

Digitaaliset ratkaisut suurten hitsattujen rakenteiden optimoinnissa

Mika Korhonen

Tuotteiden suunnitteluvaiheessa lukitaan pääsääntöisesti 70-90% valmistuskustannuksista, joten varsinaisen valmistusvaiheen aikana käytettävien valmistus- ja menetelmäratkaisuiden kustannuksia alentava vaikutus voi olla parhaimmillaankin vain 10-30% ja mahdollisuudet vaikuttaa kustannuksiin ovat siten hyvin rajalliset. Suunnitteluvaiheen ratkaisut vaikuttavat yhtä lailla tuotteen valmistuskustannuksiin, laatuun sekä toimitusaikaan.

Suunnittelumallin muuttaminen perinteisestä ns. lineaarisesta mallista rinnakkaistyökentelyyn, jossa suunnittelu toteutetaan eri tasoilla samanaikaisesti huomioiden koko suunnitteluvaiheen ajan tuotteen valmistettavuustekijät sekä vaihe- ja kokonaiskustannukset, tarjoaa mahdollisuuden erilaisten digitaalisten työkalujen tehokkaaseen käyttöön koko tuotteen suunnittelu- ja valmistusvaiheen ajan.

Suisto Engineering Oy tarjoaa asiantuntijapalveluina asiakasyritysten tuotekehitys- ja suunnitteluorganisaatioille tuotteiden valmistettavuus- ja menetelmätarkasteluita sekä tarkempia rakennepäilysejä, jotka voivat sisältää tuotteen rakenteen optimoinnin kustannusrakenteen, valmistettavuuden sekä elinkaaren osalta. Nykyaikaisten suunnittelutyökalujen avulla tuote rakennetaan digitaalisesti uudelleen ja haetaan mahdollisuuksia tuotteen valmistuskustannusten sekä elinkaaren optimointiin vaihtoehtoisten ratkaisuiden avulla.

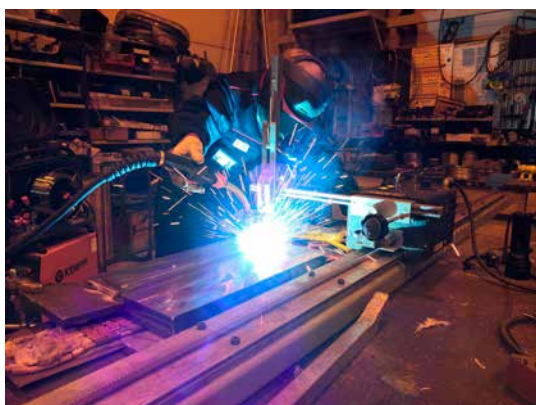
Palveluiden tavoitteena on varmistaa yhteistyökumppaneille mahdollisuudet kustan-

nustehokkaiden materiaali- ja hitsausratkaisuiden, valmistusmenetelmien ja tuotteen lopulliseen käyttöympäristöön parhaiten soveltuvien materiaali- ja hitsausratkaisuiden valintaan. Digitaalisia työkaluja hyödyntämällä tuotteen valmistuksen aikaiset vaatimukset voidaan huomioida paremmin ja tuotteelle voidaan suorittaa rakenteellinen optimointi hitsauksen aikaisia muodonmuutoksia simuloimalla tai kehittää dynaamisen kuormituksen kohteena olevien tuotteiden elinikää arvioimalla tuotteeseen hitsauksesta jääviä jäännösjännityksiä. Työkalujen avulla voidaan tuotteen valmistettavuutta ja valmistuksen aikaista laadunhallintaa kontrolloida paremmin ja tuotteen rakennetta, materiaali- ja hitsausratkaisuja sekä tuotteen rakenteessa olevien hitsien sijaintia, tyyppiä tai olemassaoloa voidaan arvioida tarkemmin.

Kuvassa 1 on esitetty asiakkaan tuotteen lisäainevalintaan liittyvä hitsauskoe, kuvassa 2 asiakkaan alihankkijan teoriakoulutustilanne hitsausjärjestyksen optimoinnista alihankkijan tiloissa (Kiina) ja kuvassa 3 asiakkaan alihankkijan koulutusta optimoituun hitsausjärjestykseen alihankkijan tiloissa (Kiina).



Kuva 3. Asiakkaan alihankkijan koulutusta käytännön tasolla "kädessä pitäen" alihankkijan tiloissa (Kiina).



Kuva 1. Asiakkaan tuotteen lisäaineen valintaan liittyvät kokeet.

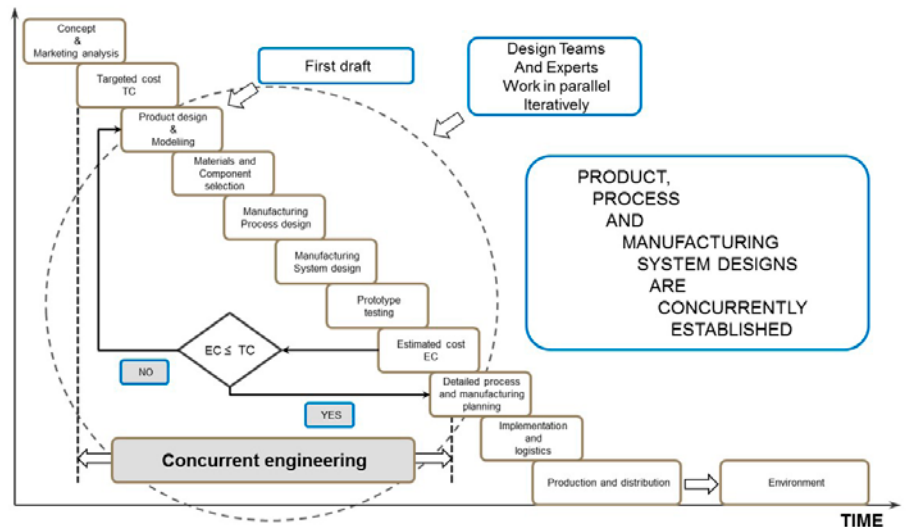


Kuva 2. Asiakkaan alihankkijan koulutusta teoriatasolla alihankkijan tiloissa (Kiina).

Rinnakkaissuunnittelu

Kilpailutilanteen jatkuvasti tiukkeneminen, tuotteiden elinkaarten lyhentäminen ja tuotteiden toiminnallisuuden lisääntyminen on johtanut siihen, että yrityksissä on aloitettu siirtyminen peräkkäisissä vaiheissa etenevästä ns. perinteisestä suunnittelumallista rinnakkaisiin kehittämismalleihin, joissa tuotteiden valmistettavuus ja elinkaarikustannukset voidaan huomioida suunnittelun alkuvaiheesta lähtien. Nykyaikaisten digitaalisten työkalujen ja ratkaisujen käyttö mahdollistaa rinnakkaisen suunnittelumallin kaikkien vaiheiden jatkuvan tehokkaan läpiviennin sekä valvonnan.

Perinteisessä suunnittelumallissa edetään pääsääntöisesti toisiaan seuraavien vaiheiden kautta siten, että uusi vaihe aloitetaan vasta edellisen vaiheen tavoitteiden saavuttamisen jälkeen. Malli aiheuttaa sen, että seuraava vaihe joudutaan aloittamaan edellisessä vaiheessa lukitusta ratkaisusta. Esimerkiksi suunniteltu ja lukittu hitsattu kokoonpano voi jättää koneistuksen työvarat liian pieniksi ja riski koneistusvaiheessa tulleisiin ongelmiin kasvaa. Peräkkäisiin vaiheisiin perustuvan suunnittelumallin käyttäminen ei juuri anna mahdollisuuksia arvioida valittujen suunnitteluratkaisujen vaikutuksia tuotteiden elinkaarikustannuksiin suunnitteluketjun alkuvaiheessa. Suunnitteluratkaisujen lukitseminen alkuvaiheissa voi pakottaa myöhemmissä vaiheissa ratkaisuihin, jotka voivat alentaa tuotteen toiminnallisia ominaisuuksia, heikentää laatua ja nostaa tuotteen valmistuskustannuksia merkittävästi. Myös alkuperäinen asiakastarve voi unohtua tai muuttua suunnitteluprosessin vaikutuksesta tuotteen suunnittelun aikana, jos suunnitteluryhmät eivät ole vuorovaikutuksessa asiakkaan tai oman myyntiorganisaationsa kanssa.



Kuva 5. Rinnakkaissuunnittelun mahdollistama tuotteen ja valmistusprosessien suunnittelun tiivistäminen. Suunnitteluvaiheen aikana tehtävä jatkuva toiminnoittain muodostuvien kustannusten seuranta mahdollistaa nopean tavan tavoitekustannuksiin pääsemiseksi ja vaikutus elinkaarikustannuksiin on merkittävä. (Moges, 2007)

Rinnakkaissuunnittelu on menetelmä, jossa tuotekehityksen ja -suunnittelun kanssa samanaikaisesti ja jatkuvasti huomioidaan asiakastarpeet sekä valmistusprosessit. Jos tuotteen valmistuksessa aiotaan käyttää jo olemassa olevia menetelmiä, tuote suunnitellaan näiden menetelmien asettamien reunaehtojen mukaisesti ja optimoidaan näillä menetelmillä valmistettavaksi. Jos tarkoituksena on käyttää uusia valmistusmenetelmiä, on näiden kehittäminen ja käyttöönotto tehtävä tuotekehityksen ja -suunnittelun kanssa samanaikaisesti. Perinteisen peräkkäisiin vaiheisiin perustuvan suunnittelun ja rinnakkaissuunnittelun erot esimerkiksi tuotteiden markkinoille saantiajassa voivat olla merkittäviä, kuva 4.

Rinnakkaissuunnittelu vaatii erityisen laajan valmistusmenetelmien tuntemuksen, jotta sen hyödyt saadaan käyttöön mahdollisimman laajalti ja tämän vuoksi onkin pyrittävä hyödyntämään suunnittelussa usean alan osaamista sekä kehittämään suunnitteluryhmien osaamista monialaiseksi. Valmistettavuuden huomioiminen mahdollisimman aikaisessa tuotekehitys- tai suunnitteluvaiheessa lyhentää tuotteen suunnitteluun tarvittavaa aikaa, alentaa suunnittelukustannuksia, lyhentää markkinoille saantiin tarvittavaa aikaa sekä vaikuttaa elinkaarikustannuksia alentamalla.

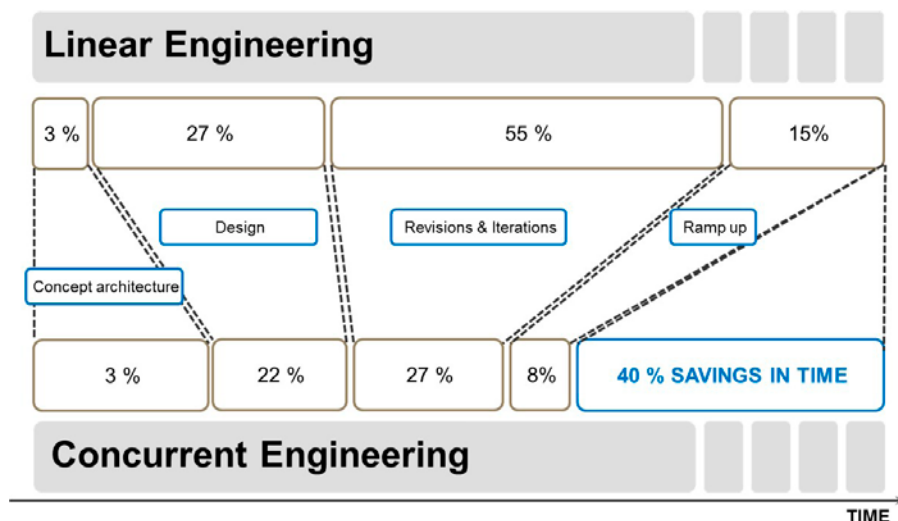
Kun tuotteen suunnitteluvaihe on valmis, kokonaiskustannusrakenteesta 80 % on muodostunut ja tuotteen tullessa tuotantovaiheeseen kokonaiskustannuksista jopa 90-95 % on lukittu. Tämän vaiheen jälkeen voidaan vaikuttaa merkityksettömän vähän (5-10 %) tuotteen kustannuksiin esimerkiksi valmistusmenetelmiä tai -prosesseja kehittämällä.

Rinnakkaissuunnittelu kytkeytyy saumattomasti tavoitekustannusajatteluun ja mahdollistaa tarkan hinnoittelun toimintopohjaisen kustannusrakenteen pohjalta, kuva 5.

Menetelmä mahdollistaa mm.

- tuotteen suunnittelu- ja valmistuskustannusten alentamisen
- paremman hintakilpailukykyyn
- asiakastarpeiden tarkemman huomioinnin
- toiminnallisten ominaisuuksien tarkemman optimoinnin
- valmistusmenetelmien optimoinnin
- kehittyneen laadunhallinnan ja laatuominaisuuksien parantumisen
- nopeamman pääsyn markkinoille

Rinnakkaissuunnittelun hyödyntäminen yhdessä digitaalisten työkalujen kanssa tar-



Kuva 4. Rinnakkaissuunnittelun mahdollistama aikasäästö markkinoille tuonnissa verrattuna peräkkäisiin vaiheisiin perustuvaan suunnitteluun.

joaa selkeän mahdollisuuden aiempaa tiiviimpään yhteistyöhön asiakkaan kanssa. Tuotteen suunnittelu samanaikaisesti tuotannon suunnittelun ja jopa tuotannon rinnalla pakottaa jatkuvaan asiakastarpeen sekä tuotanto- ja elinkaarikustannusten huomiointiin. Valmistettavuuteen ja valmistusmenetelmiin erikoistuneiden suunnittelijoiden tai asiantuntijoiden kiinteä yhteistyö asiakkaiden suunnittelijoiden kanssa tuotteen suunnittelun alkuvaiheista saakka mahdollistaa erittäin tehokkaan toimintatavan asetettujen toiminnallisten tavoitteiden, tuotantokustannus- sekä elinkaarikustannustavoitteiden saavuttamiseksi.

Suunnitteluvaatimukset

Vaativien hitsattujen rakenteiden valmistus ja lopputuotteille asetettavat toiminnalliset sekä laadulliset vaatimukset tuovat mukanaan huomattavia paineita myös tuotteiden suunnittelijoille - kuinka kaikki asetetut vaatimukset voidaan suunnittelullisesti saavuttaa siten, että tuotteen tavoitekustannustaso sekä valmistettavuus voidaan varmistaa. Suisto tarjoaa asiakkailleen tuotekehitys- ja suunnittelutoimintojen tueksi valmistettavuusanalyyssejä, jolloin suunnittelijat voivat keskittyä tuotteiden toiminnallisuuden optimointiin.

Vaativan ja vähemmänkin vaativan hitsatun rakenteen suunnitteluperusteina tulee olla mm.

1. Rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset ja kuormituksista aiheutuvat jännityskeskittymät sekä niiden sijainti
 2. Hitsauksen aikana muodostuvien muodonmuutosten huomioiminen
 3. Hitsauksen aikana muodostuvien jäännösjännitysten minimoiminen sekä
 4. Hitsien luokse päästävyys siten, että suunnitellut hitsit ovat hitsattavissa
 5. Hitsauksen laadun varmistaminen.
- Tuotteen valmistuksen ja valmistuksessa käytettävien menetelmien tunteminen tarjoaa mahdollisuuden suunnitteluvaiheessa suurempien rakenteiden osakokoonpanojen optimointiin siten, että niiden käsittely ja hitsaus valmistuksen aikana voidaan suorittaa mahdollisimman tehokkaasti. Optimoidut osakokoonpanot mahdollistavat myös suurempien rakenteiden valmistuksen suorittamisen useassa pisteessä samanaikaisesti, jolloin kokonaisläpimenoaika voidaan lyhentää. Vaativien hitsattujen tuotteiden valmistaminen erillisinä osakokoonpanoina asettaa toisaalta lisävaatimuksia suunnitteluvaiheessa hitsatun rakenteen valmistusmenetelmien ja vaatimusten tuntemiselle. Osakokoonpanoissa erityisesti muodonmuutosten ja niiden ennakoiminen oikeisiin paikkoihin sijoituilla työvaroilla nousee merkittävässä rooliin. Vaativassa tuotteessa suunnittelun yhtenä lähtökohtana voidaan pitää myös sitä, että kustannus- ja laatumielessä paras hitsi on sellainen, jota ei rakenteessa ole.

Digitaaliset työkalut suurten hitsattujen rakenteiden optimoinnissa

Valmistavan teollisuuden yhteydessä termi ”digitaaliset työkalut” tai ”digitaaliset ratkaisut” yhdistetään helposti pelkästään suunnitteluvaiheen yhteyteen ja helposti unohdetaan näiden työkalujen hyödyt ja hyödyntämismahdollisuudet valmistuksen aikana tai tuotteen koko elinkaaren aikana.

Suunnitteluvaiheessa voidaan toteuttaa tuotteen ”digitaalinen valmistus” suunnittelu- ja laskentatyökalujen avulla. Digitaalisen valmistuksen aikana virheet ja ”sudet” tehdään suunnittelupöydällä minimikustannuksin eikä aikatauluviivettäköön juuri tule, kun hyödynnetään rinnakkaissuunnittelumallia optimaalisesti.

Suunnitteluvaiheen digitaalisen valmistuksen avulla voidaan mm.

1. Suunnitella tuotteen tekninen rakenne, osat ja osakokoonpanot
2. Simuloida suunnittelun rakenteen rakenteellinen lujuus tunnettujen rakenteeseen kohdistuvien kuormien sekä mahdollisten standardien, lakien, asetusten tms. lisävaatimusten mukaisesti
3. Suunnitella tarvittavat hitsit, sijoitella ne ja varmistaa luokse päästävyys hitsauksessa ja NDT-tarkastuksessa
4. Simuloida hitsien aiheuttamat muodonmuutokset ja jäännösjännitykset sekä optimoida hitsausjärjestys
5. Simuloida suunnittelun rakenteen rakenteellinen lujuus huomioiden laskennalliset hitsauksen aiheuttamat jäännösjännitykset (esim. dynaamisen kuormituksen alaisessa rakenteessa)
6. Suunnitella tarvittavat työvarat esim. osakokoonpanojen hitsaukseen ja koneistukseen sekä loppukoneistukseen muodonmuutossimuloinnin perusteella
7. Simuloida rakenteen laskennallinen kestoikä (dynaamisen kuormituksen alaisessa rakenteessa)
8. Arvioida rakenteen tilantarve, kokoonpanojärjestys tai huomioida muut vaatimukset ympäröivään rakennekokonaisuuteen

Tuotteen valmistusvaiheiden aikana voidaan suunnitteluvaihetta vastaavalla tavalla hyödyntää suunnitteluvaiheen ajan digitaalisen valmistuksen tuloksia ja malleja sekä muita digitaalisia työkaluja, kuten esim. valmistuksen alla olevan tuotteen 3D-mittaustulosten yhdistäminen suunnittelumalliin.

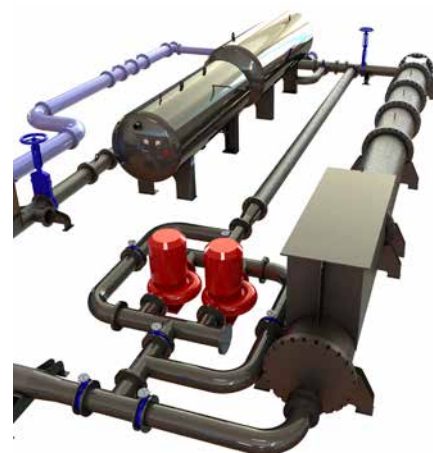
Tuotteen valmistusvaiheen aikana digitaalisina työkalujen avulla voidaan mm.

1. Suunnitella ja laskea valmistuksen aputyökalut – suunnittelun tuloksina käytettävissä osien, osa- ja kokoonpanojen massat ja painopisteet
2. Suunnitella ja laskea nostovaiheet ja

tarvittavat nostovälineet tai -työkalut – suunnittelun tuloksina käytettävissä osien, osa- ja kokoonpanojen massat ja painopisteet

3. Suorittaa jatkuvaa seurantamittausta, joko hitsausseksenssin optimoimiseksi tai tuotteen mittojen ja/tai muotojen varmistamiseksi
4. Käyttää suunnittelumallia suoraan robottiohjelmointiin tai koneistuksen ohjelmointiin
5. Käyttää suunnittelumallia ja seurantamittaustuloksia mittapöytäkirjojen, vaiheraporttien tai kehitystoimenpiteiden tekemiseen.

Kuvassa 6 on esitetty putkistokokonaisuuden digitaalinen malli ja kuvassa 7 valmis putkistokokonaisuus asennusvaiheessa asiakkaan tiloissa. Digitaalisen mallin avulla sovitettiin kokonaisuus käytettävissä olevaan rajalliseen tilaan ja varmistettiin suunnitte-



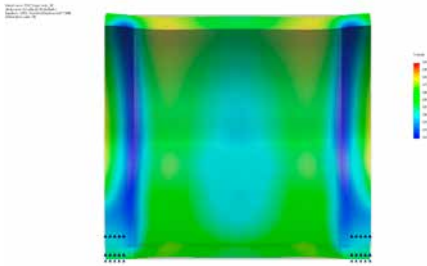
Kuva 6. Putkistokokonaisuuden digitaalinen malli, jolla sovitettiin kokonaisuus käytettävissä olevaan rajalliseen tilaan ja varmistettiin suunnittelu- ja valmistusvaiheessa osien ja osakokoonpanojen yhteensopivuus.



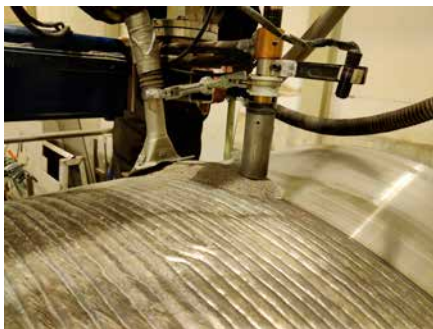
Kuva 7. Valmis putkistokokonaisuus asennusvaiheessa asiakkaan tiloissa.

lu- sekä valmistusvaiheessa osien ja osakoonpanojen yhteensopivuus. Digitaalisen valmistuksen avulla voitiin huomioida myös hitsauksen aiheuttamien kutistumien vaikutus työvaroihin ja varmistaa putkikokonaisuuden yhteensopivuus aiemmin valmistettuun rakenteeseen.

Kuvassa 8 on esitetty telavaipan pinnoituksen suunnitteluvaiheessa tehty simulointi pinnoitushitsauksen aiheuttamista muodonmuutoksista, kuvassa 9 telavaipan pinnoitushitsausta jauhekaarihitsauksen twin-menetelmällä ja kuvassa 10 3D-mittaustulokset yhdistettynä eri tuotantovaiheista suunnittelumalliin.



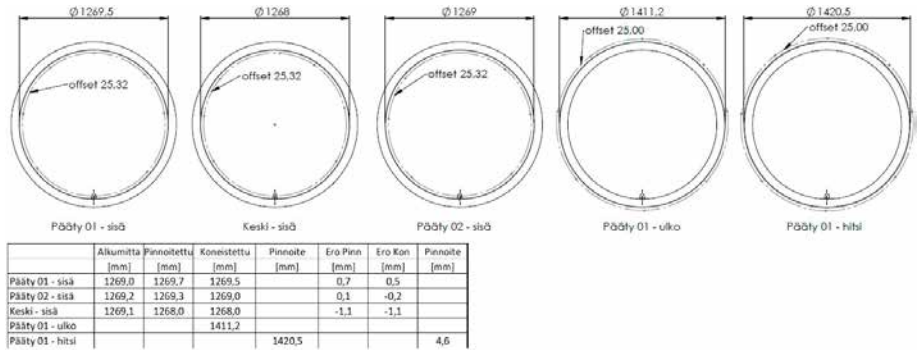
Kuva 8. Telavaipan laskennalliset muodonmuutokset hitsauspinnoituksen vaikutuksesta.



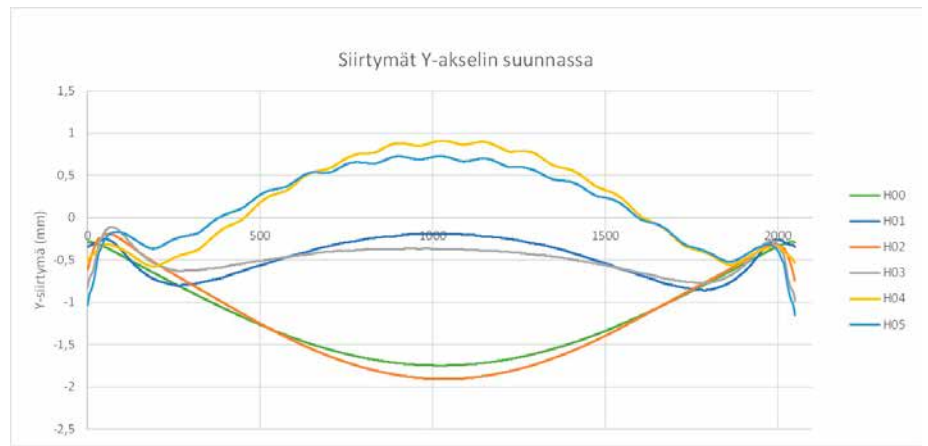
Kuva 9. Telavaipan pinnoitushitsaus jauhekaarihitsauksen kaksoislankamenetelmällä (twin).

Kuvassa 11 on esitetty asiakkaan palkkikenteen suunnitteluvaiheessa esillä olleita vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja ja niille tehtyjä hitsauksen muodonmuutostarkasteluja. Tuotteelle oli suurin sallittu taipuma Y-akselin suunnassa +0/-1 mm. Simuloinnin perusteella valittiin hitsausrakenne- ja sekvenssiyhdistelmäksi "H03".

Kuvassa 12 on esitetty kuvassa 11 esitetyn tuotteen valmistuksen aikainen 3D-mittaus, josta mittausdata siirretään ns. pistepilvenä tuotteen suunnittelumalliin, josta muodonmuutokset ja työvarat ovat suoraan nähtävissä. Kuvassa 12 on esitetty osa 3D-mittauksen pistepilveä siirrettynä suunnittelumalliin.



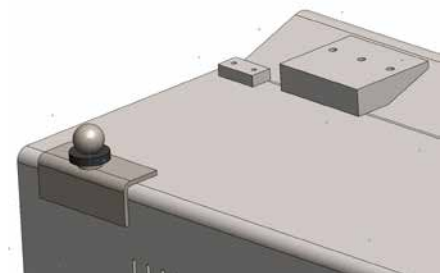
Kuva 10. Telavaipan eri vaiheiden 3D-mittaustulokset yhdistettynä suunnittelumalliin.



Kuva 11. Tuotteen suunnitteluvaiheessa esillä olleiden vaihtoehtoisten rakenneratkaisujen muodonmuutostarkastelut. Tuotteelle oli suurin sallittu taipuma Y-akselin suunnassa +0/-1mm. Simuloinnin perusteella valittiin hitsausrakenne- ja sekvenssiyhdistelmäksi "H03".



Kuva 12. Tuotteen valmistuksen aikainen 3D-mittaus. Suunniteltua hitsaussekvenssiä seurataan välimittauksin ja tarvittaessa muutetaan.



Kuva 13. Mittaustuloksen saatu 3D-pistepilvi siirrettynä suunnittelumalliin. Tähyksen offset-arvo voidaan muokata ohjelmallisesti tai se huomioidaan 3D-mallin kanssa manuaalisesti.

Yhteenveto

Digitaalisten suunnittelu- ja mittaustyökalujen optimoitu käyttö sekä tuotteen suunnittelu- että valmistusvaiheessa tarjoaa huomattavan määrän mahdollisuuksia vaativien hitsattujen rakenteiden optimointiin suunnittelu-, valmistus- sekä käyttövaiheessa. Digitaalisten työkalujen käytön yhdistäminen optimoituun suunnitteluprosessiin, kuten rinnakkaissuunnitteluun, antaa mahdollisuuden reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon kaikkien tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa mukana olevien osapuolten välillä. Rinnakkaissuunnittelu tarjoaa mahdollisuuden suunnittelun tehostamiseen ja tuotteen läpimenoajan lyhentämiseen tai uuden tuotteen markkinoille saattamisen nopeuttamiseen.

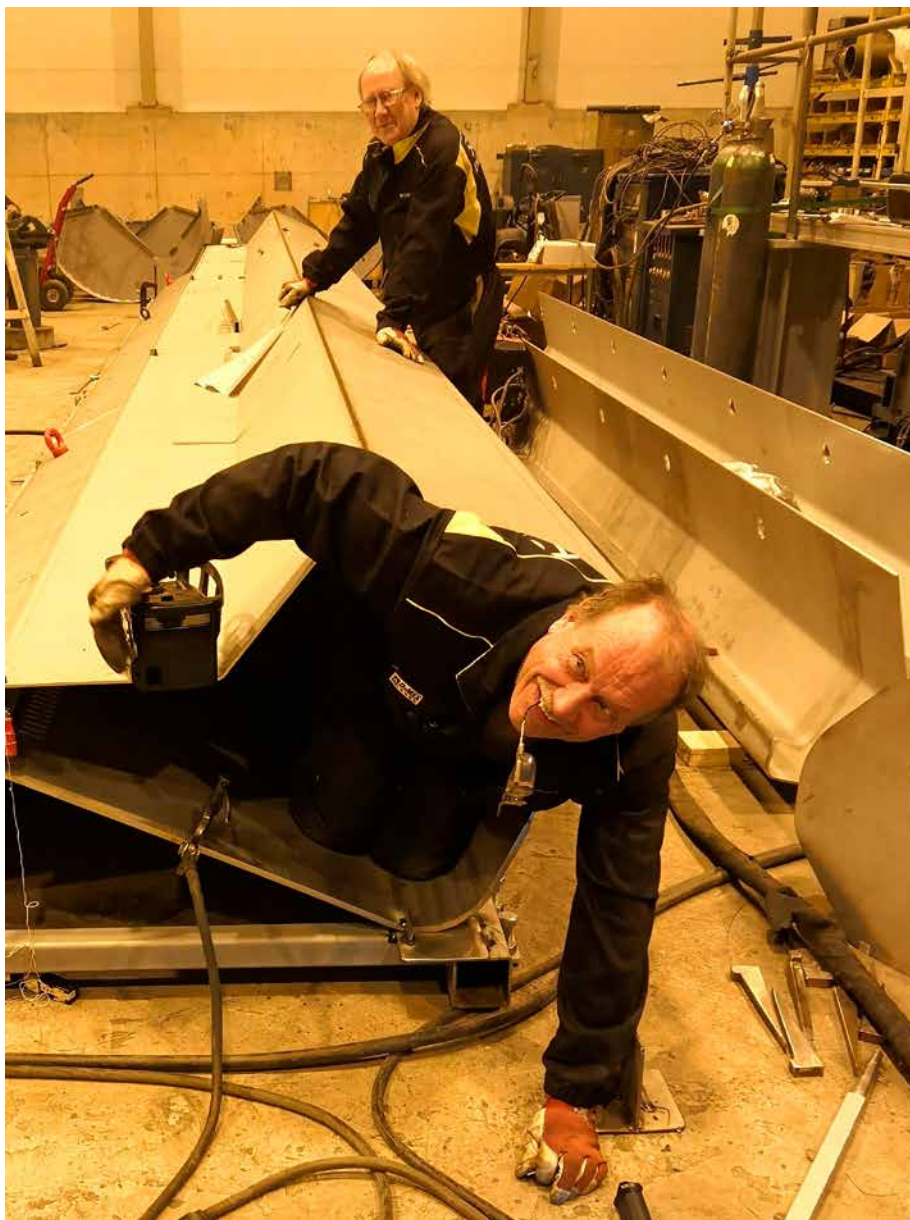
Suunnitteluvaiheessa ”digitaalisen valmistuksen” virheet ja sudet ovat kustannustasoltaan minimaalisia ja ne ovat helposti taklattavissa. Ruudulla tehty virhe voidaan korjata hiiren muutamalla napsautuksella eikä aikatauluvaikutusta juurikaan tuotannollisessa mielessä ole.

Digitaaliset työkalut ja -ratkaisut tarjoavat lähes rajattomasti mahdollisuuksia sekä suunnittelun että valmistuksen tueksi. Vaihtoehtoisten rakenteiden ja valmistusvaiheiden – erityisesti hitsauksen ja hitsausjärjestyksen – vaikutuksia voidaan testata nopeasti ja turvallisesti – ennen kaikkea kohtuullisilla kustannuksilla. Mutta on myös huomattava, että digitaalisen työkalujen ja -ratkaisujen lisääntyvä käyttö vaatii aikaisempaa tarkemmin kontrolloituja suunnittelu- ja tuotantoprosesseja, jotta voidaan varmistua siitä, että valmistuva tuote täyttää kaikki sille asetetut toiminnalliset ja elinkaarelliset vaatimukset.

Kuvassa 14 on esitetty esimerkki tuotantotilanteesta, jossa ennen tuotantovaihetta oli digitaalisten työkalujen avulla varmistettu, että työntekijä mahtuu turvallisesti suorittamaan tietyt esivalmistelu-, hitsaus- ja hiontavaiheet tuotteen sisällä.

Lisätietoja

Mika Korhonen, toimitusjohtaja,
+358 400 828 173
mika.korhonen@suistoeng.fi
www.suistoeng.fi



Kuva 14. Esimerkki tuotantotilanteesta, jossa ennen tuotantovaihetta oli digitaalisten työkalujen avulla varmistettu, että työntekijä mahtuu turvallisesti suorittamaan tietyt esivalmistelu-, hitsaus- ja hiontavaiheet tuotteen sisällä.

Yritys

Suisto Engineering Oy on 2014 perustettu toimivan johdon omistama teknologiayhtiö Porissa. Palveluksessamme olevilla asiantuntijoilla ja ammattilaisilla on pitkä kokemus raskaiden vaativien hitsattujen rakenteiden valmistusmenetelmistä ja valmistettavuus-tarkasteluista. Erikoisosaamisalueitamme ovat mm. rakenneanalyysit, hitsaus, materiaalit, standardit ja dokumentointi. Palvelutarjontamme sisältää mm.

1. Tuote- ja menetelmäkehityspalvelut
2. Tekninen laskenta
3. Hitsaussimuloinnit
4. Tuotteiden valmistettavuusanalyysit (DFM ja DFMA)
5. Tuotteiden vaurioanalyysit
6. Projektinhoitopalvelut

Käytössämme on menetelmäkehitykseen oma tuotantotila, joissa voimme testata kaikki yleisimmät kaarihitsausmenetelmät (mm. kapearailo-TIG) sekä testata pienimuotoisesti asiakkaiden valitsemia menetelmäratkaisuja proto- tai pilot-valmistussarjoina.