lasinmuutos lämpötila, Iskuitkeysluokka teräksellä J2, maksimilämpötila |
| V | Suhteellinen kosteus 0 – 100 %RH | Stabiilisuus, vanhenemiskestävyys |
| V | UV-säteilyn kestävä | UV-säteilynkestävyys |
| V | Korroosionkestävyys >10 vuotta | Korroosion-, UV-säteilyn- ja vanhenemisenkestävyys |
| V | Ei kerää lunta eikä jäätä | Pintakäsiteltävyys |
| Valmistuksen vaatimukset | | |
| V | Sarjavalmistusmenetelmällä valmistettava | Valettavuus |

| | | |
|--|--|---|
| V | Lujat ja tiiviit liitokset | Hitsaus- tai ruuviliitoksia, hitsattavuus |
| V | Materiaalit kierrätettäviä | Kierrätettävyys |
| Luotettavuus | | |
| V | Käyttöikä 10 vuotta, (korkea MTBF-arvo) | Väsymislujuus, stabiilisuus |
| V | Huoltoväli 6 kk | Stabiilisuus, pintakäsiteltävyys, korroosionkestävyys, muodonpysyvyys |
| Huollettavuus | | |
| V | Helppo puhdistettavuus | Pintakäsiteltävyys, pinnan hyvä sileys |
| V | Hyönteisten, hämähäkinverkojen torjunta | Pintakäsiteltävyys |
| Ympäristön suunnittelun vaatimukset | | |
| V | RoHS direktiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Kiina RoHS SJ/T 11364-2014 | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | REACH-asetus | Ei kandidaattilistalla olevia materiaaleja |
| V | WEEE, muoviosien merkintä materiaali- ja kierrätysmerkillä | Valettavuus |
| V | Pakkausdirektiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Akku- ja paristo direktiivi 2006/66/EC | Ei kiellettyjä materiaaleja, akun tai pariston helppo irrotus |
| V | Biosiditasetus | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| Kustannukset | | |
| V | Valmistuskustannukset | Materiaalin hinta, muottien investoinnit |
| V | Käytönaikaiset kustannukset | Vanhenemisen- ja korroosionkestävyys |

Laaja lämpötilavaatimus ja UV-säteilynfkesto osoittautuivat polymeerimateriaalille haastavaksi saavuttaa. Taulukon 3 arvot on laskettu antamalla vaatimukset täyttävälle ominaisuudelle viisi (5) pistettä ja huonoimmalle arvolle yksi (1) piste. Ominaisuuden pisteet on kerrottu painokertoimella ja laskettu yhteen oikean puoleiseen sarakkeeseen. Jokaiselle materiaalille saadaan laskettu oma vertailukelpoinen arvo. Hinta on arvioitu suhteellisen kilohinnan kautta ja asteikolla on 1–10. Kallein materiaali on saanut alhaisemman suhteellisen hinta-arvon ja halvin materiaali korkeimman arvon. Alumiinien yleisimmät valuseokset ovat esitetty taulukossa 2, josta on valittu kaksi painevaluseosta materiaalivertailuun. Arvoanalyysissä on sovellettu yhtälöä 1.

Taulukko 2. Yleiset alumiinivaluseokset [3, s.121].

| SFS | Valutapa | Myötö- lujuus | Murto- lujuus | Murto- venymä | Kovuus (ohjeellinen) |
|--|-----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| 2550 1985 | GS, GD, GK | Rp 0,2 MPa | Rm MPa | A5 % | HB |
| G-AlCu4Ti | GS, GK * | 200 | 250 | 3 | 95...110 |
| G-AlSi12 | GS, GK, GD | 80 | 160 | 3 | 50...60 |
| G-AlSi10 | GS, GK, GD | 200 | 230 | 1 | 85...115 |
| G-AlSi8Cu3Fe | GD | 160 | 240 | 0,5 | 80...110 |
| G-AlSi7Mg | GS, GK | 200 | 250 | 3 | 80...105 |
| G-AlMg3 | GS, GK | 70 | 150 | 4 | 50...60 |
| G- AlSi7MgFe0,2 | GS, GK | 200 | 250 | 4...8 | 80...110 |
| * GS = Hiekkavalu, GD = Painevalu, GK = Kokillivalu. | | | | | |

Taulukko 3. Sääinstrumentin keskussyksikön kotelon materiaalivalinnan arvoanalyysi.

| Painokerroin | 5 | 3 | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 | 2 | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|-----------|-------------------------|------------|
| Ominaisuus | | | | | | | | | |
| Materiaali | Murtolujuus [MPa] | Myötölujuus [MPa] | Tiheys ρ [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilykestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta-arvo | Arvo |
| Alumiini GD-AISi12 | 5x5 | 3x4 | 5x3 | 3x4 | 1x5 | 2x5 | 5x4 | 2x8 | 115 |
| Alumiini GD-AISi10Mg | 5x5 | 3x5 | 5x3 | 3x5 | 1x5 | 2x5 | 5x3 | 2x8 | 116 |
| Polykarbonaatti PC+20% GF | 5x4 | 3x4 | 5x4 | 3x3 | 1x4 | 2x2 | 5x5 | 2x8,5 | 111 |
| Nylon PA6 | 5x4 | 3x3 | 5x4 | 3x3 | 1x4 | 2x2 | 5x5 | 2x8,5 | 108 |
| PC + ABS Bayblend FR3305TV | 5x4 | 3x3 | 5x3 | 3x2 | 1x3 | 2x2 | 5x5 | 2x8,5 | 99 |

Laitekotelon materiaali-profiili ja arvoanalyysi

Laitekotelona voidaan käyttää valmista kaupallista koteloa tai valmistaa se alihankkijoiden toimesta omien mittojen mukaan. Omien mittojen mukaan valmistettua koteloa puoltaa oma design. Kotelon ei tarvitse olla metallinen, jos pohjalevy on metallista valmistettu, niin sen kautta kotelon sisällä olevat osat voidaan maadoittaa. Taulukossa 1 on laitekotelon keskeiset vaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet. Vaatimukset ovat ryhmitelty seitsemään (7) ryhmään ja taulukon vasemmassa reunassa olevassa sarakkeessa V kuvaa vaatimusta ja T toivomusta.

Taulukko 1. Sääainstrumentin laitekotelon materiaalivaatimukset ja niistä johdetut materiaaliominaisuudet.

| V/T | Vaatus | Materiaaliominaisuus |
|---------------------------------|--|--|
| Toiminnot | | |
| V | Jäykkä kotelo | Myötölujuus Re, kimmomoduuli E, virumiskestävyys |
| V | Kevyt kotelo | Tiheys p |
| V | Maksimi tuulikuorma 60 m/s | Myötölujuus Re |
| V | Kotelon tiiveysluokka IP65 | Myötölujuus Re |
| V | Hyvä iskunkestävyys IK09 | Myötölujuus Re, vanhenemiskestävyys |
| V | Iskunkestävyys > IK08 | Myötölujuus Re |
| V | Kotelossa lukitus mahdollisuus | Ei materiaaliominaisuus |
| Käyttöympäristö | | |
| V | Toimintalämpötila-alue -55 °C – 65 °C | Lasinmuutos lämpötila, Iskusitkeysluokka teräksellä J2, maksimilämpötila |
| V | Suhteellinen kosteus 0 – 100 %RH | Stabiilisuus, vanhenemiskestävyys |
| V | UV-säteilyn kestävä | Säteilynkestävyys |
| V | Korroosionkestävyys >10 vuotta | Korroosion-, UV-säteilyn ja vanhenemisenkestävyys |
| Valmistuksen vaatimukset | | |
| V | Sarjavalmistusmenetelmällä valmistettava | Valettavuus |
| V | Lujat ja tiiviit liitokset | Hitsaus- tai ruuviliitoksia, hitsattavuus |

| | | |
|--|--|---|
| V | Materiaalit kierrätettäviä | Kierrätettävyys |
| Luotettavuus | | |
| V | Käyttöikä 10 vuotta, (korkea MTBF-arvo) | Väsymislujuus, stabiilisuus |
| V | Huoltoväli 6 kk | Stabiilisuus, pintakäsiteltävyys, korroosionkestävyys, muodonpysyvyys |
| V | Ei kerää lunta eikä jäätä | Pintakäsiteltävyys |
| Huollettavuus | | |
| V | Helppo puhdistettavuus | Pintakäsiteltävyys, pinnan hyvä sileyys |
| V | Hyönteisten, hämähäkinverkojen torjunta | Pintakäsiteltävyys |
| Ympäristön suunnittelun vaatimukset | | |
| V | RoHS direktiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Kiina RoHS SJ/T 11364-2014 | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | REACH-asetus | Ei kandidaattilistalla olevia materiaaleja |
| V | WEEE, muoviosien merkintä materiaali- ja kierrätysmerkillä | Valettavuus |
| V | Pakkausdirektiivi | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| V | Akku- ja paristo direktiivi 2006/66/EC | Ei kiellettyjä materiaaleja, akun tai pariston helppo irrotus |
| V | Biosiditasetus | Ei kiellettyjä materiaaleja |
| Kustannukset | | |
| V | Valmistuskustannukset | Materiaalin hinta, muottien investoinnit |
| V | Käytönaikaiset kustannukset | Vanhenemisen- ja korroosionkestävyys |

Laitetekelo materiaalivalinnan arvoanalyysi on taulukossa 2. Painokertoimissa on korostettu kotelon keveyttä ja saatavuutta. Taulukon arvot on laskettu antamalla vaatimukset täyttävälle ominaisuudelle viisi (5) pistettä ja huonoimmalle arvolle yksi (1) piste. Ominaisuuden pisteet on kerrottu painokertoimella ja laskettu yhteen oikean puoleiseen sarakkeeseen. Jokaiselle materiaalille on näin saatu laskettua oma vertailukelpoinen arvo. Kotelon hinta on arvioitu materiaalin kilohinnan kautta asteikolla 1-10. Kallein materiaali on saanut alhaisemman suhteellisen hinta-arvon ja halvin materiaali korkeimman arvon. Arvoanalyysissä on sovellettu yhtälöä 1.

Taulukko 2. Säainstrumentin laitekotelon materiaalivalinnan arvoanalyysi.

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|-----------|-------------------------|------------|
| Painokerroin | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 | 5 | 4 | |
| Ominaisuus Materiaali | Myötölujuus Re [MPa] | Kimmo moduuli [GPa] | Tiheys ρ [kg/dm ³] | Korroosionkestävyys | UV-säteilykestävyys | Lämpötila-alue | Saatavuus | Suhteellinen hinta-arvo | Arvo |
| Alumiini EN AW-5754 | 3x5 | 3x5 | 5x5 | 3x5 | 2x5 | 3x5 | 5x2 | 4x6 | 129 |
| Lasikuitulujitteinenpolyesteri | 3x3 | 3x2 | 5x5 | 3x4 | 2x1 | 3x1 | 5x5 | 4x8 | 114 |
| Teräslevy DC 01 | 3x5 | 3x5 | 5x1 | 3x3 | 2x5 | 3x5 | 5x3 | 4x7 | 112 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4301 | 3x5 | 3x5 | 5x1 | 3x5 | 2x5 | 3x5 | 5x2 | 4x5 | 105 |
| Ruostumaton teräs EN 1.4401 | 3x5 | 3x5 | 5x1 | 3x5 | 2x5 | 3x5 | 5x2 | 4x4 | 101 |

Tuotepäälliköiden kyselyn vastaukset

Kysely lähetettiin sähköpostilla kolmelle (3) sääinstrumenttien tuotepäällikölle. Jokaisella tuotepäälliköllä on omat sääinstrumentit vastattavana. Näitä tuotteita käytetään hyvin laajasti eri sovellutuksissa ympäri maailmaa ja niitä on käytetty hyvin pitkään useita kymmeniä vuosia. Tuotteiden valmistusmäärät vaihtelevat muutamasta sadasta noin 10 000 vuodessa. Tuotepäälliköille on kertynyt vuosien aikana hyvä tietämys omista ja kilpailijoiden tuotteista ja käytetyistä sovelluksista. He vastaavat asiakkaiden reklamaatioihin. Tuotepäälliköiden vastaukset on koottu alla olevaan koontitaulukkoon 1. Yrityksen säännöt estävät vastausten liittämiset sellaisenaan julkiseen opinnäytetyöhön, joten ne on koottu vastauksista kukin kysymyksen alapuolelle.

Taulukko 1. Tuotepäälliköiden kyselyn vastaukset.

| Millainen käsitys sinulla on vaikeista olosuhteista? |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Mieleen tulee heti kaksi sovellusta Marine ja Aasiassa olevat asennukset - Marine sovellutuksissa hitaasti esille tuleva korroosio - Aasiassa nopeasti esille tulevat huono ilmanlaatu aiheuttaa pintojen likaantumista ja korroosiota |
| <ul style="list-style-type: none"> - Vaikea olosuhde on joko pitkäkestoinen altistus tai hetkellinen tapahtuma. Pitkäkestoinen altistus rasittaa rakenteita heikentäen niitä korroosion ja kosteuden edetessä. Hetkellinen tapahtuma on vaikkapa myrsky, jossa rakenteiden vaurioituminen tapahtuu. Myös ulkoiset iskut ja laitteiden väärinkäyttö muuttavat helpon olosuhteen vaikeaksi. Mittaustapahtuman näkökulmasta yleensä molemmat ovat jollain tavalla mukana. |
| <ul style="list-style-type: none"> - "Vaikeat olosuhteet" tarkoittaa minulle ympäristöolosuhteita, joissa ollaan lähellä tai ylitetään raja, jolloin mittalaitteen mittauskyky alkaa oleellisesti huonota. Määrittäisin mielelläni vielä termin "erittäin vaikeat olosuhteet", joka tarkoittaisi olosuhdetta, jossa mittalaite vaurioituu heti (esim. äärimmäinen voimakas tuuli) tai vaurioituminen kiihtyy merkittävästi (esim. korrodoiva olosuhde) |
| |
| Mitkä ovat olleet vaikeimmat olosuhteet omilla tuotteilla? |
| <ul style="list-style-type: none"> - Nopea laitteiden likaantuminen - Hitaasti esille tuleva korroosio |

| |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Tuulituotteille vaikeita olosuhteita ovat kylmä, jäätäminen, ja pieni paine joko yhdessä tai erikseen. Olosuhteena meri-ilmastosta ja jäätävät yläkokoalueet tai korkeat mastot ovat haastavia. |
| <ul style="list-style-type: none"> - Kymmeniä tuhansia laitteita ympäri maailman kattavan asennuskannan tietojen perusteella sanoisin, että voimakkaasti korrodoiva olosuhde on hankalin olosuhde laitteiden nopeutuneen kulumisen vuoksi. Mittauskyky ei näissäkään olosuhteissa ole ongelmakohta – vaan nimenomaan koteloinnin, liittimien ja kiinnitysosien nopeutunut vaurioituminen. Nopean korroosion olosuhteita ovat pääsääntöisesti merelliset asennukset; sekä rannikko ja välitön suolaisen vesistön läheisyys että laiva-, öljynporausta- ja poijuasennukset. Erityisesti poijuasennus, jossa laite saattaa saada myrskyllä täyshuhtelun suolavedellä, on äärimmäisen haastava. - Lisäksi, voimakkaasti korrodoiva olosuhde vallitsee aika ajoin myös tiesuolan avulla kunnossapidettyjen autoteiden varsilla. Näissä olosuhteissa vaurioituneiden laitteiden määrä on kuitenkin vain pieni murto-osa verrattuna merellisissä olosuhteissa vaurioituneiden laitteiden määrään. |
| |
| <p>Millaisia ongelmia on esille tullut?</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Aasiassa oleva huono ilmanlaatu aiheuttaa nopeaa likaantumista ja tihennettyä puhdistusta jopa kerran viikossa ikkunat puhdistettava. Puhallin tukkeutuu jne. - Marine sovelluksissa pintakäsittelyn naarmuista liikkeelle lähtevä korrosio, lukkopesät hapettuvat, ruuvit jumittuvat, maadoitusrimat hapettuvat |
| <ul style="list-style-type: none"> - Korrosio: liittimet, silikonin, pintaruoste - Pintakäsittely: adheesio liimauksessa, vesipisaroiden tarrautuminen jäätyminen ytiminä - Iskun kestävyys: linnut, vandalismi |
| <ul style="list-style-type: none"> - Korrosio, laitteet kiinnitysosissa ja liittimissä. - Ihmisen aiheuttamat vauriot: Huomiota herättävä erikoisen näköinen laite asennettuna julkiseen paikkaan, jossa liikkuu ihmisiä, on tapana vaurioitua nopeammin kuin aidatulle alueelle asennettu laite. Vandalismi on joissain määrin ongelma, mutta enemmän asiakkaalle kuin laitetoimittajalle. Asiakkaat ovat raportoineet ilkeistä myös laitteille, jotka on asennettu aidatulle alueelle. Huomiota herättävä, erikoinen laite on saanut jonkun jopa kiipeämään tikkain korkean aidan yli ja asettelemaan laitteen näytteenottotilaan häiritseviä rakennelmia. - Tukkeutuminen lumesta: mikäli laitteissamme ei olisi erittäin voimakastehoisia lämmittimiä, olisi lumen aiheuttama tukkeutuminen ongelma. |
| |
| <p>Mikä on ollut sovellus?</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Aviation sovellukset Marine olosuhteisiin ja lisäksi Aasian ilmanlaatumittaukset |
| <ul style="list-style-type: none"> - Korrosio marine käytössä, korkeat havainnointi paikat linnuille, korkeat jäätävät |

| |
|--|
| mastot, vuoristo-olosuhteet pienessä paineessa |
| - Merelliset sovellukset |
| |
| Onko tuote alun perin suunniteltu näihin olosuhteisiin? |
| - Kyllä nykyisen tuotteen suunnittelussa on huomioitu Marine sovellukset |
| - Vain välttävästi |
| - Ei. Laitteet kestävät siitä huolimatta erittäinkin vaikeiden olosuhteiden asennuksia yli takuuaikinsa. |
| |
| Tarvitseeko laite säännöllistä huoltoa? |
| - Kyllä, kaikissa olosuhteissa |
| - Käytännössä kyllä, koska olosuhteet ovat niin rajuja. |
| - Kyllä. Olemme hiljattain alkaneet panostaa lisäohjeiden laatimiseen. Erityishuolto-ohjelmalla ja –asennustavoilla voidaan laitteiden elinikää kasvattaa. |
| |
| Mikä on olosuhteiden vaikutus huoltoon? |
| - Tiheämpää puhdistusväliä, jopa kerran viikossa, normaalisti 1-2 kertaa vuodessa |
| - Paikan saavutettavuus on usein hankala, mastoon kiipeäminen tai sen kaataminen on sääriippuvaan sekä toiminta huoltopaikalla on luvanvaraista. |
| - Käytännössä asiakas tihentää huoltoväliä, jos laitteen suorituskyky heikkenee nopean likaantumisen vuoksi. Sen sijaan nykyisellään huomiotta jää laitteen kulumisen hidastaminen, jolle olisi kyllä aihetta esim. voimakkaasti korrodoivissa olosuhteissa. |
| |
| Mikä on ollut odotettu tuotteen käyttöikä? |
| - Tuotteilta odotetaan 10 + käyttöikää kaikissa sovellutuksissa |
| - Asiakkaan oletus on, että laitetta voidaan käyttää 15 – 20 vuotta ja että rikkoutumisen tapahduttua laite voidaan korjata järkevällä kustannuksella ja järkevässä ajassa. |
| - Takuu aika on 1 tai 2 vuotta. Laitteiden toki odotetaan kestävän pahoissakin olosuhteissa ainakin kolme vuotta – mielellään viisi. |