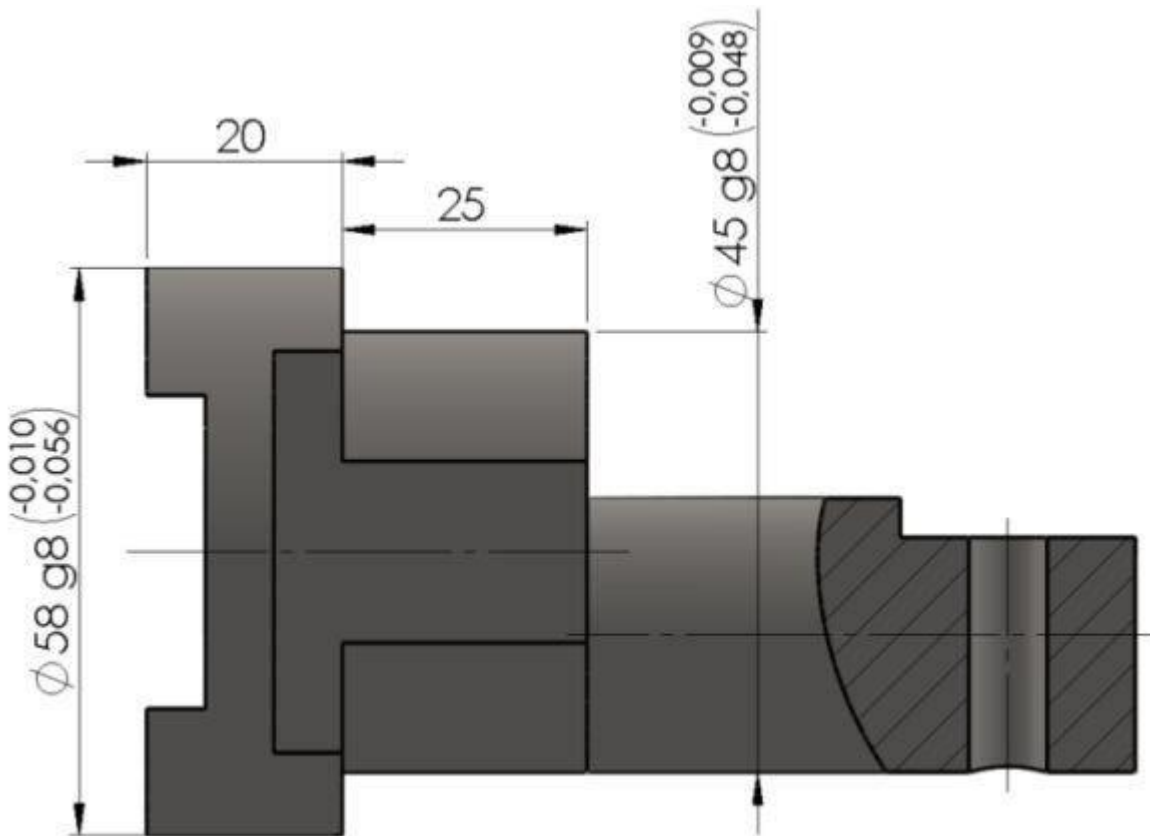


# Kustannustehokas tuotekehitys

Esa Hietikko



[www.esahietikko.com](http://www.esahietikko.com)



ESA HIETIKKO  
KOULUTUSMATERIAALIT

---

# Johdanto

Tuotekehitysvaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat merkittävästi tuotteen valmistukseen, siinä tarvittaviin materiaaleihin ja valmistusvaiheisiin. Tuotekehityksestä ja suunnittelusta vastaavilla henkilöillä on kuitenkin usein varsin vaatimattomat tiedot itse valmistuksesta.

Tämä johtaa helposti siihen, että valmistuksessa joudutaan käyttämään kalliita, hitaita ja epätehokkaita menetelmiä. Nykyisin on myös usein niin, että valmistus tapahtuu sekä maantieteellisesti, että kontaktien kautta hyvin kaukana tuotekehityksestä, jolloin palautekanava ei toimi. Tämän seurauksena korjaavia toimenpiteitä ei kyetä tekemään, vaan kalliit ja epäkäytännölliset ratkaisut jatkuvat tuotteen sukupolvesta toiseen.

## Käsitteitä

Kustannustehokasta tuotekehitystä kutsutaan usein nimellä Valmistettavuus. Sen yhteydessä käytetään usein myös lyhenteitä DFM (Design For Manufacturing) ja DFA (Design For Assembly) tai niiden yhdistelmää DFMA. DFM yhdistetään osavalmistukseen, jolloin sen yhteydessä pyritään kokoonpanossa olevan valmistettavan osan materiaalin ja muodon valintaan siten, että sen toteutus on mahdollisimman helppoa ja halpaa. Sama pätee myös standardikomponentteihin, joiden hankinnan tehostamisessa voidaan saada aikaan merkittäviä säästöjä. DFA tarkoittaa kokoonpanomyötäistä suunnittelua, jossa keskitytään siihen kuinka yksittäiset osat ja komponentit sekä osakokoonpanot saadaan liitettyä yhdeksi kokonaisuudeksi mahdollisimman tehokkaasti.

## Menetelmiä ja työkaluja

Valmistettavuuden kehittämiseen tarkoitettuja menetelmiä ja työkaluja on ollut tarjolla jo ainakin parin vuosikymmenen ajan. Ensimmäisiä näistä olivat ns. integroituun tuotekehitykseen (tunnetaan myös nimellä concurrent engineering eli rinnakkaissuunnittelu) perustuvat menetelmät. Niissä keskeisenä periaatteena oli se, että useat eri alat, mukaan lukien esimerkiksi valmistus ja markkinointi olivat mukana tuotekehitysprosessissa sen alusta alkaen. Organisaatiokulttuurit muuttuvat kuitenkin hitaasti ja perinteiset tavat toimia tuotekehitys- ja tuotanto-osastoineen ovat edelleen vahvasti käytössä.

---

Olemassa on myös työkaluja, joiden avulla tuotekehitysosaston tuottamista dokumenteista voi välittää palautteen. Tällöin esimerkiksi kokoonpanija voi tiedottaa paikalleen sopimattomasta osasta tuotekehitysosastolle, jotta se ainakin seuraavalla kerralla sattuisi paremmin kohdalleen. Tässäkin tapauksessa huonoa on se, että virhe on päässyt jo tuotantoon asti, jolloin sen korjaaminen on merkittävästi kalliimpaa verrattuna siihen, että se olisi huomattu jo suunnitteluvaiheessa. Eikä ole suinkaan taattua, että palaute menee perille käytössä olevista työkaluista huolimatta. Ja vaikka menisi perillekin, on silti epävarmaa, että se tulee huomioiduksi seuraavaa tuotetta kehitettäessä.

Nykyaikaisissa tietokoneavusteisissa suunnittelujärjestelmissä alkaa olla jo monenlaisia työkaluja, joilla suunnittelija voi selvittää tuotteen tai sen osakokonaisuuden valmistettavuutta ja kustannuksia. Esimerkiksi kokoonpanon simulointi onnistuu, jolloin voidaan havaita hankalat tai jopa mahdottomat kokoonpanotilanteet jo suunnitteluvaiheessa ja voidaan myös vertailla erilaisia kokoonpanostrategioita.

## Valmistuskustannukset

Valmistettavuuden parantamisen kannalta olisi tärkeää kyetä arvioimaan tuotteen kustannuksia jo mahdollisimman aikaisessa konseptisuunnitteluvaiheessa. Tällöin erilaisten vaihtoehtojen vertailu ja päätöksenteko on huomattavasti helpompaa kuin myöhemmässä vaiheessa. Erityisesti huomiota kannattaa kiinnittää kalliisiin osiin ja monimutkaisiin valmistusmenetelmiin. Erittäin tärkeää olisi myös se, että suunnittelijoilla olisi käsitys siitä, millaisia valmistusmenetelmiä on käytettävissä ja mahdollisuus arvioida niiden aiheuttamia kustannuksia edes karkeasti erilaisten vaihtoehtojen vertailemista varten.

Valmistavan teollisuuden kustannukset voidaan karkeasti kolmeen perusr ryhmään: materiaaleista, henkilöistä ja pääomasta muodostuvat kustannukset. Pääoma sisältää kaiken omaisuudeksi luettavan, kuten rakennukset, koneet jne. Pääomakustannukset muodostuvat poistoista sekä huollosta ja ylläpidosta. Pääomakustannukset jaetaan yleensä tuotteille tiettyjen kriteerien mukaan ja niihin voidaan vaikuttaa lähinnä tuotannon järjestelyillä.

Kustannuksia, jotka liittyvät useampaan tuotteeseen nimitetään yleiskustannuksiksi ja ne sisältävät yleensä esimerkiksi tuotekehityksen, hallinnon ja myynnin sekä markkinoinnin kustannuksia sekä välivarastot (WIP, Work In Process), raaka-aine- ja valmistuotevarastot ja sisäiset kuljetukset. Peukalosääntönä voidaan pitää, että

---

yleiskustannukset muodostavat noin 40 % kaikista kustannuksista. Suuri osa yleiskustannuksista on kiinteitä kustannuksia, jotka syntyvät joka tapauksessa valmistettiinpa tuotteita tai ei. Karkeasti arvioiden voidaan laskea varastoissa olevien tavaroiden aiheuttavan vuosittain kustannuksia noin 25 % varaston arvosta. Eli jos varastossa on tavaraa miljoonan euron arvosta, se aiheuttaa vuotuisina kustannuksina 250.000 euroa.

Suorat kustannukset voidaan kohdentaa tietyille tuotteen osille ja siten ne muodostavat potentiaalisimman kohteen valmistuskustannusten alentamisessa. Suuri osa yksittäisen osan kustannuksista muodostuu valmistamisessa käytettävästä materiaalista.

Materiaalikustannukset ovat yleensä merkittävästi riippuvaisia siitä kuinka paljon tuotteen valmistamisessa tarvittavat materiaalit painavat. Luonnollisesti tuotteessa voidaan käyttää myös sellaisia erikoismateriaaleja, joiden hinta on korkeampi tuotteen muihin materiaalivalintoihin verrattuna ja aiheuttavat näin suuremman kustannuspaineen. Hyvä arvaus materiaalikustannusten osuudesta massatuotannossa on noin 50 prosenttia. Pienemmällä valmistuserillä se voi jäädä jopa kymmeneen prosenttiin. Materiaalikustannukseen on laskettava mukaan myös lopulliseen kappaleeseen käytetyn materiaalin lisäksi ahiosta hukkaan tai kierrätykseen menevä materiaali.

Itse valmistettavien osien lisäksi suoriin kustannuksiin lasketaan mukaan myös yrityksen ulkopuolelta ostettavat komponentit (komponentit ja alihankinnasta saadut valmisteet). Suoriin kustannuksiin lasketaan edelleen mukaan työkustannus, joka voidaan suoraan kohdentaa valmistettaviin osiin samoin kuin kone ja työkalukustannukset.

Yleinen käsitys on, että tuotekehityksen kautta voidaan vaikuttaa vain suoriin kustannuksiin. Tämä ei kuitenkaan tarkkaan ottaen pidä paikkaansa. Kiinteisiin kustannuksiin voidaan vaikuttaa erityisesti standardoimalla ja rajoittamalla erilaisten vaihtoehtojen määrää.

## **Valmistettavien osien suunnittelu**

### **Koneistettavat osat**

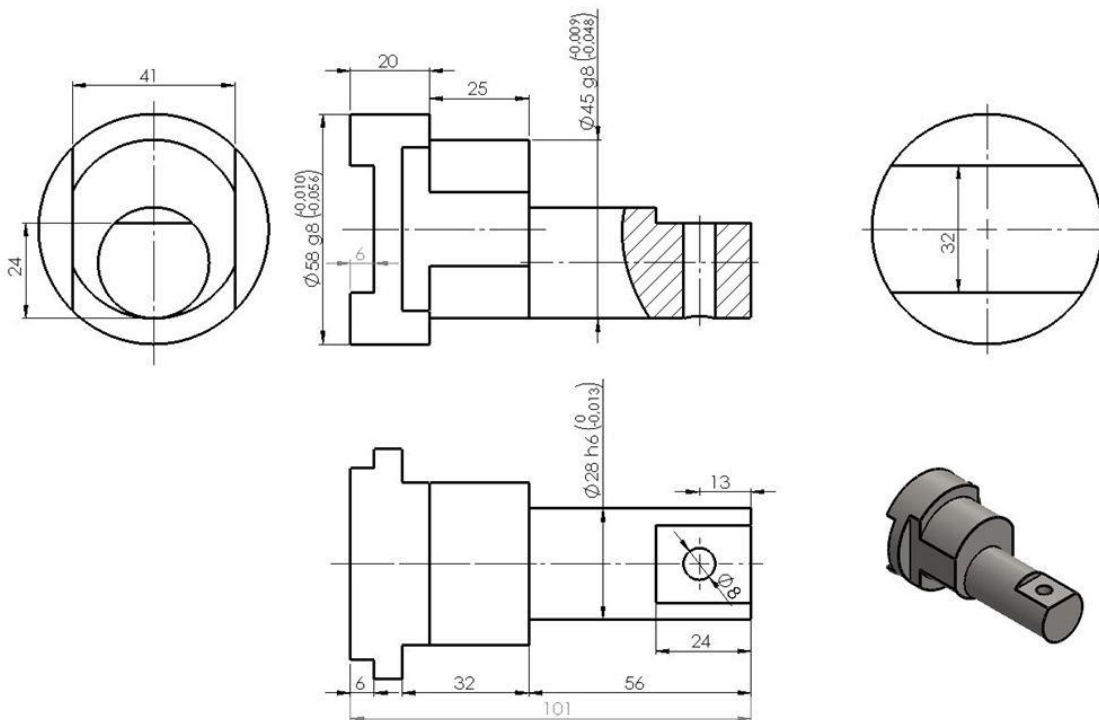
Koneistettavat piirteet ja muodot on pyrittävä standardoimaan, jotta niitä varten ei tarvita uusia työkaluja tai kiinnittimiä. Osa on suunniteltava valmistettavaksi yhdellä työstökoneella ja yhdellä kiinnityksellä. Sisänurkkiin kannattaa valita työkalun sädetettä vastaavat pyöritykset ja ulkonurkkien pyörityksiä on vältettävä (mieluummin viisteitä).

Tiukat toleranssit kasvattavat kustannuksia, joten on syytä käyttää mahdollisimman väljiä toleransseja ja karkeaa pintaa.

Koneistettava tilavuus on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä lisäämällä kappaleeseen mm. kevennyksiä. Monimutkaisia koneistuksia voidaan välttää mm. korvaamalla ne kokoonpanolla, mutta tässä kannattaa pitää mielessä samalla kasvavat kokoonpanokustannukset. Koneistettavan kappaleen kiinnitys on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja mielellään siten, että kappale voidaan koneistaa yhdellä kiinnityksellä.

Koneistettavan osan valmistuskustannukset riippuvat pääasiassa aihion koosta ja materiaalista, poistettavan materiaalin määrästä ja tarkkuusasteesta, johon pyritään. Mitä suuremmasta ahiosta on kyse, sitä enemmän materiaali luonnollisesti maksaa. Myös materiaalin koneistettavuus vaikuttaa kustannuksiin siten, että helpommin koneistettavan materiaalin työstäminen kestää vähemmän aikaa.

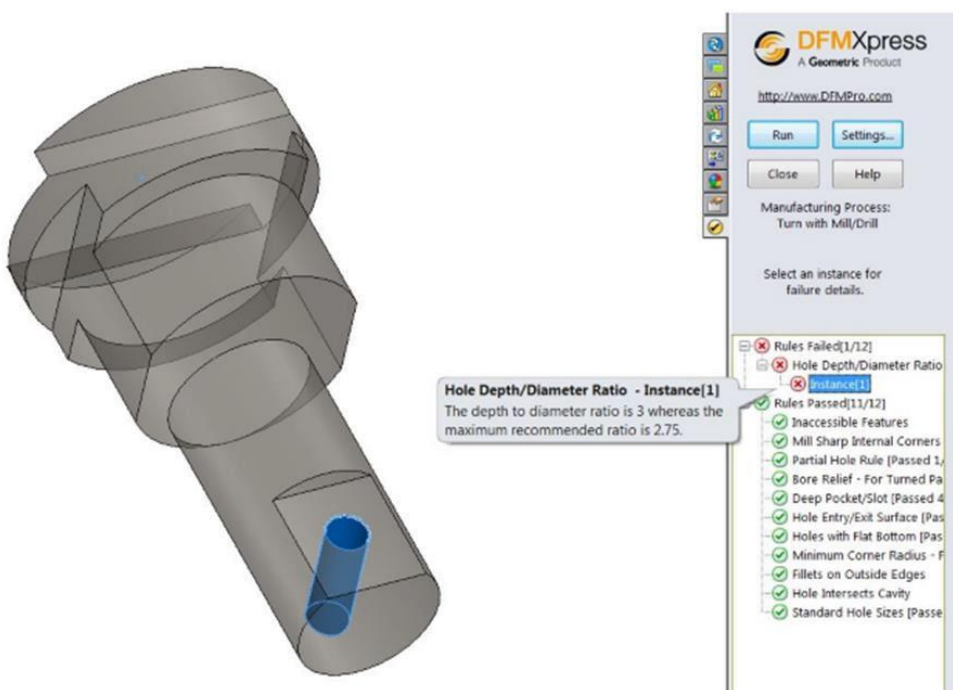
Kuvassa alla on kuvitteellinen esimerkki koneistamalla valmistettavasta kappaleesta.



Kappaleen valmistamisessa tarvittavan aihion massa on reilu 2 kg (materiaali AISI 1020) ja koneistetun kappaleen massa 0,86 kg. Ahiosta jää siis jäljelle noin 40 % koneistuksen jälkeen. Yksittäiskappaleen valmistuskustannukset ovat arviolta noin 100 euroa (laskettu SolidWorks-costing sovelluksella). Materiaalin aiheuttama kustannus on tässä tapauksessa vain noin 2 euroa eli 2 %. Tämä johtuu siitä, että kappale joudutaan koneistamaan usealla kiinnityksellä ja jopa usealla koneella, jolloin erityisesti koneiden asetuksista aiheutuvat työvoimakustannukset muodostavat valtaosan. Toisaalta

kappaletta kohden tulevat kustannukset pienentyvät rajusti eräkoon kasvaessa. Tämä johtuu pääosin työstökoneiden asetusajkojen pienentymisestä. Esimerkiksi 100 kappaleen erän koneistamisesta kustannuksia tulee arviolta yhtä osaa kohden vain noin 8 euroa (materiaalikustannus pysyy samana n. 2 €). Kappaleessa olevat toleranssipinnat lisäävät koneistuskustannuksia jonkin verran. Pelkillä yleistoleransseilla esimerkkikappaleen kustannus olisi yksittäiskappaleena noin 80 €. Kustannukset vaihtelevat toki voimakkaasti koneistettavan kappaleen mittojen, materiaalien ja muotojen mukaan. Tässä esitetyt euromääräiset arvot on tarkoitettu vain yleiskuvan muodostamiseen.

Osien valmistettavuutta voidaan analysoida erilaisilla ohjelmistoilla. Yksi tällainen on DFM PRO. Siinä analyysit perustuvat sääntötietokantaan, jota on mahdollista myös muokata yrityskohtaisesti. Analysointi tapahtuu valitsemalla ensin käsiteltävän kappaleen valmistusmenetelmä. Näitä on valittavissa yhteensä kuusi: jyrsintä, sorvaus, ohutlevy, ruiskupuristusvalu, kertamuottivalu ja kestopuottivalu. Kuvassa alla on esitetty em. koneistettavan kappaleen analyysi. Tällä kertaa valituksen aiheena ovat liian tiukat toleranssit. Ohjelman karsittu versio DFMXpress kuuluu osana SolidWorks-ohjelmistopakettiin.



## Särmämällä valmistettavat osat

Ennen kuin ohutlevyä ryhdytään särmäämään, tulee särmättävä osa leikata levyaihiosta. Leikkausmenetelmiä on useita, joista esimerkkinä voidaan mainita terminen leikkaus (poltto-, plasma- ja laserleikkaus) ja mekaaninen leikkaus (esim. lävistäminen ja

---

vesileikkaus). Leikkauksessa tärkeintä on huomioida osien sijoittelu leikkausalueelle siten, että materiaali tulee hyödynnettyä mahdollisimman tarkkaan. Tätä varten on olemassa myös ohjelmallisia ratkaisuja (nestaus). Materiaalihukkaa voidaan pienentää sijoittelun lisäksi myös muotoilemalla kappaleet oikealla tavalla. Aina on pidettävä mielessä kuitenkin se, että muotoilulla ei hankaloiteta kappaleen särmäystä. Yksi tärkeimpiä suunnittelijan valintoja särmäämällä valmistettavissa kappaleissa on taivutussäde. Useimmissa tapauksissa taivutussäteellä ei ole kappaleen toiminnan kannalta juuri merkitystä. Sen vuoksi pieniä taivutussäteitä on syytä välttää. Hyvä nyrkkisääntö on, että taivutussäteen tulisi olla mielellään vähintään kaksi kertaa levynpaksuuden suuruinen eikä koskaan pienempi kuin levynpaksuus. Toinen merkittävä asia on k-kerroin. Kuten helposti voidaan ymmärtää, taivutuksessa levyn ulkoreuna venyy ja sisäreuna puristuu kasaan. Jossain levyn sisällä on taso, jossa ei tapahdu kumpaakaan. Tätä nimitetään neutraalitasoksi. k-kerroin kertoo neutraalitasoin sijainnin. Sen avulla voidaan määrittää levitetyn kappaleen (leikattavan kappaleen) mitat, jotta särmäystä osasta tulee halutun kokoinen. k-kertoimen kanssa tulee olla huolellinen, koska sillä voidaan eri yhteyksissä tarkoittaa eri asiaa. Esimerkiksi ANSI-standardin mukaan neutraalitaso on levyn keskellä silloin kun k-arvo on 0,5. Seuraavia nyrkkisääntöjä voidaan hyödyntää asian karkeassa arvioinnissa: Kun taivutussäde ja levynpaksuus ovat pieniä ( $R = 0,2 - 2 \times s$  ja  $s = 0,5 - 1 \text{ mm}$ ), on neutraalitaso hyvin lähellä sisäpintaa, jolloin k-arvo on ANSI-standardin mukaan lähellä nollaa. Kun taivutussäde ( $R < 5 \times s \rightarrow k=0,3$ ) ja levynpaksuus kasvavat, siirtyy neutraalitaso lähemmäs levyn keskustaa. Kun taivutussäde on yli viisinkertainen levynpaksuuteen nähden, on neutraalitaso suunnilleen levyn keskellä. Levitetyn kappaleen mitat saadaan yleensä suoraan CAD-järjestelmästä mikäli k-kertoimen arvo on oikea.

## Valamalla valmistettavat osat

Valamalla valmistettavien kappaleiden osalta tähän ei ole tarpeellista kirjoittaa juuri mitään. Syynä on se, että kaikki tarvittava materiaali ja enemmänkin löytyy Valuatlaksesta. Ensimmäinen asia, jonka suunnittelija joutuu päättämään, on materiaali. Materiaalin valintaan vaikuttavat valettavan kappaleen toimintojen ja toimintaympäristön asettamat vaatimukset, materiaailta vaadittavat mekaaniset ominaisuudet ja valmistettavuus. Seuraavaksi on valittava valumenetelmä, joka määrää myös sen missä valimoissa ko. kappale voidaan toteuttaa. Menetelmän valintaan

---

vaikuttavat mm. kappaleen massa ja sarjakoko. Esimerkiksi pienille sarjoille suositellaan hiekka- tai kokillivalua.

Kertamuotilla valaminen vaatii valumallin valmistamisen. Se voi olla yksittäinen kappale tai muodostua useammista osista (esim. keernat). Muotti joudutaan jakamaan, jotta valumalli voidaan irrottaa muotin sisältä. Tätä varten valumallissa pitää olla päästöt. Kestomuotit ovat yleensä kaksiosaisia. Valuosaa suunniteltaessa on otettava huomioon, että se joudutaan useimmissa tapauksissa koneistamaan valun jälkeen. Koneistus voi olla huomattavasti kalliimpi työvaihe kuin itse valu. Jokaisessa valutuotteessa tulee olemaan myös jakotaso (jakopinta). Suora jakotaso olisi ihanteellinen, mutta tarvittaessa se voi olla myös muun muotoinen.

Tässä yhteydessä on myös hyvä lainata Alrik Österbergin Valukappaleiden rakennesuunnittelu -kirjasta vuodelta 1967 seuraavat virkkeet.

*"Sekä teknisesti että taloudellisesti voitetaan paljon, jos konstruktöörit heti alusta lähtien voivat ajatella valamisen kannalta niin, että valukappaleet saavat sopivan muodon. Konstruointia suoritetaan aivan liikaa vain piirustuslaudalla olematta yhteydessä valimoihin. Vasta, kun konstruktio on valmis, on valimomiehillä mahdollisuus esittää näkökantansa, ja tätä saattaa tapahtua liian myöhään."*

## 3D-tulostamalla valmistettavat osat

3D-tulostuksen odotetaan jopa syrjäyttävän tai ainakin täydentävän merkittäväällä tavalla perinteistä valmistustoimintaa lähivuosien aikana. Käytännössä asia ei ole aivan näin ruusuinen. Periaatteessa 3D-tulostuksella voidaan tehdä vapaamuotoisia kappaleita, jolloin materiaalinkäyttö ja kappaleen massa voidaan optimoida. Vapaita muotoja rajoittavat kuitenkin useat tekijät. Esimerkiksi metallia tulostettaessa on kiinnitettävä huomiota ns. roikkuviin pintoihin, koska 3D-tulostus tapahtuu tavallisesti lisäämällä ohuita kerroksia edellisten päälle. Metallitulostus tapahtuu levittämällä kerros metallijauhetta tulostuskammioon ja sen jälkeen sulattamalla siihen haluttu muoto. Metallijauhe itsessään on huono tukemaan sulaa materiaalia, jolloin roikkuviin kohtiin on suunniteltava tukimateriaalia.

Toisaalta kappaleen sisäosiin voidaan suunnitella onttoja rakenteita (kennoja, ristikoita jne.), joiden avulla kappaleen massa voidaan saada optimaaliseksi. 3D-tulostus on kuitenkin toistaiseksi hyvin kallis menetelmä. Pienikokoiset ja monimutkaisia muotoja sisältävät kappaleet voidaan usein toteuttaa perinteisten valmistusmenetelmien kanssa kilpailukykyisesti. Suurempien kappaleiden kustannukset voivat karata jopa kymmen- tai satakertaisiksi perinteisiin verrattuna.



---

Suunnittelua ajatellen peruseriaate on se, että kappaleita, jotka on suunniteltu toteutettavaksi perinteisin menetelmin, ei kannata sellaisenaan toteuttaa 3D-tulostuksella. Ne on aina suunniteltava uudelleen puhtaalta pöydältä. Yleisiä suunnitteluohjeita on listattu alle muutamia. Suunnittelusäännöt ovat hyvin usein menetelmäkohtaisia. Lisätietoja aihepiiristä löytyy täältä.

Kun kappaletta suunnitellaan 3D-tulostusta varten, lähtökohtana tulee pitää sen toiminnallisia vaatimuksia, joita ovat:

- Toiminnalliset pinnat (Functionalsurfaces, FS) : tyyppi, mitat ja sijainti
- Edellisiin kytketyt mitat ja geometriset spesifikaatiot
- Mekaaniset vaatimukset, jotka linkittyvät valittuun materiaaliin
- "Tyhjä tilavuus" : tilavuus, jonka kohdalla ei saa olla materiaalia esimerkiksi kokoonpanon tai tuotteen toiminnan näkökulmasta.

Pursottavilla tekniikoilla ja metallien tulostuksessa huomioitava, että ”tyhjän päälle ei voi tulostaa.” Kappale muotoiltava niin, että siinä on mahdollisimman vähän roikkuvia muotoja, overhangeja (alle 45 asteen kulmassa olevat pinnat voidaan yleensä toteuttaa ilman tukirakenteita). Tulostusasento on mietittävä siten, että overhangeja esiintyy mahdollisimman vähän. Tarvittaessa on käytettävä tukirakenteita, jotka voidaan suunnitella erikseen tai antaa tulostuslaitteen huolehtia niistä automaattisesti. Lyhyet overhangit tai pienet reiät eivät vaadi tukemista. Seinämien vahvuudet tarkastettava tulostusmenetelmän mukaan. Prosessiin tuodaan tulostamisen aikana paljon lämpöä, jolloin sen aiheuttamat jännitykset voivat aiheuttaa odottamattomia ilmiöitä. Kappaleen kutistumat ja muodonmuutokset tulostuksen aikana voivat tuottaa ongelmia. Kappaleita AM-tekniikoilla valmistettaessa niiden sisälle voidaan jättää keventäviä onteloita tai kuorikerrosten väliin voidaan tulostaa vaikkapa hunajakennorakenne. Jauhepetiteknikoissa onteloihin, joihin materiaali voi jäädä, on kuitenkin jätettävä tyhjennysaukkoja jauheen poistamiseksi.

## Yrityskohtainen standardointi

### Sisäinen ja ulkoinen valikoima

Tuoteperheajattelun keskeinen elementti on tarjota asiakkaille tuotteita, jotka tyydyttävät heidän tarpeensa mahdollisimman hyvin. Tällöin voidaan ajatella, että asiakkaille tarjotaan valikoima, josta he voivat rakentaa tarpeensa mukaisen lopputuotteen.

---

Tässä tilanteessa on tärkeää erottaa toisistaan sisäinen ja ulkoinen valikoima. Ulkoinen valikoima näkyy asiakkaalle ja hyödyttää häntä mahdollistaen tarpeeseensa mahdollisimman hyvin sopivan tuotteen rakentamisen. Sisäinen valikoima on asiakkaalle näkymätöntä materiaalien ja valmistusmenetelmien vaihtelua. Ulkoinen valikoima voidaan jakaa kahteen ryhmään. Hyödyllinen valikoima, jota asiakkaat arvostavat ja tukevat sen kysyntää ja hyödytön valikoima, joka ei tuo lisäarvoa asiakkaalle vaan on merkityksetön tai jopa hämmentävä heidän silmissään. Sisäinen valikoima on puolestaan aina turha, koska se ei tuo lisäarvoa asiakkaalle. Autovalmistaja Nissan selvitti aikoinaan käyttämiensä komponenttien vaihtelua. Havaintona oli, että se käytti autoissaan mm. 300 erilaista tuhkakuppia ja 1200 erilaista lattiamattoa. Nämä ovat esimerkkejä hyödyttömästä ulkoisesta valikoimasta. Asiakkaan näkökulmasta niillä ei ollut merkitystä. Edelleen selvityksessä havaittiin 6000 erilaista kiinnityselintä, jotka olivat asiakkaalle näkymätöntä ja siten hyödytöntä valikoimaa. Useilta yrityksiltä löytyy vastaavanlaisia ”kauhutarinoita” siitä kuinka paljon erilaisia komponentteja ja työkaluja on käytössä.

## Nimikemäärien rajoittaminen

Suurin syy nimikemäärän kasvuun lienee se, että suunnittelijat eivät ymmärrä standardoinnin merkitystä kokonaiskustannusten kannalta. Ajatusmalli voi olla esimerkiksi seuraavan kaltainen: ”Miksi käyttää aikaa ruuvien standardointiin? Nehän maksavat vain muutaman sentin.”

Toinen syy voi olla ”Ei kuulu meille” –ajattelu. Ajatellaan, että kustannuksista huolehtivat jotkut muut tahot ja keskitytään vain saamaan suunnitelma valmiiksi mahdollisimman nopeasti.

Suunnitteluvirheet voivat myös vaikuttaa asiaan. Esimerkiksi voi olla, että suunnittelija on epähuomiossa lisännyt kohteeseen hienokierteellä varustetun ruuvin, vaikka normaalikierre olisi riittänyt. Usein myös suunnitellaan uudelleen osa, joka olisi löytynyt jo valmiiksi suunniteltuna. Tai valitaan suurempi koko ”varmuuden vuoksi”.

Tavallisesti tuotteiden valmistettavuutta lähdetään tarkastelemaan valmiin tuotteen näkökulmasta. Asia voidaan nähdä myös toisin päin, eli lähdetään liikkeelle nolasta ja selvitetään pienin mahdollinen nimikemäärä, jolla tuote voidaan toteuttaa.

Suunnittelijoille voidaan myös antaa rajoitettu lista komponentteja ja materiaaleja, jota heidän käytettävä työssään. Samaa periaatetta voidaan hyödyntää myös valmistuspiirteissä. Käytetään sellaisia piirteitä ja toleransseja, joihin löytyy valmiit työkalut ja koneet.

---

Helpot hakutoiminnot ja nimeämiskäytännöt esimerkiksi PDM- ja ERP-järjestelmissä helpottavat valmiiksi suunniteltujen osien löytämistä uudelleenkäytön varmistamiseksi. Standardoimattomuus on kallista. Eräessä tutkimuksessa todettiin, että puolet kaikista yleiskuluista aiheutui liian suurista nimikemääristä.

Uuden nimikkeen luonti on myös erittäin kallista, koska:

- Oston täytyy pyytää tarjoukset
- käsitellä tarjoukset
- tilata tuotteet
- varaston hallinnan tulee tarkastaa tilaus,
- kirjata ja varastoida se
- kuljettaa tarvepaikalle
- ja monestihan komponentteja tilataan enemmän kuin on tarve ja loput jäävät sitten varastoon unholaan.

Kun tuotteessa havaitaan nimikkeen tarve, on erittäin tärkeää koettaa ensin selvittää, voiko tässä kohtaa hyödyntää standardikomponenttia. Jos sellainen ei ole mahdollista, on käytettävä valmistettavaa nimikettä.

Ennen kuin uutta nimikettä vastaavaa komponenttia ryhdytään suunnittelemaan, on tärkeää selvittää, onko jo olemassa aiemmin suunniteltu vastaavaan tarkoitukseen tarkoitettu komponentti, joka käy ko. tarkoitukseen esimerkiksi versio- tai revisiomuutoksella.

Jos tällaista ei löydy, voidaan ryhtyä suunnittelemaan kokonaan uutta komponenttia ja perustaa sitä vastaava nimike.

Uuden nimikkeen perustamiseksi yrityksessä tulee olla menettelytapa. Monessa yrityksessä on esimerkiksi henkilö, joka toimii ns. part-masterina. Kaikki uusien nimikkeiden perustamispyynnöt kulkevat hänen kauttaan, ja hän voi hyväksyä tai tarvittaessa hylätä aiheettomat pyynnöt.

Uusi nimike voidaan myös lisätä nimikkeiden standardilistaan.

Useita olemassa olevia nimikkeitä voidaan yhdistää yhdeksi uudeksi nimikkeeksi, jos useita samankaltaisia osia tai komponentteja esiintyy vain pienin eroin esimerkiksi pintakäsittelyssä, toleransseissa tms.

Tanko- ja putkitavarassa on syytä standardoida ulkohalkaisijat, seinämävahvuudet ja materiaalivaihtoehdot. Katkaisupituudet voidaan myös standardoida.

---

Levymaisissä raaka-aineissa standardoidaan luonnollisesti levyn paksuus ja materiaalivaihtoehdot. Materiaalin käyttöä tulee optimoida nestaamalla leikattavat osat.

Valukappaleissa kustannuksia aiheuttaa ennen kaikkea muotti, jolloin suurempi sarjakoko pienentää yksikkökustannuksia, mutta toisaalta voi kasvattaa varastointikustannuksia.

Skaalaedut näkyvät siinä, että raaka-aineita voidaan tilata suuremmissa erissä, jolloin myös yksikkökustannukset pienenevät.

## Kokoonpantavuus

Konseptisuunnitteluvaiheessa on hyvä käyttää mittaria, jolla eri luonnosten kokoonpantavuutta voidaan arvioida.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että kaksi tärkeintä mittaria kokoonpanon kustannusten kannalta ovat:

- Kokoonpanossa olevien osien lukumäärä
- Osien käsittelyn ja asennuksen helppous

Kokoonpanosta poistetulla osalla on suuri vaikutus kiinteisiin kustannuksiin, koska sitä ei mm. tarvitse:

- Suunnitella
- Valmistaa ja testata
- Varastoida
- Ostaa ja kuljettaa
- Kierrättää ja hävittää

Toisaalta osien vähentäminen kokoonpanossa johtaa todennäköisesti niiden monimutkaistumiseen, eli kannattaa olla tarkkana.

Kokoonpanon osien määrän teoreettinen minimi on tärkeä käsite, jonka avulla kokoonpanon tehokkuutta voidaan arvioida. Se kertoo teoreettisen osien minimimäärän, joiden avulla kokoonpano voidaan saada aikaan. Käytännössä teoreettinen minimi on usein nimensä mukaisesti vain teoreettinen, koska käytännön syistä osia usein tarvitsee olla enemmän.

Kokoonpanon osien teoreettinen minimi saadaan selville kysymällä jokaisen osan kohdalla kolme kysymystä:

- 
- Pitääkö osan päästä liikkumaan suhteessa kokoonpanon muihin osiin?
  - Pitääkö osan olla jostain syystä eri materiaalia kuin muiden kokoonpanon osien?
  - Pitääkö osa olla irrotettavissa huollon tai muun syyn takia?

Jos osa saa vastauksen kyllä johonkin kolmesta kysymyksestä, se lasketaan mukaan teoreettiseen minimimäärään.

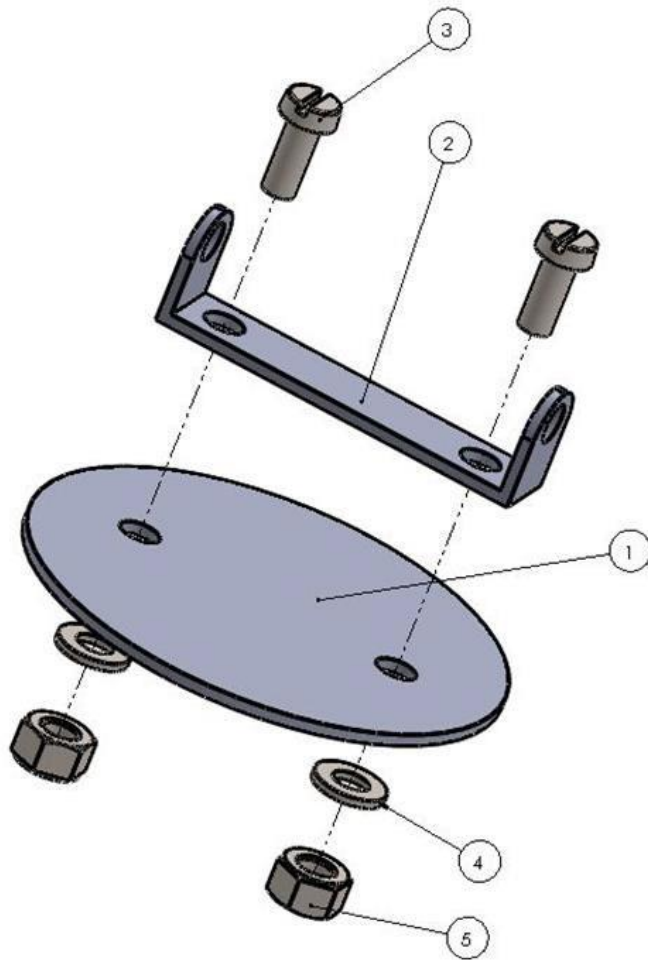
Kokoonpanon tehokkuutta voidaan arvioida kaavalla:

$$\text{Kokoonpanotehokkuus} = 100 \% * [(\text{osien lkm}) - (\text{teoreettinen minimi})] / (\text{osien lkm})$$

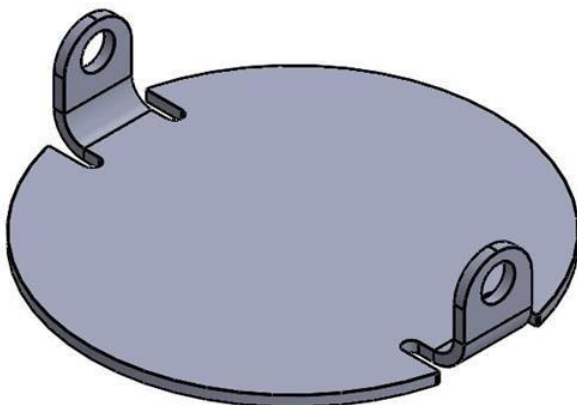
Arviointi seuraavasti:

- Alle 10 % Kiitettävä
- 10 % -20 % Erittäin hyvä
- 21 % -40 % Hyvä
- 41 % -60 % Tyydyttävä
- Yli 60 % Heikko

Kuvassa alla on esitetty esimerkkikokoonpano. Siinä on yhteensä 8 osaa. Jos jokaisen osan kohdalla tehdään em. kolme kysymystä, havaitaan, että vain yksi osa (numero 1, runko-osa) on sellainen, joka saa kyllä vastauksen. Tällä perusteella kokoonpanotehokkuudeksi tulee  $100\% * (8 - 1) / 8 = 87,5\%$ , joka on erittäin heikko.



Alla olevassa kuvassa rakenne on suunniteltu uudelleen siten, että kokoonpano on korvattu yhdellä osalla. Tällöin kokoonpanotehokkuutta ei ole mielekäästä edes laskea, koska varsinaista kokoonpanoa ei enää ole. Useassa tapauksessa, kun kokoonpanosta vähennetään osia, seuraa tästä se, että osat monimutkaistuvat. Niin tässäkin tapauksessa käy, mutta kokonaistulos on kuitenkin alkuperäistä huomattavasti kustannustehokkaampi.



---

## Hitsauskokoontaminen

Hitsaamalla valmistettavan kokoonpanon suunnittelussa on otettava huomioon mm. seuraavia näkökohtia:

- oikean materiaalin ja hitsausmenetelmän valinta
- oikean hitsauslisäaineen valinta
- hitsauksesta aiheutuvat lämpöjännitykset
- kiinnittimien suunnittelu
- toleranssit hitsatuille rakenteille
- jännityksen poistohehkus
- railon muoto
- hitsausjärjestys, käyritysvaara sekä osien taivutusmahdollisuus sekä työstettävät pinnat ja työvarat.
- soveltuvan ja joissakin tapauksissa viranomaisten vaatiman NDT-menetelmän
- määrittely hitsien tarkastukseen
- hitsien viimeistely
- hitsit tulisi sijoittaa rakenteen vähiten rasitettuihin kohtiin
- hitsit tulisi asettaa sellaisiin paikkoihin, joissa hitsaus on mahdollisimman helppo suorittaa.
- hitsien lukumäärä, paksuus ja pituus olisi saatava mahdollisimman pieniksi, samoin liitettävien osien lukumäärä.
- hitsattavien osien asemointi tulisi olla yksiselitteistä ja helppoa (paikoitusaukot ja -nastat)

Käsin tehtävässä hitsauksessa, esim. puikkohitsaus ja tavanomainen MIG/MAG-hitsaus, työkustannukset ovat ylivoimaisesti suurin kustannuserä.

Kaksi kustannuksiin eniten vaikuttaa tekijää ovat hitsiaineentuotto (= tuotettu hitsiainemäärä/aikayksikkö, kg/h) ja paloaikasuhte ( = kaariaika/kokonaistyöaika, %). Hitsiaineentuottoa käytetään usein mittarina, kun arvioidaan eri hitsausprosessien tuottavuutta. Hitsiaineentuotto ilmoitetaan yleensä kaariaikatuntia kohti, jolloin paloaikasuhte on 100 %. Jos hitsiaineentuotto on 5 kg/h ja paloaikasuhte on 40 %, niin todellinen ("tehollinen") tuotto työtuntia kohti on 2,0 kg/h.

Paloaikasuhte on paljon käytetty termi hitsaustaloudessa. Se saadaan jakamalla kaariaika työajalla. Tulos ilmoitetaan prosentteina. Paloaikasuhte on kuitenkin hieman problemaattinen käsite. Korkea paloaikasuhte yhdistetään usein korkeaan tuottavuuteen. Asia saattaa olla näin, mutta jos esimerkiksi saadaan lyhennettyä kaariaikaa nopeammalla hitsauksella samalla, kun muut ajat pysyvät kuitenkin samoina

---

tai lyhenevät vain vähän, niin paloaikasuhte pienenee, vaikka kokonaisaika lyhenee eli hitsauksen tuottavuus nousee.

Paloaikasuhte vaihtelee hyvin laajalla alueella, 10-80 %, riippuen mm. hitsattavasta tuotteesta, hitsausprosessista, tuotanto-olosuhteista ja mekanisointiasteesta. Ehkä tyypillinen alue paloikasuhdeelle ”käsinhitsaukselle”, esim. puikkohitsaus ja MIG/MAG-hitsaus, on 20-40 %.