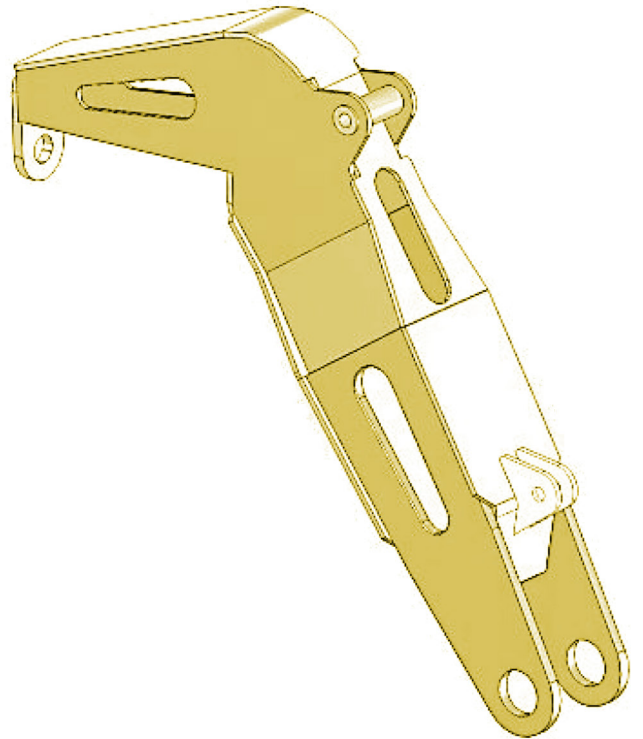
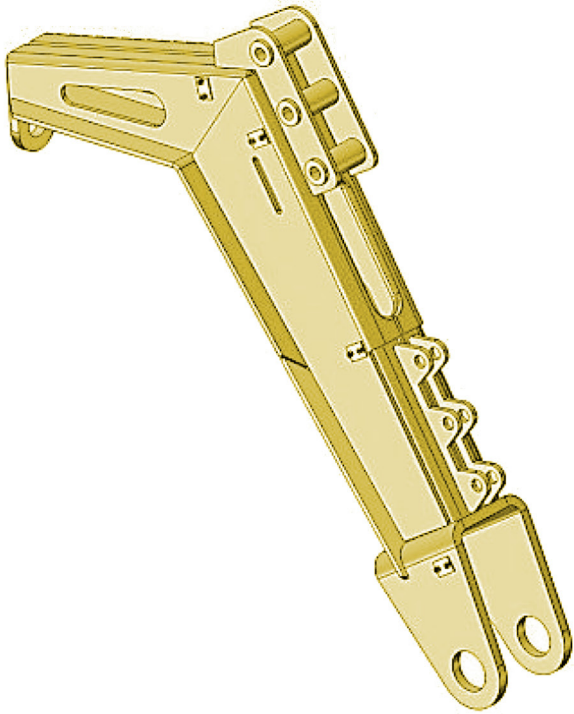




SAVONIA



■ TEKNIikka JA LIIKENNE

TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA PAREMPAAN VALMISTETTAVUUTEEN

ONNISTUNEEN SUUNNITTELUN PERIAATTEITA - DFMA

TEKIJÄ: **Tomi Piironen**

Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen

Onnistuneen suunnittelun periaatteita – DFMA

Hitsaavan teollisuuden hankintatoimen ja
toimitusketjun tehostaminen – HitNet

Tomi Piironen

Savonia-ammattikorkeakoulu
Julkaisutoiminta
PL 6 (Microkatu 1 B)
70201 KUOPIO
p. 044 785 5023
f. 017 255 5014
julkaisut@savonia.fi
www.savonia.fi/julkaisut

Copyright © 2013 tekijät ja Savonia-ammattikorkeakoulu

1. painos

Tämän teoksen kopioiminen on tekijänoikeuslain (404/61) ja tekijänoikeusasetuksen (574/95) mukaisesti kielletty lukuun ottamatta Suomen valtion ja Kopiosto ry:n tekemässä sopimuksessa tarkemmin määriteltyä osittaista kopiointia opetustarkoituksiin. Teoksen muunlainen kopiointi tai tallentaminen digitaaliseen muotoon on ehdottomasti kielletty. Teoksen tai sen osan digitaalinen kopioiminen tai muuntelu on ehdottomasti kielletty.

ISBN: 978-952-203-177-8 (PDF)
ISSN-L: 1795-0848
ISSN: 1795-0848

Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4/2/2013

Kustantaja: Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet
Taitto: Tapio Aalto

Sisältö

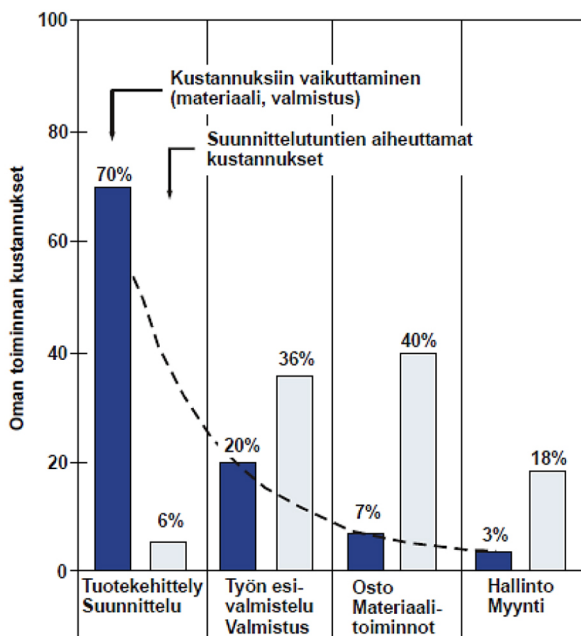
1 Johdanto	4
2 Valmistuskustannusten muodostuminen	6
3 Osto-osien hyödyntäminen	8
4 Valmistuksen laatuvaatimukset	9
5 Yleistoleranssit	10
6 Materiaalياهوiot	12
7 Osien lukumäärä ja yksinkertaisuus	13
8 Varastointi ja käsittely	15
9 Työvaiheet ja läpimenoaika	16
10 Osien leikkaus	17
11 Levyn taivutus eli särmäys	25
12 Taivutuksen suunnittelu (vapaa taivutus)	35
13 Taivutuksien suunnittelusääntöjä	37
14 Hitsaukset ja liitokset	40
15 Kokoonpantavuus	48
16 Pintakäsittely	51
17 Valmistuspiirustukset	55
18 Esimerkkejä valmistettavuuden kehittämisestä suunnittelun avulla	59
Lähteet	60
Valmistuskustannuslaskuri	62
Hitsauskustannusten laskenta	63

1 Johdanto

Tämä opas on tarkoitettu teräs- ja hitsattavien rakenteiden suunnittelijoille. Opas antaa ohjeita ja vinkkejä parempaan valmistettavuuteen ja kustannustehokkuuteen hyvin lyhyesti. Oppaan painopiste on saada suunnittelun avulla mahdolliseksi **alhaisempi valmistushinta, lyhyempi toimitusaika ja parempi toimitusvarmuus sekä varmistaa valmistuksen riittävä laatu**. Suunnittelussa määräytyy 70...80 % tuotteen valmistuskustannuksista, kuten kuvassa 1 esitetään.

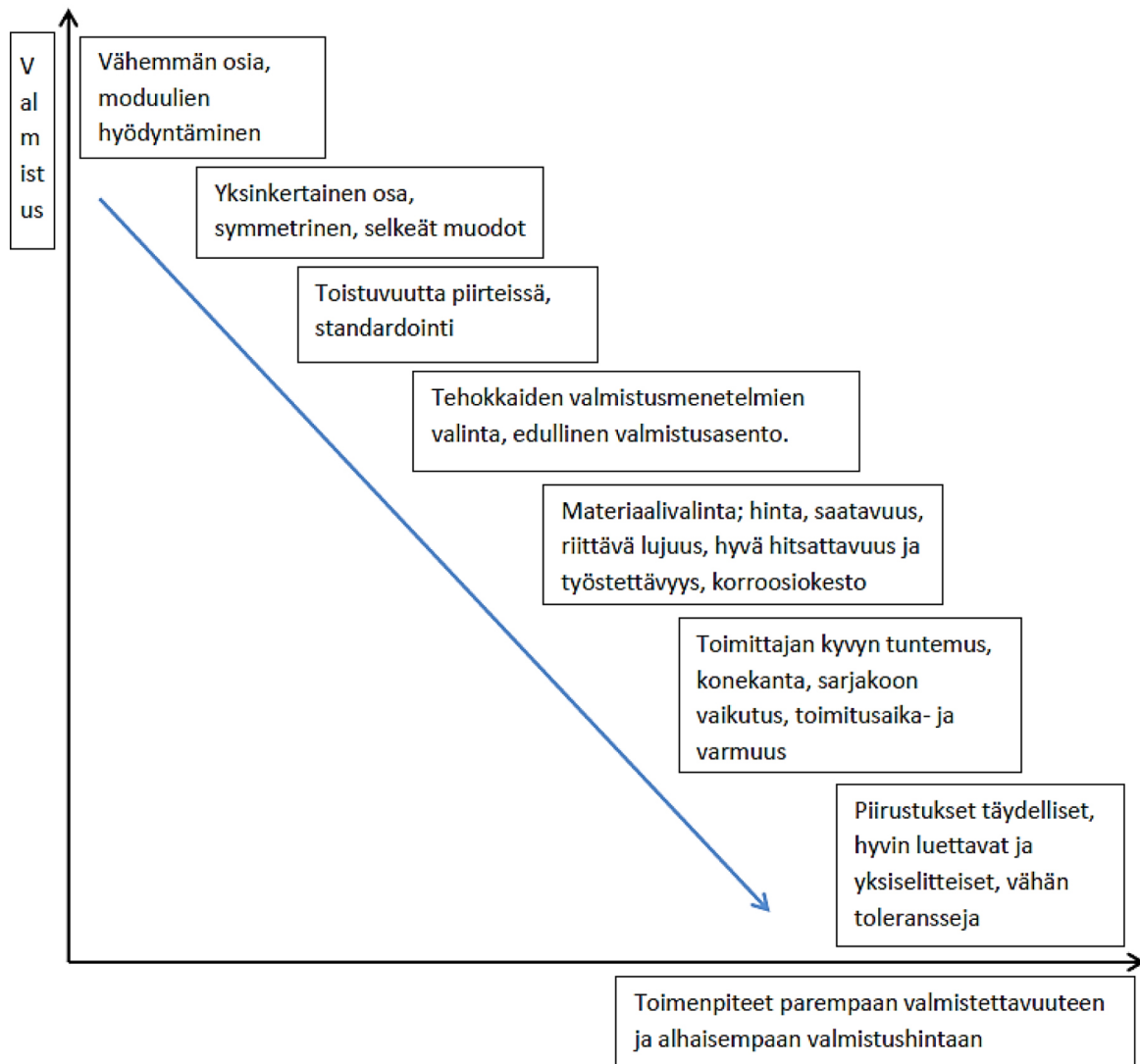
Hyvän ja tuotantotehokkaan suunnittelun edellytys on, että suunnittelija tuntee tuotannossa olevien valmistusmenetelmien ja laitteiden mahdollisuudet ja rajoitukset. Suunnittelijan on otettava selvää, mitä mahdollisuuksia tuotteen valmistuksessa on.

Lyhyesti ilmaistuna **suunnittelijan työ on suunnitella tuote niin, että sen valmistaminen kuluttaa mahdollisimman vähän aikaa ja panoksia raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi**.



Kuva 1. Kustannuksiin vaikuttaminen ja kustannusten muodostuminen konepajan eri osastoilla (Kemppe 2008, s 2)

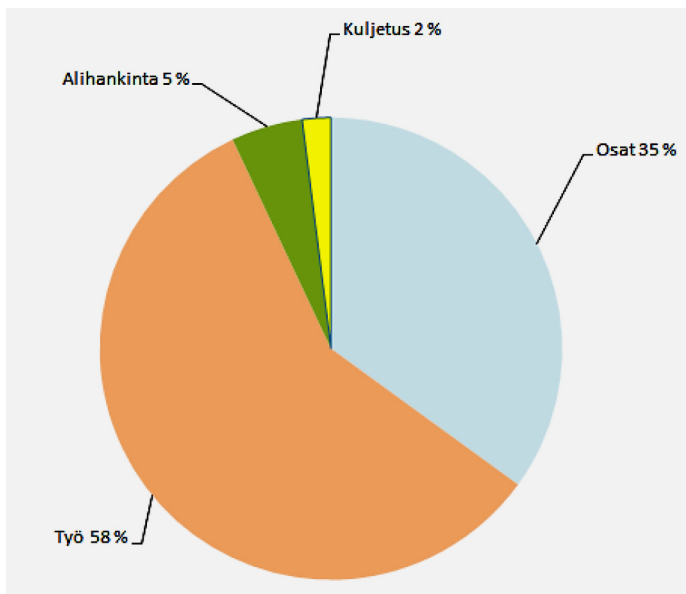
Kannattavan liiketoiminnan yksi merkittävistä edellytyksistä on riittävä myyntikate. Sen tärkein tekijä on myyntihinnan ja omakustannushinnan erotus. Yritykseen jää sitä suurempi voiton mahdollisuus, jos myyntihinta on korkea ja omakustannushinta on matala. Tämä mahdollistaa yrityksen paremman kilpailukyvyyn, jotta se pärjää markkinoilla ja kilpailussa. Kuvassa 2 on esitetty toimenpiteet valmistuskustannusten pienentämiseksi.



Kuva 2. Valmistuskustannusten alentamiseen tarvittavat toimenpiteet suunnittelun avulla.

2 Valmistuskustannusten muodostuminen

Valmistuskustannukset muodostuvat pääosin työstä, materiaalista, pintakäsittelystä ja kuljetuksesta (kuva3). Yksinkertaisissa teräsrakenteissa materiaalin osuus valmistuskustannuksista voi olla puolet ja monimutkaisissa rakenteissa materiaalin osuus pieni ja työn osuus on suuri. Kun tarkastelemme tuotteen valmistuskustannuksia, on tärkeää laskea, mistä valmistuskustannukset muodostuvat. Tällä varmistetaan se, että panos valmistuskustannusten alentamiseen kohdistuu oikeisiin asioihin. Suunnittelija voi vaikuttaa suoraan osien ja työn määrään. Konekannan tuntemus voi poistaa myös mahdolliset turhat siirrot ja työvaiheiden vaihtelut alihankinnasta. Kaikki työ, joka voidaan siirtää käsitoista koneelliseksi, kannattaa tehdä.



Kuva 3. Esimerkki hitsatun rakenteen valmistuskustannusten jakautumisesta.

Materiaaliksi valitaan lähtökohtaisesti edullisin vaihtoehto. Valinnassa kuitenkin huomioidaan myös sen saatavuus, eräko, lujuusominaisuudet, korroosiokesto, hitsattavuus, muovattavuus, työstettävyys, ulkonäkö, varastointi ja pintakäsittelyominaisuudet.

Työmenetelmä suunnitellaan sen mukaan, mikä on tehokkain ja taloudellisin menetelmä toteuttaa osan valmistus. Juuri suunnittelija vaikuttaa siihen, mitä valmistusmenetelmiä tuotteen valmistuksessa käytetään, jotta laatuvaatimukset täytetään mahdollisimman pienin kustannuksin. Vältä valmistusvaiheessa käsityön osuutta, koska se on hidasta, epälaadukasta ja kallista. Suuri käsityön osuus huonontaa toimitusvarmuutta ja valmistuksen laatua.

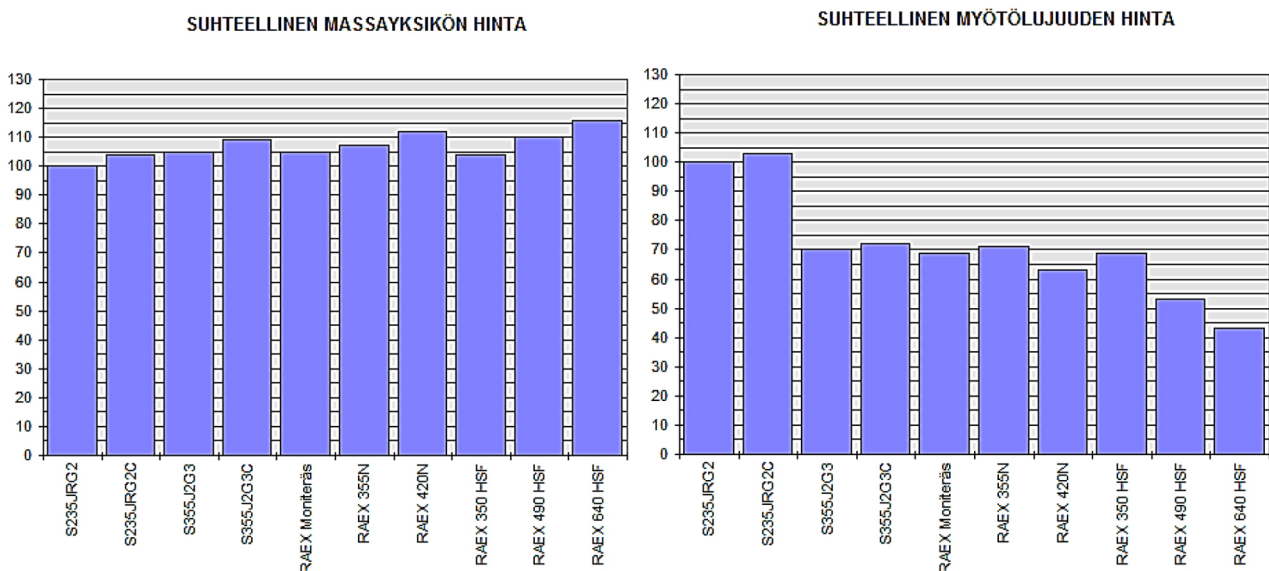
Tuote suunnitellaan lähtökohtaisesti mahdollisimman kevyeksi, mikäli ylipainovaatimuksia ei ole. Jokainen ylimääräinen massa kasvattaa tuotteen elinkaaren aikana siirto- ja kuljetuskustannuksia. Valmistusvaiheessa mahdollisimman vähäinen materiaalin käyttö tulee halvemmaksi sekä ympäristökuormitukset pienenevät. Kuitenkin turhien kevennysreikien käyttöä tulisi välttää, koska niistäkin muodostuu kustannuksia. On harkittava, milloin kevennysreikien käyttö lisää asiakkaalle tulevaa arvoa ja laskeeko se valmistuskustannuksia.

Taulukko 1. Taulukossa on työn ja materiaalin esimerkkihintoja (alv 0%) vuodelta 2011.

VALMISTUSMENETELMÄ	€/h
Kaasuleikkaus	70
Plasmaleikkaus	80
Laserleikkaus	100
Levytyökeskus	100
Sahaus	45
Särmäys	45
Levyleikkuri	45
Poraus	45
Mankelointi	45
Putkentaivutus	45
Tasokoneistus	50
Sorvaus	50
Hitsaustyö	45
Karuselli/automaattisorvi	70
Aarpora	80
Monikarainen koneistuskeskus	120

MATERIAALI AINES	kg/m	€/m	€/kg
Latta 5x80 musta	3,14	4,50	1,43
Latta 10x50 ST37 musta	4,06	5,69	1,40
Latta 10x20 ST37 musta	1,57	1,59	1,01
Latta 5x50 musta	1,96	3,6	1,17
Kulmateräs 20x20x3 FE37B	0,88	1,2	1,36
Kulmateräs 60x60x6 FE37B	5,42	6,5	1,20
Ø30, pyörötanko musta	5,55	9	1,62
Ø50, pyörötanko musta	15,30	18,50	1,21
Ø26.9x2.65 musta	1,99	6	3,02
Ø48.3x3.2 musta	3,56	8,50	2,39
Teräsputki 13x1 DIN 2394	0,29	0,98	3,33
Teräsputki 16x1,5 DIN 2394	0,53	1,38	2,59
Teräsputki 19x1,5 DIN 2394	0,64	1,42	2,21
Teräsputki 42,4x3,25	3,12	8,05	2,58
RHS 40x40x4 S355J2H	4,20	5,59	1,33
Levy 3x1000x2000	48	86,50	1,80

Lujempia teräslaatuja voidaan valita tuotteeseen, mikäli sen korkeampaa myötölujuutta voidaan hyödyntää. Suurlujuusteräksissä kimmokerroin on sama, kuin kaikilla teräksillä, joten siirtymiin ei voi vaikuttaa pelkällä teräsvalinnalla. Suurlujuusteräksen takia voidaan pienentää levyvahvuutta, ja sitä kautta kasvattaa äärimittoja massaa kasvattamatta, joka kasvattaa jäykkyttä ja näin pienentää siirtymiä. Vaarana on kuitenkin lommahtaminen. Lujemmat teräslaudut ovat myötölujuuteen nähden suhteessa edullisempia (kuva 4).



Kuva 4. Eri teräslevyjen materiaalien suhteellinen massayksikön ja myötölujuuden hinta 2011.

3 Osto-osien hyödyntäminen

Tuotteen suunnittelussa keskitytään siihen, mikä tuottaa asiakkaalle lisäarvoa. Edullisia ja hyvin saatavilla olevia standardi- ja osto-osia kannattaa käyttää mahdollisimman paljon. Ne ovat usein toistuvuudeltaan ja laadultaan hyviä. Suunnitellaan itse se, mikä antaa tuotteelle sille tärkeät ominaisuudet.

Valittuja osto-osia tulisi pitää mahdollisimman suppeana, jotta yksikköhinta olisi matala, nimikkeiden määrä pysyisi pienenä ja varaston kierto nopeana.

4 Valmistuksen laatuvaatimukset

Tuotteella on olemassa tietyt ominaisuudet, jotka sen on täytettävä. Vaikka valmistuskustannuksia alennetaankin, on pidettävä laatuvaatimukset vaadittavalla tasolla.

Siihen vaikuttavat mm. asiakasvaatimukset, määräykset ja standardit, lujuusvaatimukset, materiaalivaatimukset, työn tarkkuus, valitut valmistusmenetelmät ja viimeistelyyn ja ulkonäköön liittyvät tavoitteet.

5 Yleistoleranssit

Osan kaikilla piirteillä on aina vaadittava koko- ja geometrinen tarkkuusvaatimus. Osan tietyissä määrätyissä mitoissa, muodoissa ja sijainneissa voi olla vain sallittuja poikkeamia, jotta sen toiminta (esim. kokoonpantavuus ja toiminnallisuus) eivät heikkenisi. Tolerointi tulisi esittää piirustuksissa täydellisesti. Käyttämällä mitan ja muodon yleistoleranssia voidaan varmistaa, että tolerointivaatimus on täytetty. Yleistoleranssit määrittelevät taulukoiden mukaan tietyille mitalle tai muodolle sallitut poikkeamat. Yleistoleranssien tarkoituksena on yksinkertaistaa piirustuksen merkintöjä, jolloin tarkkuutta voidaan rajoittaa ilman erillistä toleranssimerkintää piirustuksessa.

Suunnittelijan tulee selvittää, minkä standardin mukaista yleistoleranssia tulisi soveltaa suunnittelemansa osan piirustuksessa. Taulukossa 6 on esitetty yleisimmät yleistoleranssit. Suunnittelun ja valmistuksen tulisi käyttää samoja standardeja, jotta varmistutaan samoista laatuvaatimuksista. Mikäli osassa olevan piirteen mitoitus, muoto tai sijainti vaatii tarkempaa tolerointia kuin yleistoleranssissa, asetetaan nimellismitan viereen oma tarkempi toleranssimerkintä.

Käytettäessä standardia SFS-EN ISO 22768 piirustuksessa merkitään ISO 2768, joka viittaa standardiin SFS-EN 22768-1 ja SFS-EN 22768-2. Taulukoissa 2, 3, ja 4 on esitetty standardin SFS-EN 22768-1 mukaiset yleistoleranssit, jossa on esitetty pituus- ja kulmamittojen toleranssit. Taulukossa 5 on esitetty standardin SFS-EN 22768-2 mukainen suoruuden ja tasomaisuuden yleistoleranssi.

Taulukko 2. SFS-EN 22768-1 mukainen pituusmittojen sallitut poikkeamat lukuun ottamatta viistettyjä kulmia.

		Arvot mm							
Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella							
		> 0,5 ¹⁾ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1 000	> 1 000 ≤ 2 000	> 2 000 ≤ 4 000
f	hieno	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	keskikarkea	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	karkea	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	erittäin karkea	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹⁾ Nimellimitoille < 0,5 mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismitan viereen.

Taulukko 3. SFS-EN 22768-1 mukainen viistettyjen kulmien sallitut poikkeamat.

		Arvot mm		
Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Sallitut poikkeamat nimellismitta-alueella		
		> 0,5 ¹⁾ ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6
f	hieno	±0,2	±0,5	±1
m	keskikarkea			
c	karkea	±0,4	±1	±2
v	erittäin karkea			

¹⁾ Nimellimitoille < 0,5 mm, eromitat tulee merkitä vastaavan nimellismitan viereen.

Taulukko 4. SFS-EN 22768-1 mukainen kulmamittojen sallitut poikkeamat.

Toleranssiluokka Tunnus	Kuvaus	Kyseessä olevan kulman lyhyemmän sivun sallitut poikkeamat pituusmitta-alueella (mm)				
		≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400
f	hieno	± 1°	± 0°30'	± 0°20'	± 0°10'	± 0°5'
m	keskikarkea					
c	karkea	± 1°30'	± 1°	± 0°30'	± 0°15'	± 0°10'
v	erittäin karkea	± 3°	± 2°	± 1°	± 0°30'	± 0°20'

Taulukko 5. Standardin SFS-EN 22768-2 mukainen suoruuden ja tasomaisuuden yleistoleranssi.

Arvot mm

Toleranssi- luokka	Suoruus- ja tasomaisuustoleranssit nimellispituus- alueilla					
	≤ 10	> 10 ≤ 30	> 30 ≤ 100	> 100 ≤ 300	> 300 ≤ 1000	> 1000 ≤ 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Taulukko 6. Eri sisältöä tai valmistusmenetelmiä koskevat yleisimmät yleistoleranssit.

Sisältö	Standardi
Pituus ja kulmamitat	SFS-EN ISO 22768-1
Geometriset muodot	SFS-EN ISO 22768-2
Meistotekniikka	SFS 5803
Terminen leikkaus	SFS-EN ISO 9013
Hitsaus	SFS-EN 13920
Muotilla valetut kappaleet	SFS-EN ISO 8062-3+AC

6 Materiaalihiot

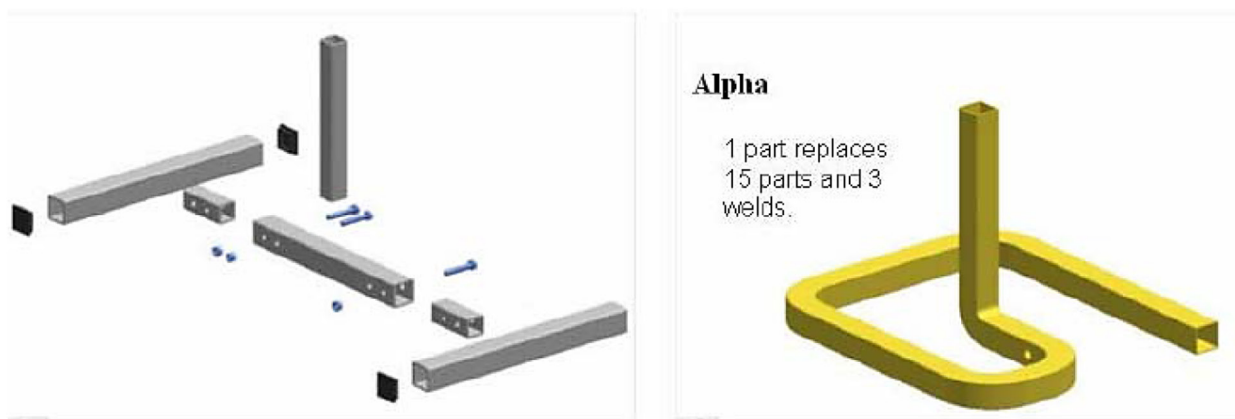
Materiaalihiot tarkoittaa tietyn muotoista ja mittaista raaka-ainetta. Materiaalihioksi tulisi valita hyvin saatavissa olevan suositusarjan varastokoko. Saatavuus kannattaa varmistaa aina tavarantoimittajilta, koska trendit voivat muuttua toimialueittain.

Suuret valmistajat ohjaavat tukkureiden varastonimikkeitä ja kiertoa. Pienenkin valmistajan kannattaa käyttää samoja hihoita, jos se turvaa paremman saatavuuden. Siihen ei kuitenkaan kannata liikaa sitoutua, sillä materiaalivehdoiksi tulee ennen pitkää. Vaihtoehtoinen materiaali on hyvä selvittää valmiiksi. Kaiken tarkoituksena on varmistaa hyvä saatavuus, edullinen hinta ja pienet omat varastot.

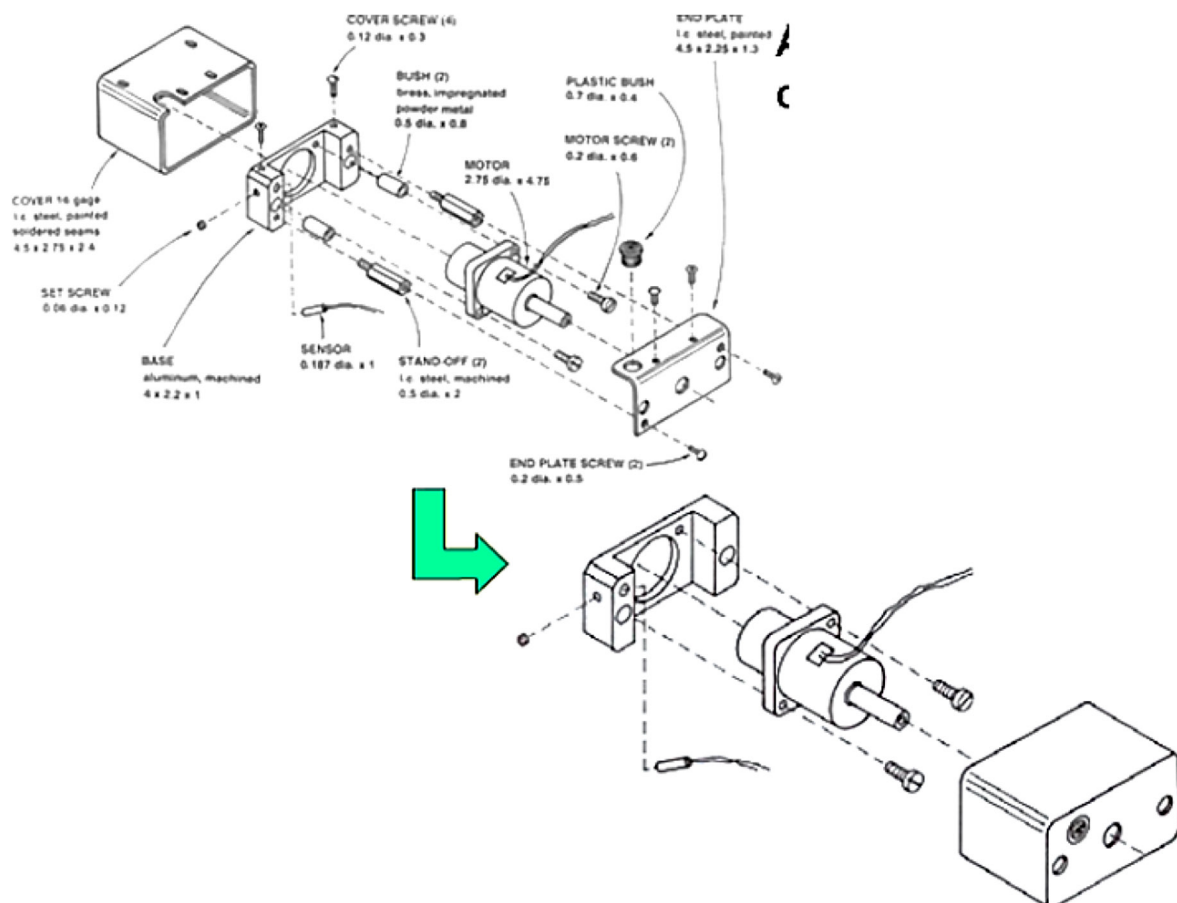
Materiaalihiota tulisi olla tuoteperheissä ja moduuleissa minimimäärä, jotta valmistuksessa päästään mahdollisimman vähillä materiaalivehdoilla ja asetuksilla. Varastot kiertävät paremmin, ja siihen sitoutunut pääoma pienempänä.

7 Osien lukumäärä ja yksinkertaisuus

Suunnittelussa pyritään vähentämään tuotteen osamäärä mahdollisimman pieneksi, kuten kuvassa 5 ja 6 on esitetty. Jokainen osa tuotteessa ja tuotannossa on liikaa. Tuote koostuu kokoonpanossa uniikeista ja toistuvista uniikeista osista. Jokainen uniikki osa on kiinteäkustannus olemassa olollaan. Jokainen osa sitoo aikaa ja rahaa monessa eri toiminnassa. Elinkaaren aikana yksittäisen osan (nimikkeen) pelkkä tiedollinen käsittely maksaa jopa tuhansia euroja. Pyri käyttämään samoja osia mahdollisimman toistuvasti ja tehokkaasti. Kokoonpanossa osien lukumäärä on lähes suoraan verrannollinen tuotantokustannuksiin, koska jokainen osa vaatii omaa käsittelyä ja liittämistä. Osien pienellä lukumäärällä on etua koko valmistukseen vaadittavassa ketjussa aina suunnittelusta jälkimarkkinointiin. Sekä hitsatussa rakenteessa, että kokoonpanotasolla (moduuli) pätee sama periaate osien lukumäärän minimoimisesta.



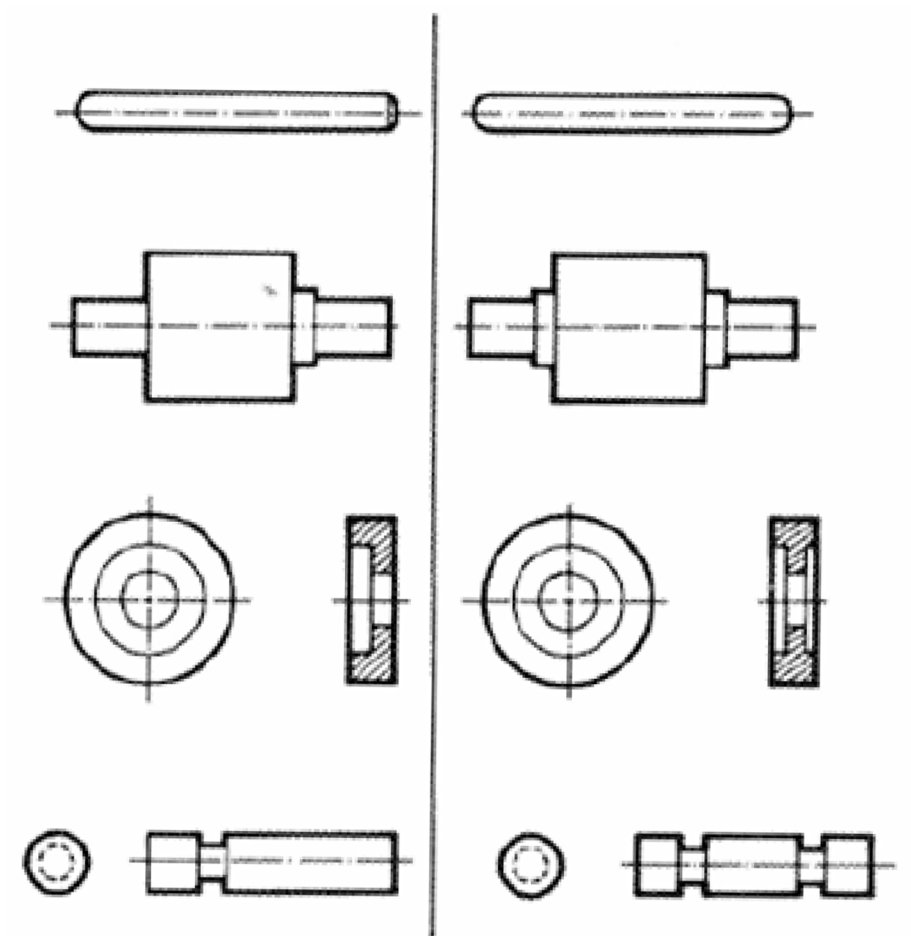
Kuva 5. Osien lukumäärää on pudotettu 15:sta 1:een. Tässä on huomioitava, että taivutukset onnistuvat ja mitatarkkuus on riittävä.



Kuva 6. Osien lukumäärää on vähennetty ja kokoonpantavuutta nopeutettu uudelleen suunnittelun yhteydessä.

Yksinkertainen on kaunista! Suunnittelussa pitäisi mallintaa mahdollisimman yksinkertaisia osia, jossa on mahdollisimman vähän piirteitä, eli liitoksia, särmäyksiä, muotoja, ulokkeita, syvennyksiä, reikiä, taskuja, koloja ja ainevahvuuseroja. Jokainen piirre on lisäkustannus tuotannossa.

Yksinkertaiset muodot, kuten neliöt, suorakaiteet, ympyrät jne. ovat tuotannossa edullisia niiden hyvän käsiteltävyyden, kiinnitettävyyden ja työkaluvalmiuden takia. Symmetriaa kannattaa aina hyödyntää, milloin se on mahdollista (kuva 7). Mikäli se ei ole mahdollista, muodostetaan osasta peilikuva. Lievästi symmetristen osien asentoa on hankala tunnistaa.

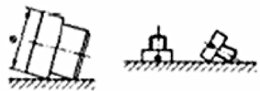
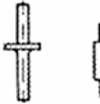
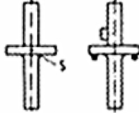
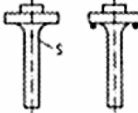


Kuva 7. Pyri suunnittelemaan symmetrisiä osia. Huomioi kuitenkin tarpeettomien piirteiden tuleva lisäkustannus.

8 Varastointi ja käsittely

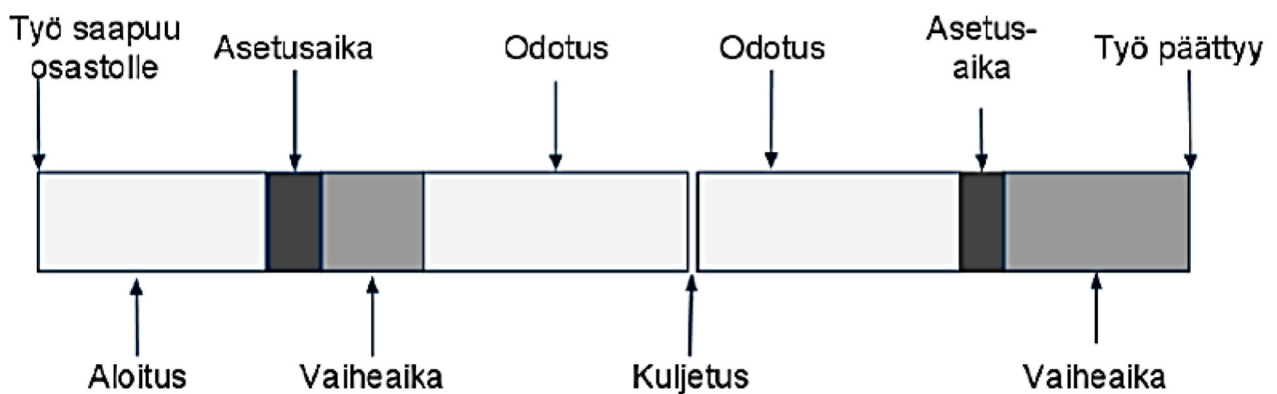
Muodon, mittojen ja koon olisi hyvä olla oikeassa suhteessa toisiinsa, jotta kuljetus ja käsittely olisivat nopeita ja helppoja. Tämä toistuu edullisena vielä tuotteen käytön aikana, jolloin huollettavuus ja käsiteltävyys paranevat. Tuotteen käsittely valmistuksessa, siirrot ja nostot tulisi suunnitella niin, että osa on tasapainossa ja nostokohdat olisi selkeästi esillä. Osalla olisi hyvä olla ennalta suunniteltu kuljetus- ja valmistusasento, joka on tasapainossa ja selkeästi alustalla tietyssä asennossa.

Taulukko 7. Varastointiin ja käsittelyyn liittyviä esimerkkejä.

Toim	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Automaattisen varastoinnin ja käsittelyn mahdollistaminen				
Va	Suosittava asentovakaita liitososia	AAs		
Va	Vältettävä samanlaisten liitososien takertumista toisiinsa	KAs AAs		 [145]:n mukaan
Kä	Vältettävä melkein symmetrisiä muotoa kun asento on määrätty	AAs		
Kä	Käytettävä liitososia joiden riippukuljetuksessa painopiste määrää oikean asennon	AAs		

9 Työvaiheet ja läpimenoaika

Osa suunnitellaan niin, että siinä on mahdollisimman vähän työvaiheita ja otteita. Työvaiheissa pyritään toistoihin ja saman työkalun käyttöön. Tämä edellyttää piirteiden standardointia ja niiden vakiintunutta käyttöä. Tällä päästään parempaan työn jalostusarvoon. Hukka- ja häiriöajat pienenevät. Piirteet pyritään mitoittamaan niin, että mitat ovat suositussarjan mukaisia (yleensä tasamittoja). Kappaleen muoto ja asento tulisi suunnitella niin, että asentoa ei tarvitse muuttaa työvaiheen aikana. Osa pyritään suunnittelemaan niin, että siihen tulisi mahdollisimman vähän eri valmistemenetelmiä vaativia työvaiheita. Jokainen menetelmän vaihto vaatii keskeytystä, joka ei ole jalostavaa työtä. Mikäli osassa on vähän työvaiheita ja hyödynnetty toistuvuutta, päästään lyhyempään läpimenoaikaan ja parempaan toimitusvarmuuteen. Samat periaatteet toimivat koneistuksessa, hitsauskokoontamisessa ja varustelukokoontamisessa, jolloin menetelmien, työkaluvaihtojen, työvaiheiden ja otteiden määrä on minimoitu.



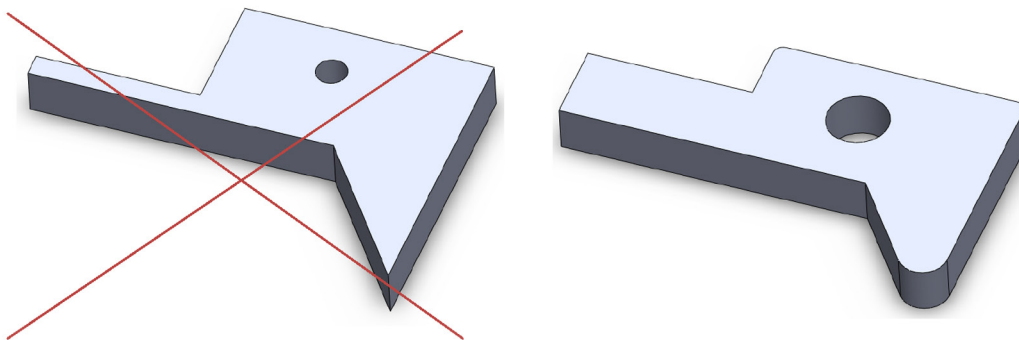
Kuva 8. Työvaiheiden valinnalla voidaan vaikuttaa läpimenoaikaan. Vaiheaja on jalostavaa toimintaa, jota lisäämällä saadaan tuotantotehokkuutta kasvatettua.

10 Osien leikkaus

Osan leikkaamiseen käytetään edullisinta ja tehokkainta mahdollista menetelmää laatuvaatimukset ja toimitusaika- ja varmuus huomioiden. Leikkaamista tehdään mekaanisesti ja termisesti. Mekaaninen leikkaus levyleikkurilla on tehokasta silloin, kun leikattavat muodot ovat suorakulmioin muotoisia, ja osassa ei ole muita piirteitä. Mikäli osassa on aukkoja, reikiä ja muita piirteitä, kannattaneen osa leikata numeerisesti leikkauspöydällä esim. levytyökeskuskella tai termisesti (kuva 14).

Terminen leikkaus jakautuu pääosin kolmeen käytetyimpään menetelmään: Kaasu-, plasma- ja laserleikkaus. Tämän lisäksi vesileikkaus on mekaaninen leikkausmenetelmä tarkkuutta ja lämpöä estävissä leikkauksissa hyvin usealle materiaalille. Vesileikkauksella voidaan välttää työvarojen ja koneistuksien tarve sen hyvän pinnanlaadun ja tarkkuuden takia.

Leikattavan kappaleen tulisi olla mittasuhteiltaan sopusuhtainen. Hoikkia, ohuita ja pitkiä ulokkeita ei tulisi olla, koska lämpö vääntää niitä leikkauksen aikana. Tarvittavat nurkat tulisi pyöristää niin, että maali pysyisi paremmin osassa, sekä tuote on loppukäyttäjälle turvallisempi (kuva 9 ja 10). Reiän halkaisija ei saa olla pienempi kuin levynvahvuus ($\varnothing > s$). Taulukoissa 8, 9 ja 10 sekä kuvassa 11, 12 ja 13 on esitetty termiselle leikkaukselle mahdollisia eromittoja, soveltuvia materiaaleja ja leikkausominaisuuksia.



Kuva 9. Ohuet ulokkeet, pienet reiät ja terävät kulmat tulisi poistaa polttoleikkeestä. Oikeanpuoleisessa osassa mittasuhteet ja muodot ovat paremmat.

Taulukko 8. SFS EN-ISO 9013 mukainen taulukko poltto- ja plasmaleikkausta koskevat sallitut eromitat toleranssiluokalle 1.

Työkappaleen aineenpaksuus	Nimellimitat							
	> 0 < 3	≥ 3 < 10	≥ 10 < 35	≥ 35 < 125	≥ 125 < 315	≥ 315 < 1000	≥ 1000 < 2000	≥ 2000 < 4000
	Sallitut eromitat							
> 0 ≤ 1	± 0,04	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,3
> 1 ≤ 3,15	± 0,1	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,4
> 3,15 ≤ 6,3	± 0,3	± 0,3	± 0,4	± 0,4	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,6
> 6,3 ≤ 10	–	± 0,5	± 0,6	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,7	± 0,8
> 10 ≤ 50	–	± 0,6	± 0,7	± 0,7	± 0,8	± 1	± 1,6	± 2,5
> 50 ≤ 100	–	–	± 1,3	± 1,3	± 1,4	± 1,7	± 2,2	± 3,1
> 100 ≤ 150	–	–	± 1,9	± 2	± 2,1	± 2,3	± 2,9	± 3,8
> 150 ≤ 200	–	–	± 2,6	± 2,7	± 2,7	± 3	± 3,6	± 4,5
> 200 ≤ 250	–	–	–	–	–	± 3,7	± 4,2	± 5,2
> 250 ≤ 300	–	–	–	–	–	± 4,4	± 4,9	± 5,9

Valssaus suunnan huomioonottaminen jouseksi tulevassa osassa.		
Teräviä ulkomuotoja vältettävä.		
Liian ahtaita toleransseja vältettävä.		
Mitoittamalla $a = a_1 = a_2$ ja $b = b_1 = b_2$ vältetään esilävis-tykseltä ja materiaali tulee täysin hyväksikäytettyä.		

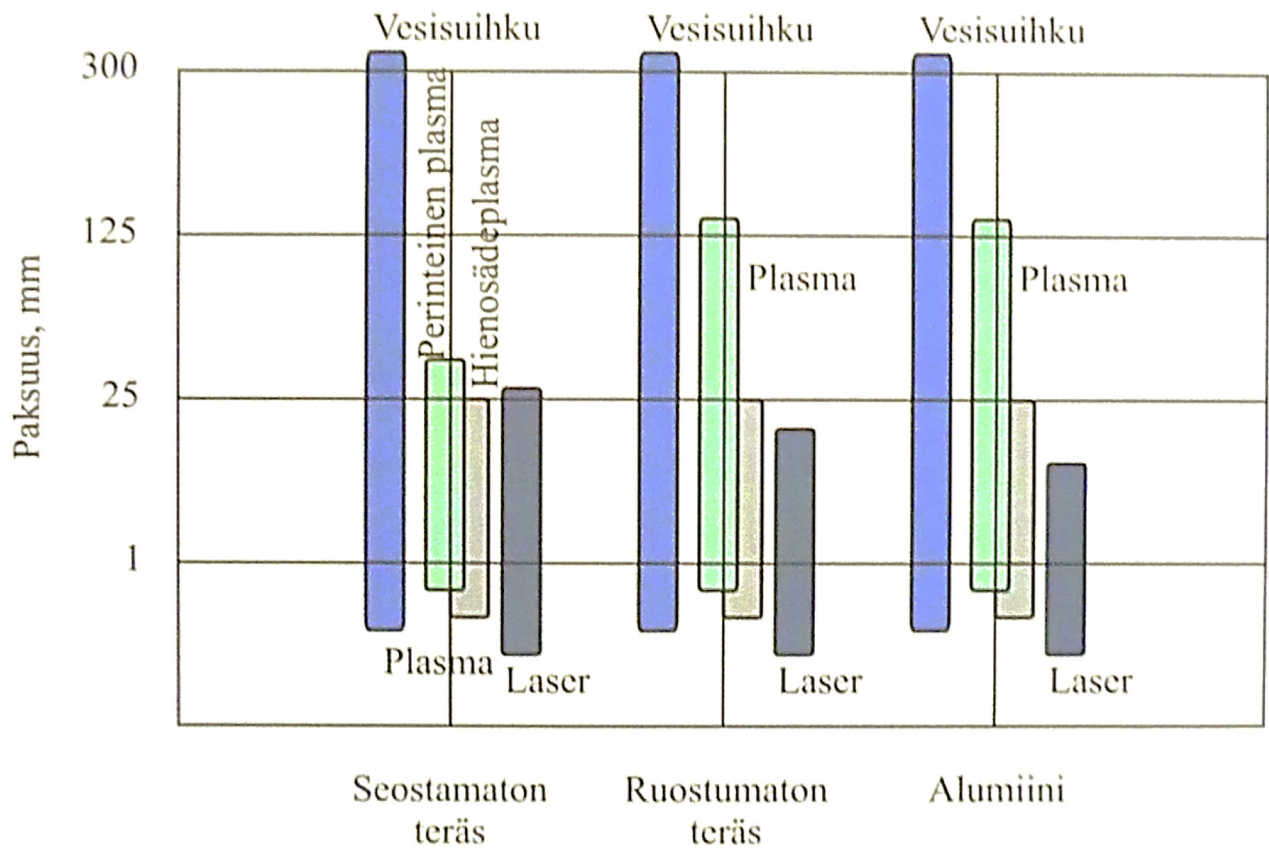
Kuva 10. Suunnittelusääntöjä leikkauksessa (Honka 1980, s. 4).

Taulukko 9. Termisille leikkausmenetelmille soveltuvia materiaaleja.

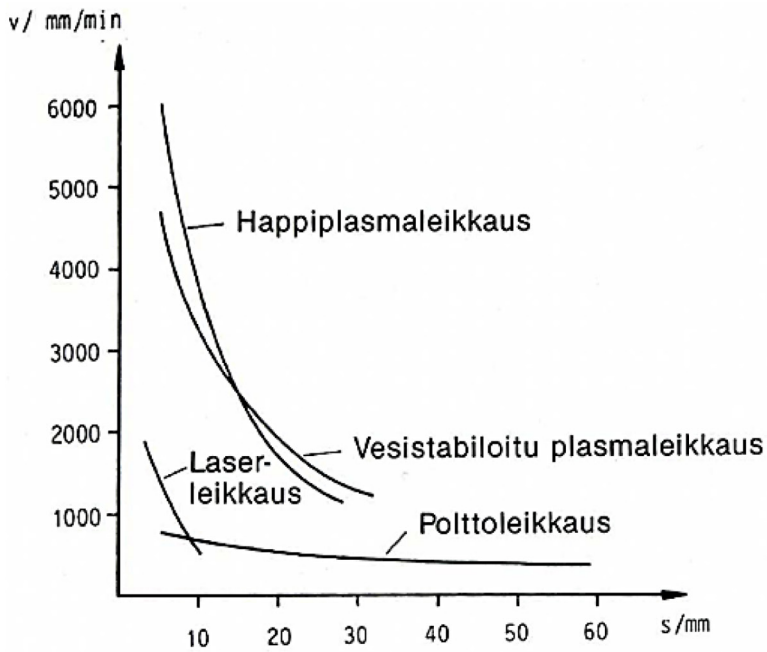
	POLTTOLEIKKAUS	PLASMALEIKKAUS	LASERLEIKKAUS
Seostamaton teräs	kyllä	kyllä	kyllä
Niukkaseosteiset teräkset (C < 0,3%)	kyllä	kyllä	kyllä
Seostetut teräkset	vaatii esilämmityksen	kyllä	kyllä
Ruostumattomat teräkset	ei	kyllä	kyllä
Alumiini	ei	kyllä	kyllä
Kupari	ei	kyllä	kyllä

Taulukko 10. Termisten leikkausmenetelmien soveltuvat ainepaksuudet, nopeudet ja tarkkuudet seostamattomalle teräkselle.

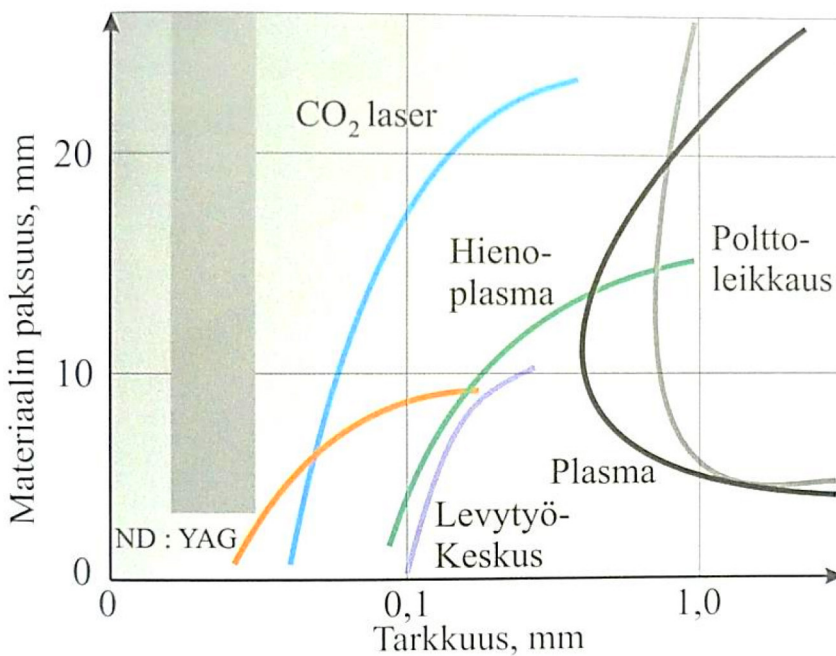
	POLTTOLEIKKAUS	PLASMALEIKKAUS	LASERLEIKKAUS
AINEPAKSUUS	3 – 250...3200 mm	...30 mm	...25 mm
TARKKUUS	0,5 – 5 mm	0,1 - 0,5 mm	0,05 – 0,1 mm
LEIKKAUSNOPEUS	60 – 800 mm/min	1000...10000 mm/min	500...2000 mm/min
LEIKKAUSJÄLKI	Tyydyttävä	Kiitettävä	Kiitettävä



Kuva 11. Leikkausmenetelmien soveltuvuus eri materiaaleille ja paksuuksille (Matilainen ym. 2011, s. 202).



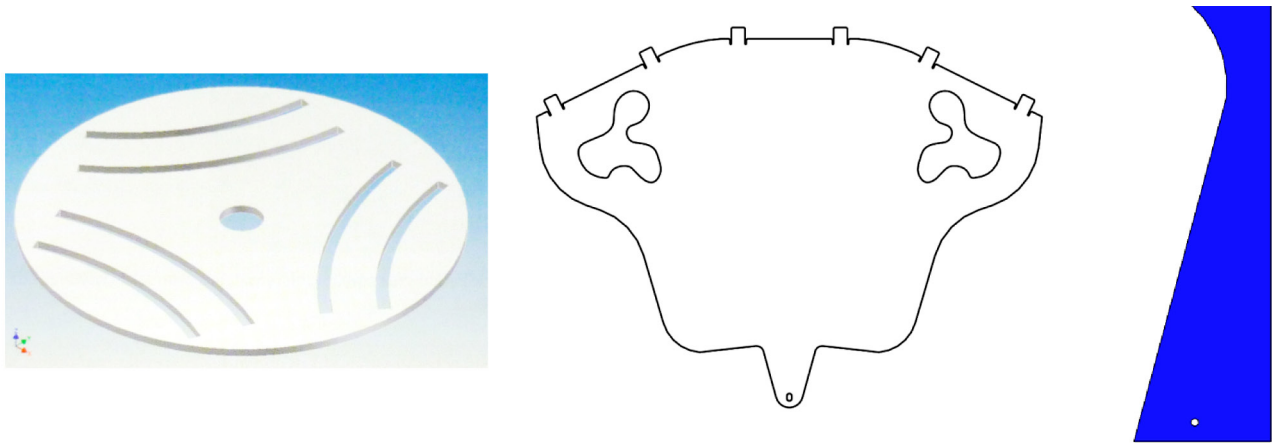
Kuva 12. Termisten leikkausmenetelmien leikkausnopeudet (Niemi & Aromäki 1985, s. 52).



Kuva 13. Leikkausmenetelmien tarkkuusvertailua (Matilainen ym. 2011, s. 201).

Karkeasti leikkausmenetelmän voi valita seuraavasti:

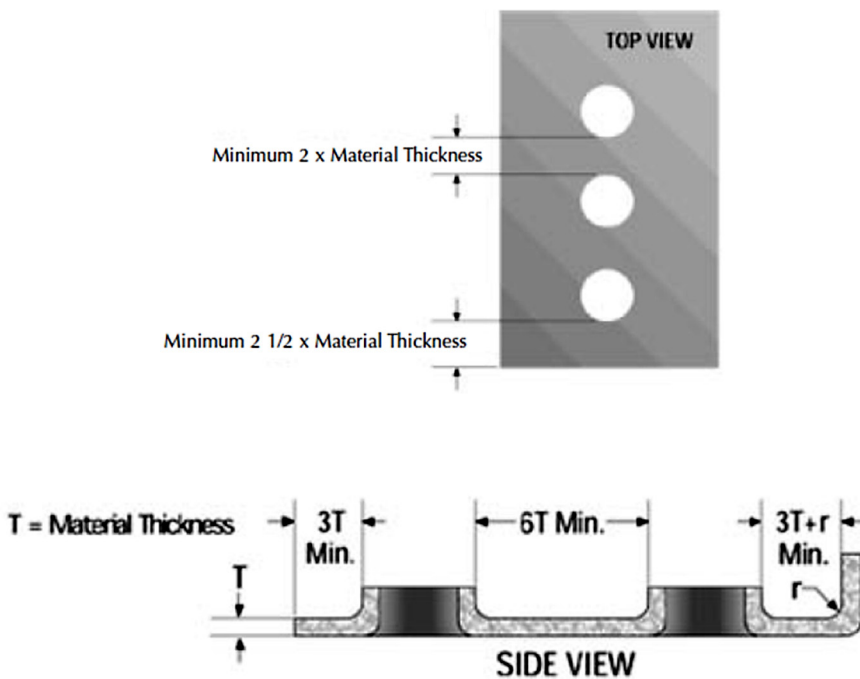
- Laserleikkaus: yleispätevä ja tarkka kaikille ohutlevymateriaaleille
- Plasmaleikkaus: käytä, jos laserin tarkkuudesta ei ole hyötyä
- Kaasuleikkaus: edullinen ja soveltuva paksummille materiaaleille. Tarkkuus vain koh- tuullinen.
- Vesisuihkuleikkaus: paksuille materiaaleille ja muille leikattaville materiaaleille (mm. puu, muovi, kumi). Kun tarvitaan tarkka leikkausjälki ja halutaan välttää jatkotyövai- heet.



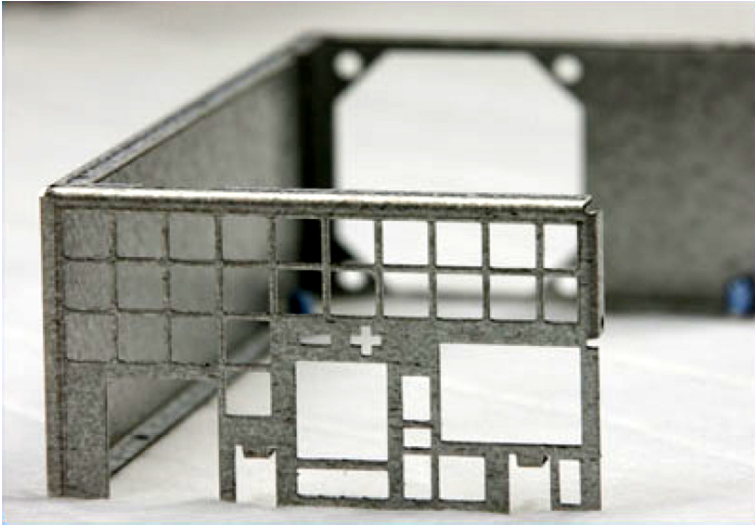
Kuva 14. Tyypillisiä plasma- tai laserleikattavia osa. Osassa on mielivaltaisia ja kaarevia muotoja, jotka soveltuvat termiseen leikkaukseen.

Putkien ja palkkien **sahaamisessa** on hyvä suosia suoria leikkauksia. Mikäli tähän ei ole mahdollisuutta, leikkauksen olisi hyvä olla suoraviivainen. On olemassa myös 3D-leikkausmenetelmiä, jotka soveltuvat putkien, putkikäyrien ja palkkien termiseen leikkaamiseen numeerisesti ohjattuna. Kun käytetään valmiita profileja, vältetään hankalilta taivutuksilta ja hitsauksista. Nämä laitteet tuottavat hyvän työlaadun ja kustannukset ovat kohtuulliset. Putkien taivuttamiseen on kohtuullisen hyvin saatavana laitteita, jotka tekevät taivutukset numeerisesti ohjattuna nopeasti ja tarkasti.

Levytyökeskus on tehokkaimmillaan silloin, kun meistettävät muodot ovat suoraviivaisia tai muutoin työkaluihin sopivia ja osaan tehdään samaan aikaan kierteitä ja muovauksia. Levytyökeskus on nopeampi ja edullisempi, kuin plasma tai laser, mikäli leikattavat muodot ovat selkeitä ja siihen soveltuvia (kuva 15, 16, 17 ja 18). Sarjakoko vaikuttaa huomattavasti niin termisessä kuin mekaanisessakin leikkauksessa osan kappalehintaan. Levytyökeskus perustuu tyypillisesti meistotekniikkaan, jossa sovelletaan yleistoleranssia SFS 5803.



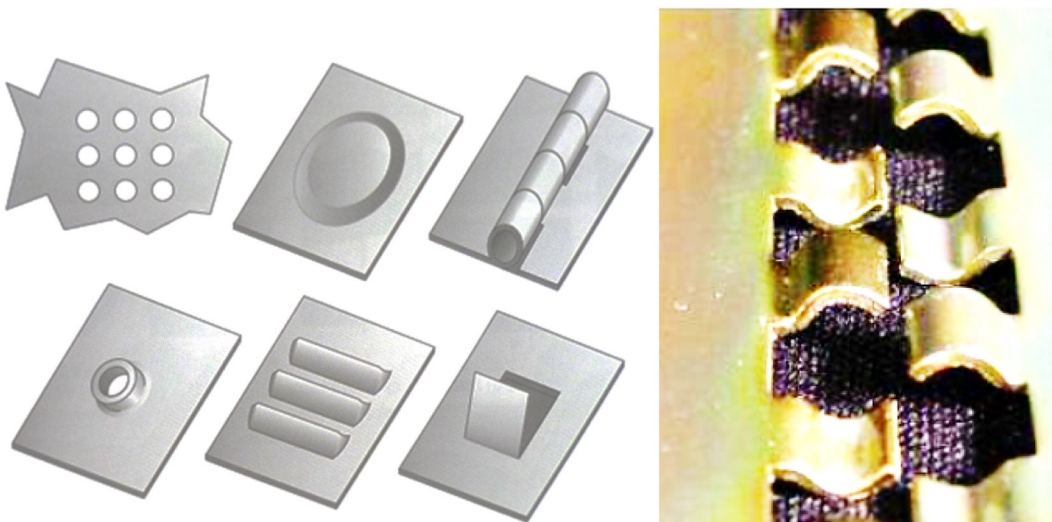
Kuva 15. Levytyökeskukselle vaadittuja rajoitteita.



Kuva 16. Tyypillinen levytyökeskuksella tehtävä osa. Piirteet ovat toistuvia ja eivät mielivaltaisia. Piirteet noudattavat käytössä olevien terien mahdollisia muotoja.



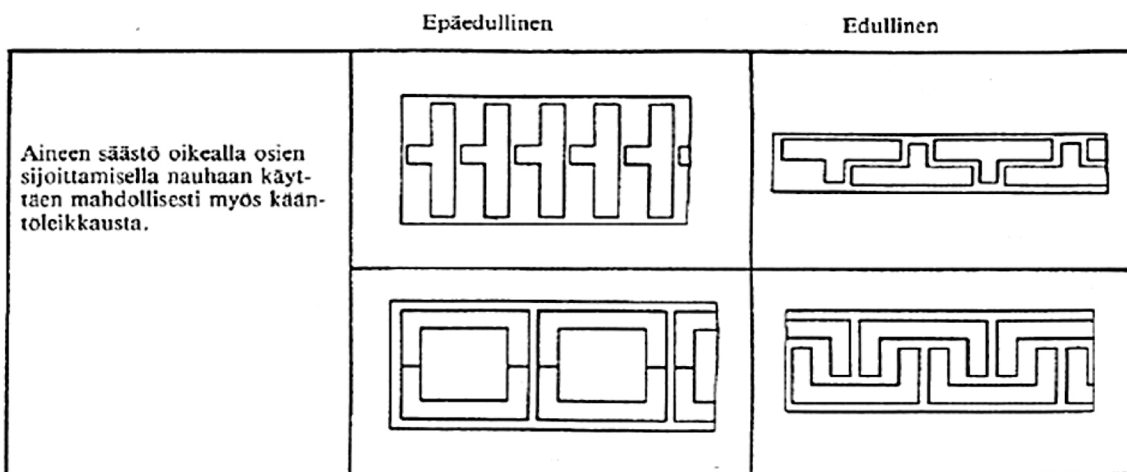
Kuva 17. Levytyökeskuksella voidaan tehdä leikkausten lisäksi myös määrättyjä muotoja ja upotuksia.



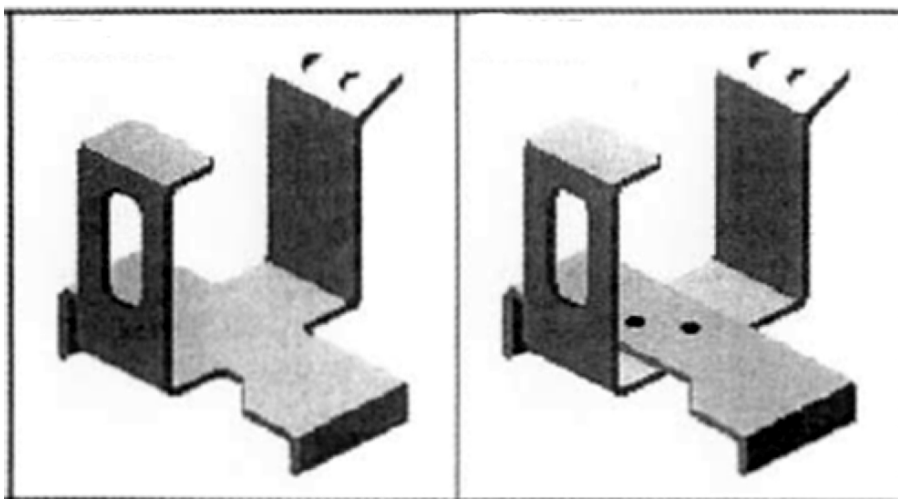
Kuva 18. Levytyökeskuksella tehtäviä lävistyksiä ja muovauksia (Matilainen ym. 2011, s. 183).

Materiaalihukka tulisi suunnitella osaan pieneksi. Tämä huomioidaan jo tuotesuunnittelu- vaiheessa. Materiaalihukka otetaan huomioon valmistussarjakokoa suunnitellessa. Kun leikkeitä asemoidaan levyille (terminen/levytyöleikkaus), tulisi kappaleiden täyttää levy mahdollisimman tehokkaasti. Osan ulkopintojen sisäinen hukka tulisi myös minimoida. Suuret reiät ja lovet tuottavat paljon hukkaa, joka veloitetaan yleensä täysimääräisenä. Osien muodot tulee perustua myös materiaalihukan minimoimiseen (kuva 19 ja taulukko 11). Levyarkin koko tulisi huomioida, jotta osa saadaan leikattua yhdestä aihioista.

Laserleikkauksessa kappaleet sijoitellaan aihiolevylle tietokoneavusteisesti käyttäen nestausohjelmistoa. Nestausohjelmistolla pyritään minimoimaan raaka-aineen hukkaan menevä osuus. Nestausohjelmisto tuottaa NC-koodin, jonka avulla leikkauslaitteisto ohjaa laserleikkuupään liikkeitä.

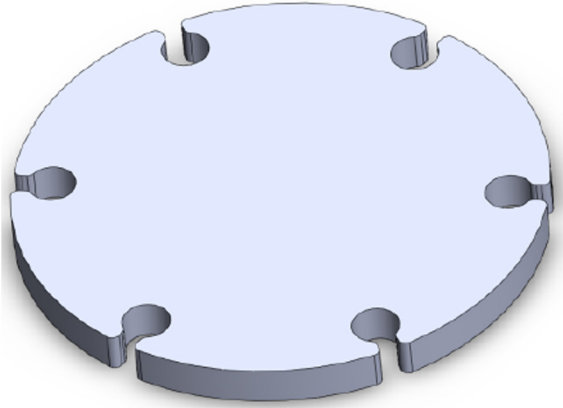


Kuva 19. Esimerkkejä kappaleen muotojen vaikutuksesta materiaalihukkaan (Honka 1980, s. 3).



Kuva 20. Materiaalihukka on oikeanpuoleisessa osassa pienempi, mutta työn ja osien määrä on suurempi.

Kuvassa 20 materiaalihukka on oikeanpuoleisessa osassa pienempi, mutta työn ja osien määrä on suurempi. Valmistussarjakoko ja työn hinta määrää, kumpi periaate tulee edullisemmaksi valmistaa. Piensarjassa vasemman puoleinen osa on edullisempi, koska materiaalin osuus kustannuksista on hyvin pieni ja työn osuus suuri (kiinteitä kuluja paljon/kpl). Liittäminen on lisätyövaihe, joka lisää työvaiheita ja sitä kautta työaikaa ja kustannuksia. Kuvassa 21 on esitetty osa, jossa reikiä varten ei tarvitse tehdä uusia aloituksia, jotka veisivät aikaa leikkauspöydällä.



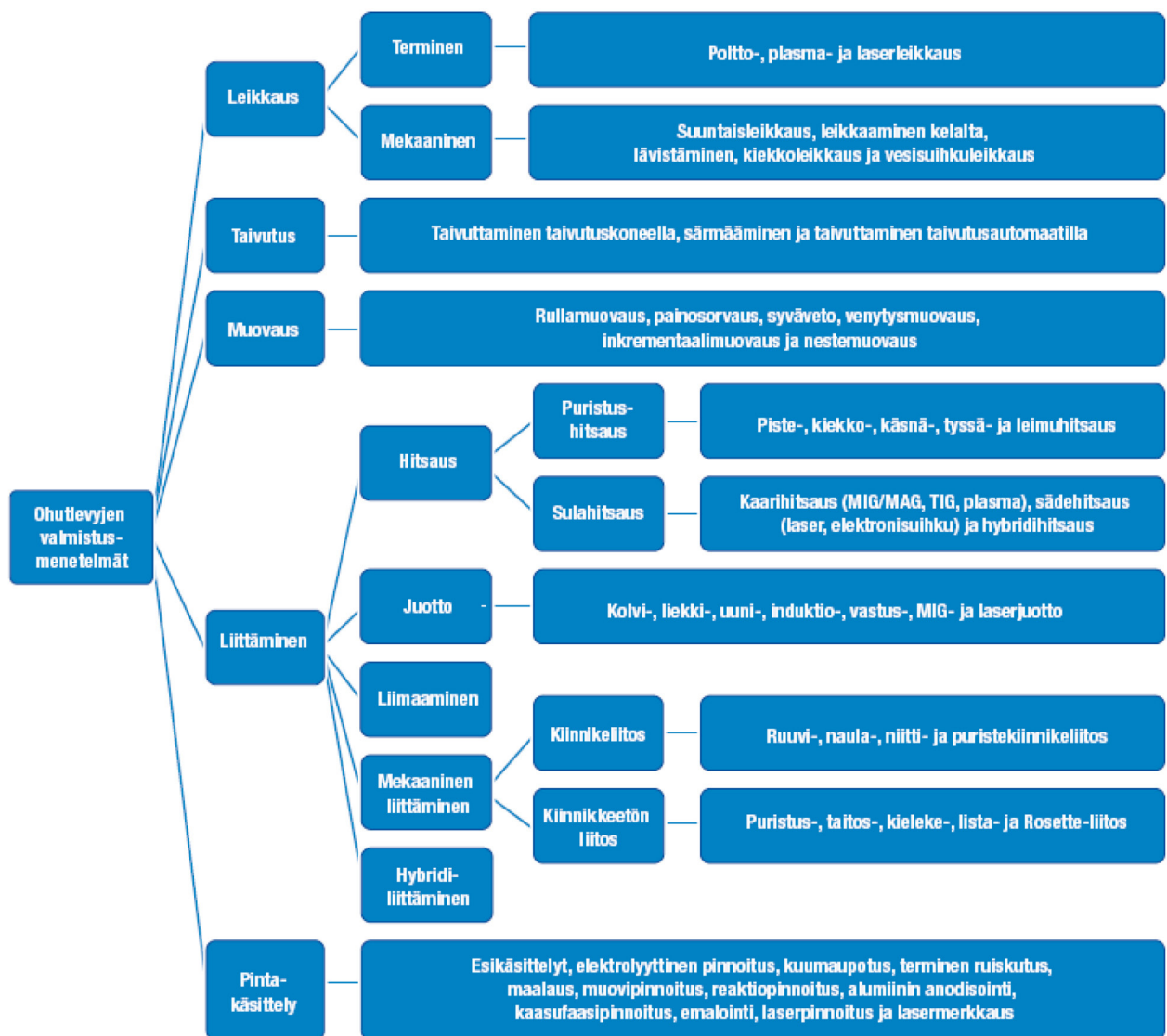
Kuva 21. Yhdellä leikkauksella tehtävä laippa.

Taulukko 11. Materiaalihukkaan voidaan vaikuttaa kappaleen muotoilulla (Honka 1980, s. 2).

	Epäedullinen	Edullinen
Mikäli tarkkuusvaatimukset sallivat, voivat käytettävät pyöristykset olla samansuuruiset jolloin säästetään ainetta.		
Pienin muutoksin saavutetaan huomattava aineen säästö, ja työkalu yksinkertaistuu.		
Tarpeettomat ulkopyöristykset lisäävät työkalun hintaa sekä ainehukkaa.		

11 Levyn taivutus eli särmäys

Ohutlevytyön suunnittelussa ei ole tarkkaa rajaa levyn paksuuden määrittelylle. Se sisältää yleisesti levyjen muokkaamisen ja muovaamisen. Onnistuneilla särmäyksillä voidaan korvata hitsejä ja yhdistää osia. Onnistunut särmäys on usein riskittömämpi, edullisempi ja tehokkaampi tapa, kuin pitkät hitsit. Osien lukumäärä vähenee, kun vähintään kaksi osaa saadaan yhdistettyä yhdeksi. Särmäyksen tulee olla helposti toteutettava ja onnistunut, jotta se kannattaa. Särmäys on melko vaikea prosessi, joka tulee tuntea hyvin ennen suunnittelua. Särmän hallinta, oikaistun pituuden laskenta ja särmäyspuristimen rajoitteet tulisi olla tiedossa. Ohutlevytyöt jakautuvat kuvan 22 mukaan useisiin menetelmiin.

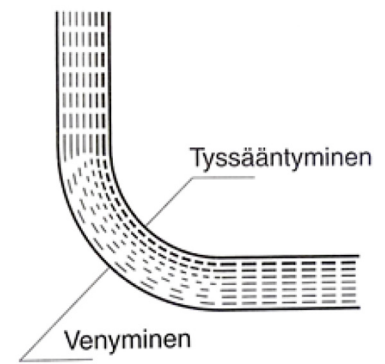


Kuva 22. Ohutlevyjen valmistusmenetelmiä (Matilainen 2010, s. 4).

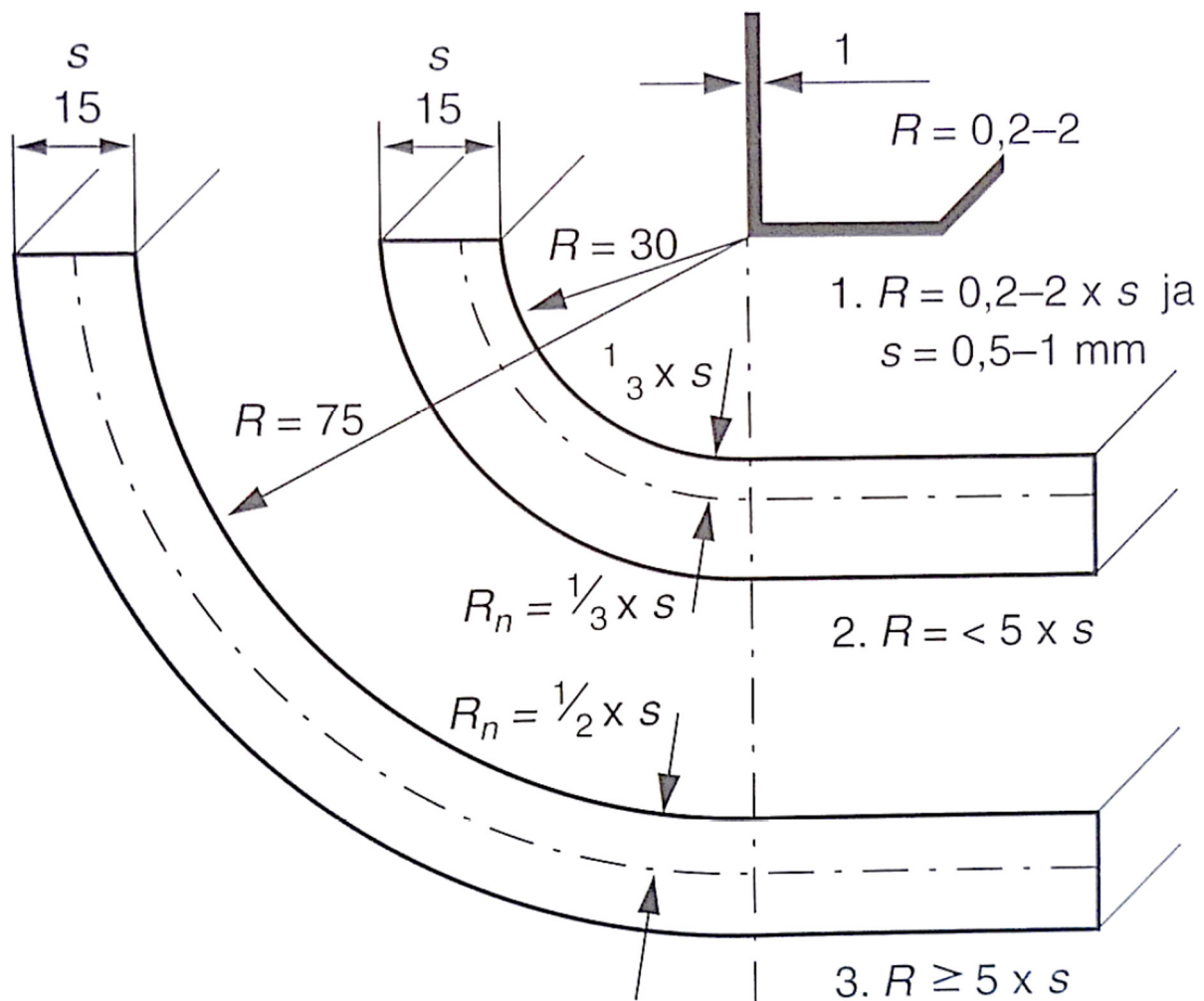
Neutraalitason paikkaa kuvaa usein k-arvo. Standardin DIN 6945 mukaan k-arvon ollessa 1, neutraalitaso on keskellä levyä. ANSI-Standardin k-arvon ollessa 0,5, neutraalitaso on keskellä levyä. Tässä on oltava erityisen tarkkana, jotta ei tapahdu puolettumista tai kertautumista. Neutraalitaso on kohta, jossa ei tapahdu venymistä tai puristumista (kuva 23).

Nyrkkisääntönä voidaan pitää seuraavaa sääntöä (kuva 24):

- 0,1-1 mm: neutraalitaso paikka on lähes sisäpinnassa, kun säde R on pieni
- 1 mm → : levyvahvuuden kasvaessa neutraalitaso siirtyy kohti 1/3 sisäpinnasta, kun säde R on < 5 x s
- 1 mm → : neutraalitaso on 1/2 sisäpinnasta, kun säde R on > 5 x s



Kuva 23. Levy tyssäntyy sisäpuolelta ja venyy ulkopuolelta taivuttaessa. Neutraalitaso on sijainti, jossa muodonmuutosta ei tapahdu teoriassa (Lepola 2009, s. 303).



Kuva 24. Neutraalitason paikka riippuu ainevahvuudesta ja särmäysäteestä (Lepola 2009, s. 303).

Suunnittelijan tulee laskea **oikaistu pituus**. Tämä on melko haastavaa silloin, jos halutaan tarkka tulos, kun osassa on useita särmiä. Oikaisukuvan avulla levy leikataan numeerisesti. Kun levyn vahvuus kasvaa, niin virheet kasvavat. Neutraalitaso kuvaa sitä kohtaa, jolla särmätty osa oikenee suoraksi sitä viivaa pitkin. Neutraalitaso on sisäpinnan ja keskipinnan välillä. Venymistä tapahtuu helpommin, kuin tyssäntymistä.

Oikaisun pituuden laskeminen särmän kohdalla:

$$BA = \pi (R + KT) A / 180, \text{ jossa}$$

BA = taivutuksen pituus

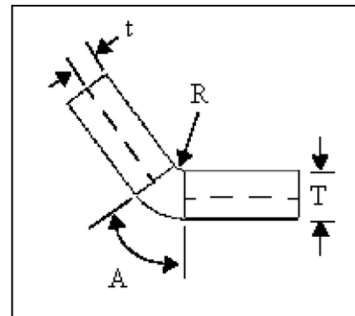
R = sisäsäde

K = K-arvo, missä se on t / T

T = materiaalin paksuus

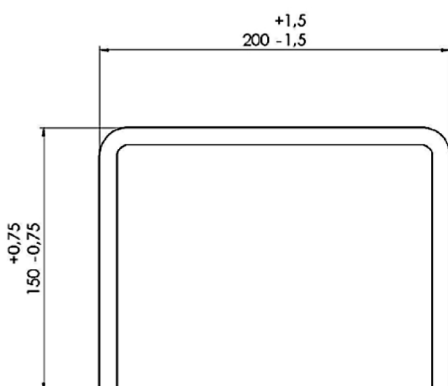
t = mitta sisäpinnasta neutraaliakseliin

A = taivutuksen kulma asteina



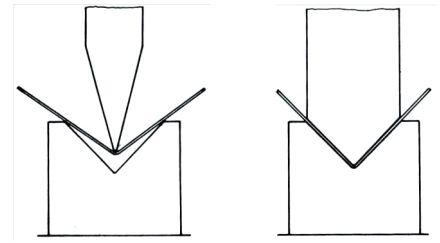
Kun osassa on taivutuksia, on taivutusparametrien oltava kunnossa CAD-ohjelmassa. Tärkeimmät tekijät taivutuksen suunnittelussa ovat k-arvon ja sisäpyöristyksen valinta. Molempien arvojen on vastattava valmistuksen todellisuutta, jotta päästään tarvittavaan valmistustarkkuuteen. Suunnittelijan on tiedettävä sen särmäyspuristimen työkalut, jolla osa tullaan taivuttamaan, jos osassa on tarkkuusvaatimuksia. Alatyökalun V-aukon leveys sekä ylätökalun pyöristys ovat merkittävimmät tekijät taivutussäteen kokoon. Mikäli jotain desimaalipyöristyksiä pitää tehdä, on turvallisempi tehdä ne alaspäin eli pienemmiksi, jotta tulevat särmättävät osat sopivat kokoonpanoon. Näin osan levitysmitat pienenevät. Myös muut tekijät kuten valssaussuunta ja materiaalin ominaisuudet vaikuttavat särmäykseen. Niitä ei yleensä huomioida karkeassa suunnittelussa. Koska valmistajat voivat muuttua tuotteen elinkaaren aikana useastikin, tulee piirustus tehdä sellaiseksi, josta selviää valmiin osan lopullinen muoto ja mitta. Myös mahdolliset valmistuksen epätarkkuudet ja virheet tulisi kertoa piirustuksessa niin, että valmistaja voi päättää, mihin mitta tai muotovirhe voidaan jättää tarvittaessa. Käytännössä tämä saadaan piirustuksessa ilmaistua toleransseilla.

Särmättävillä osilla valmistuksen tarkkuus on samaa luokkaa, kuin hitsauksessa. Levyvahvuuden ollessa alle 3 mm, tarkkuus on luokkaa 1...2 mm. Levyvahvuuden ollessa 3...10 mm, tarkkuus on luokkaa 2...4 mm. Paksummilla levyillä tarkkuudet ylittävät 5 mm. Jokainen särmiä kasvattaa valmistuksen riskejä tarkkuuden suhteen. Suunnittelijan tulisi varmistaa toleranssien onnistuminen valmistuksesta, mikäli osassa on erityisiä tarkkuusvaatimuksia (kuva 25).



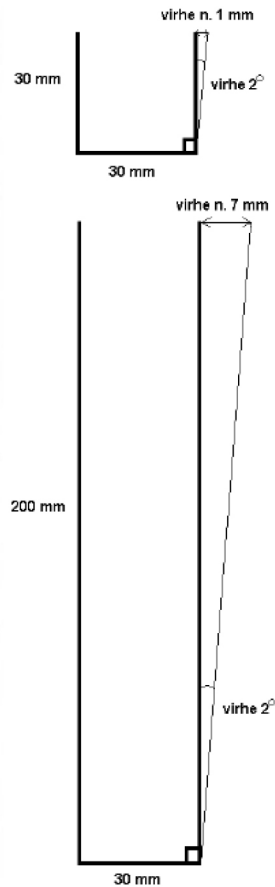
Kuva 25. Tyypillinen profiili, jolta vaaditaan tarkkaa tolerointia särmätessä.

Vapaalla taivutuksella ei päästä kovin tarkkoihin kulmatarkkuuksiin varsinkin, jos osaan tulee useampia taivutuksia. Tasamittaiset taivutukset kuten 90° tai 45° voidaan tehdä pohjaan iskuperiaatteella, jolloin tarkkuus on parempi. Työkaluvalikoima määrittelee pohjaan iskun kulmat. Takaisinjouston hallinta tekee kulmatarkkuuden haastavaksi. Vapaa taivutus on menetelmistä suositumpi joustavuuden, yksinkertaisten standardityökalujen, sekä helpon automatisoinnin vuoksi. Vapaa taivutuksessa levyaihio taipuu niin sanottuna kolmipistetäivutuksena ylätyökalun ja vastimen välissä. Tällöin taivutettava levy ei kosketa vastimeen kokonaan, vaan niiden väliin jää ilmarako (kuva 26). Taivutuksessa käytetään tyypillisimmin teräviä, yli 90° kulmia niin painimessa kuin vastimessakin, jolloin taivutettava kulma saadaan halutuksi ainoastaan ylätyökalun iskunpituutta säätämällä (Laherto 2003).



Kuva 26. Vapaataivutus ja pohjaanisku periaatekuva. Vapaataivutuksessa sisä-R muodostuu V-aukon leveyden, materiaalin ja materiaalipaksuuden perusteella. Pohjaaniskussa sisä-R muodostuu terän mukaan. (Haikonen 1979, s. 22).

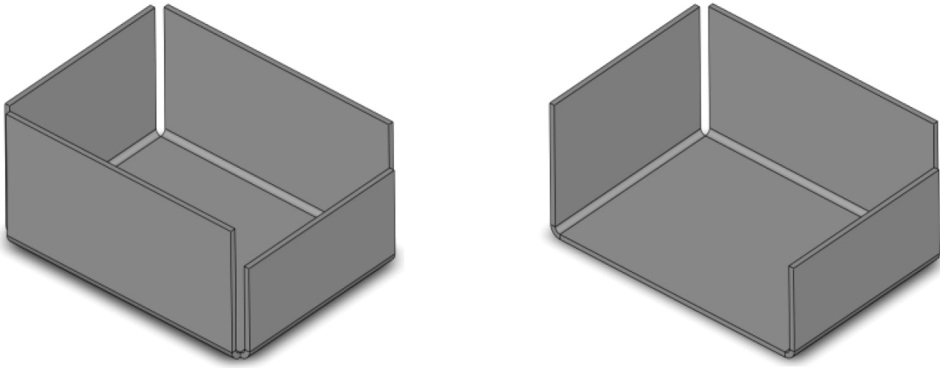
Minimitaivutussäde lujuus (N/mm ²)	toleranssit
...400	+ 0,5 (mm)
400...500	+ 0,8 (mm)
500...650	+ 1,0 (mm)
Kulmatoleranssit lyhyempi kylkipituus (mm)	toleranssit
- 30	± 2°
30...50	± 1°45'
50...80	± 1°30'
80...120	± 1°15'
yli 120	± 1°
Muut mitat nimell.mitta (mm)	toleranssit
alle 10	± 0,4 (mm)
10...50	± 0,5 (mm)
50...180	± 0,7 (mm)
180...500	± 0,9 (mm)
500...1250	± 1,2 (mm)
1250...2500	± 1,5 (mm)
2500...4000	± 2 (mm)
4000...6300	± 2,5 (mm)
6300...10000	± 3 (mm)



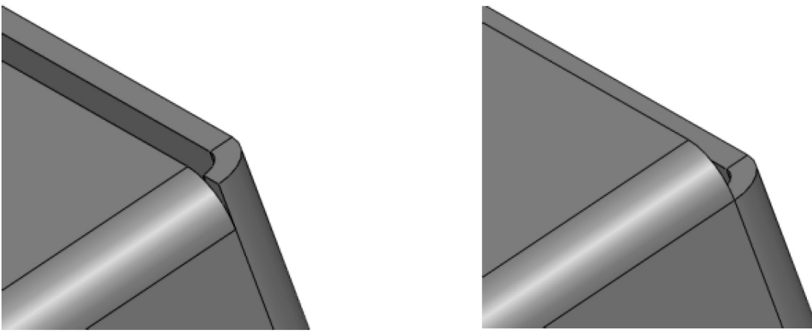
Kuva 27. Tavallisilla menetelmillä saavutettavat toleranssit (Haikonen 1979, s. 29).

Särmättävä osa tulisi suunnitella niin, että yläterän pituutta ei tarvitse säätää kovin tarkasti. Särmätyn päädyn tulisi olla avoin, jotta yläterä pääsisi tulemaan osan ohitse. Suljetut rakenteet aiheuttavat asetuksien vaihtamista, joka lisää läpimenoaikaa. Aina ei voida välttyä näiltä, joten pyri vakioimaan ainakin samassa kappaleessa suljettujen särmäyksien pituudet.

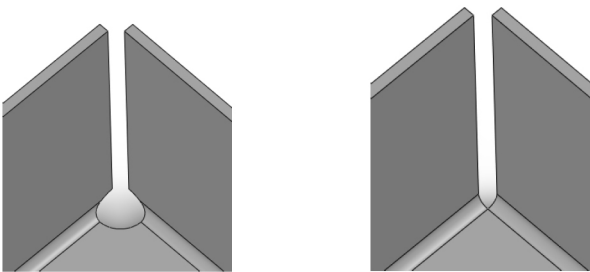
Pyri siihen, että osassa on samalla terällä ja asetuksilla tehty särmäykset. Käytä samoja sisäseteitä ja taivutuskulmia. Pyri minimoimaan erilaiset piirteet ja muodot. Suosi väljää mitoitus, jotta yhteentörmäyksiä ja ahtauksia ei tulisi särmäyksen aikana. Kuvissa 28 – 38 on esitetty taivutukseen liittyviä vinkkejä parempaan valmistettavuuteen sekä soveltuvia särmäysjärjestyksiä.



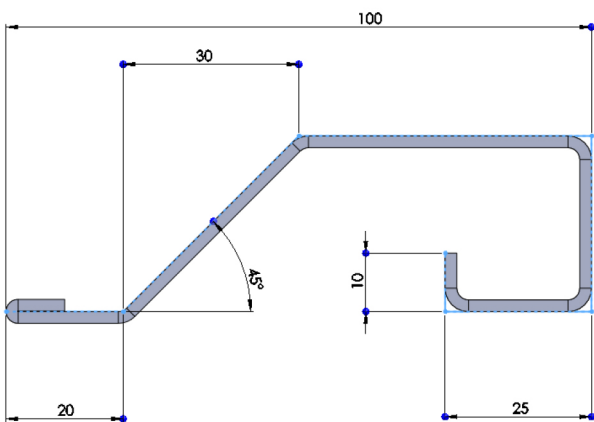
Kuva 28. Suljettu ja avoin osa. Avoimet särmäykset sallivat ylipitkän yläterän, joten terän pituutta ei tarvitse välillä säätää.



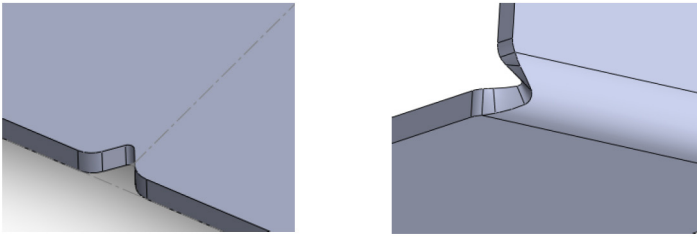
Kuva 29. Särmäyksen sijoittaminen levyn sisälle on epäedullista (vasen kuva), jossa tarvitaan ns. repäisy. Oikeassa kuvassa särmäykselle jää tilaa taipua.



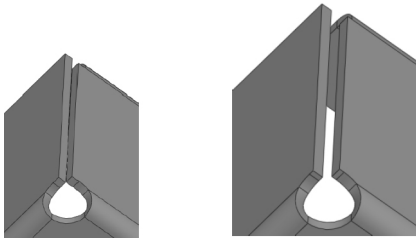
Kuva 30. Nurkassa oleva helpotus voi olla myös tarvittava vesireikä.



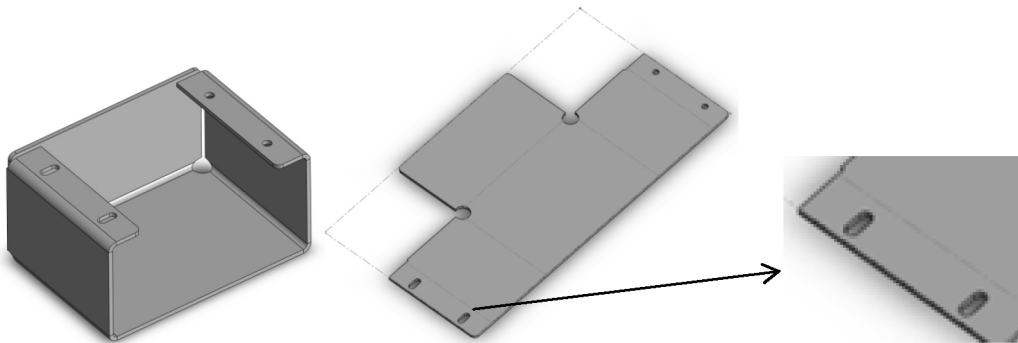
Kuva 31. Huomioi särmäyksen väliset mitat riittävän suuriksi. Katso vähimmäismitat särmäyspuristimesta (laipan pituus). Alaterän leveyden valinta vaikuttaa laipan vähimmäismittoihin. Yläterän muoto vaikuttaa taskujen syvyyksiin.



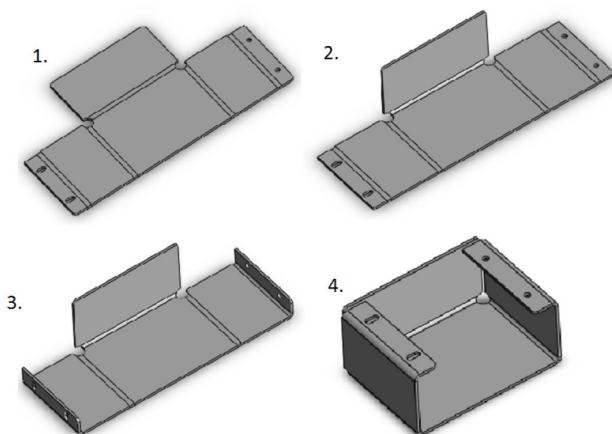
Kuva 32. Särmäyksen keskikohtaan voi leikkeessä tehdä merkin, jos särmäyksessä ei käytetä takavastetta esim. vinojen muotojen takia.



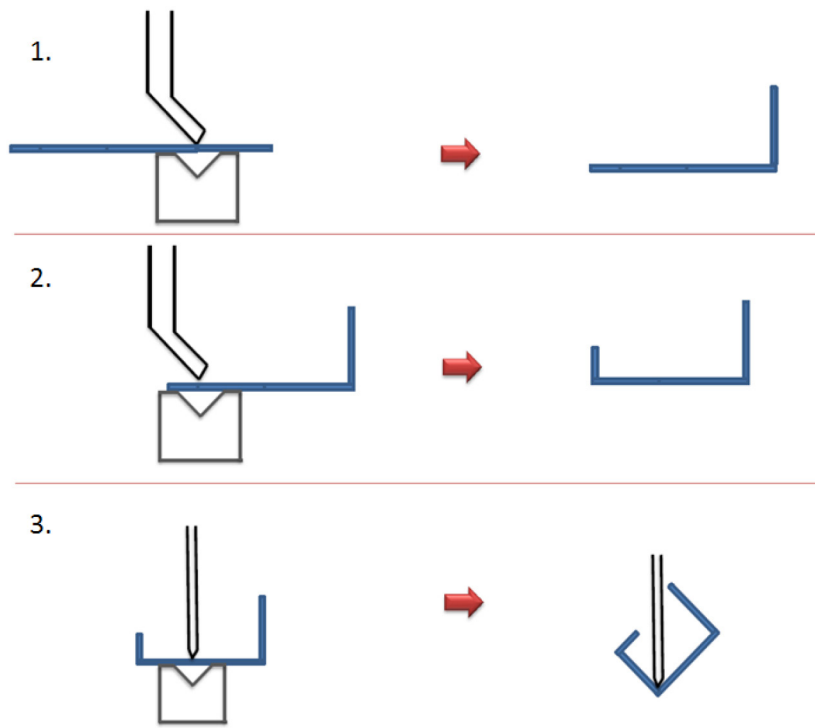
Kuva 33. Nurkkaan on hyvä jättää väljyyttä, jotta särmätessä ne eivät törmäisi toisiinsa. Sopiva välimitta on 0,5...1 x s.



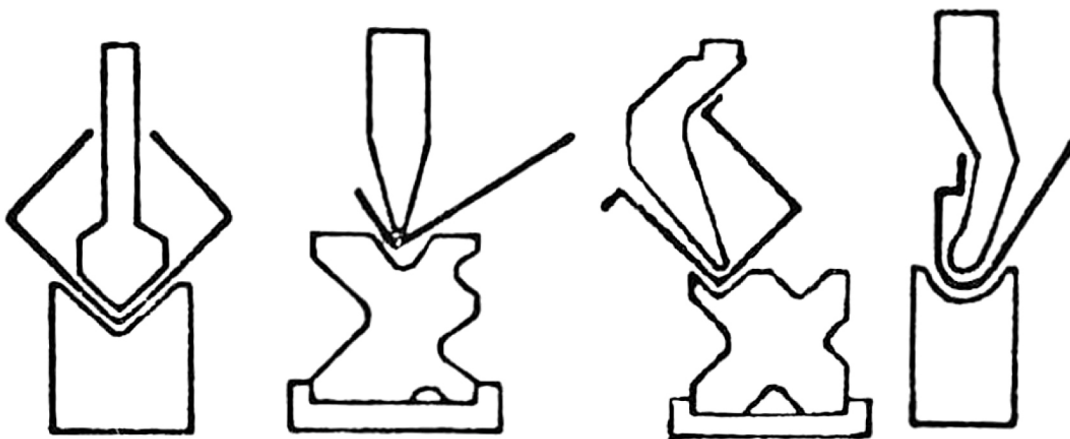
Kuva 34. Kiinnitysreikiin on tarpeellista tehdä soikeutta, jotta valmistuksen epätarkkuudet saadaan kompensoitua kokoonpanovaiheessa. Huomaa pyöristetyt nurkat siellä, missä nurkka jää särmäyksen jälkeen näkyville. Oikealla kappale levitettyä.



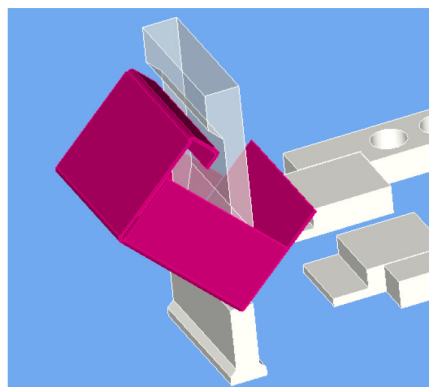
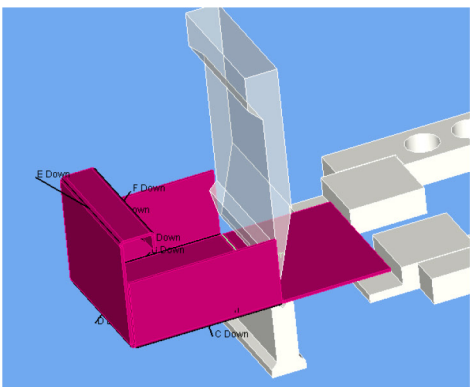
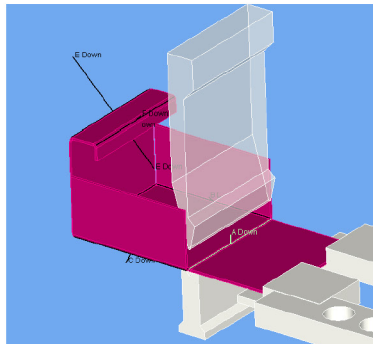
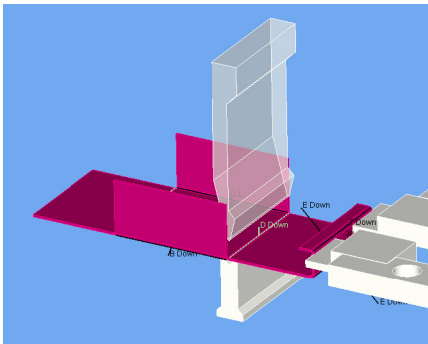
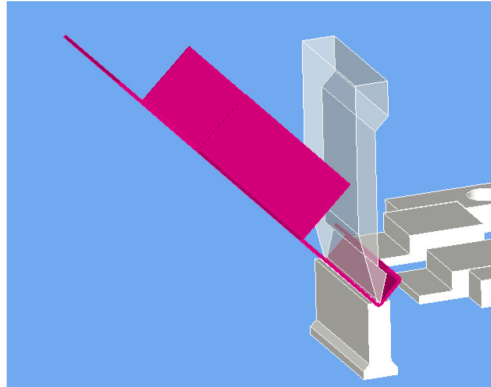
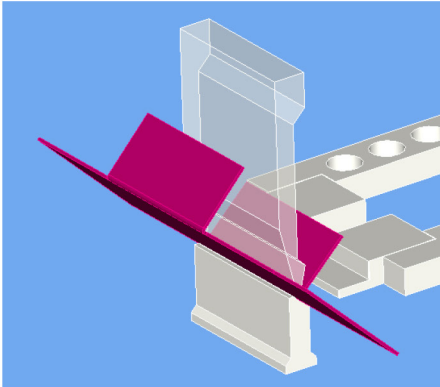
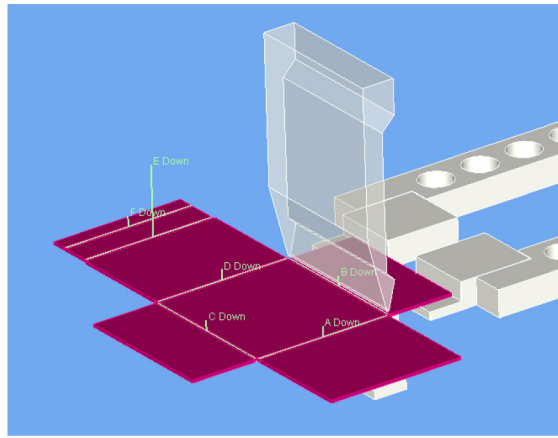
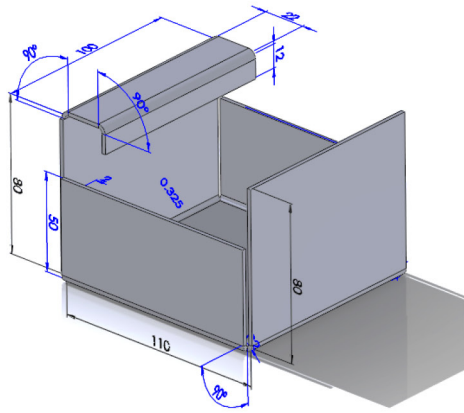
Kuva 35. Särmättävän kappaleen särmäysjärjestys. Ensin aloitetaan ulkolaidoilta ja edetään sisäsärmiin. Yläterän pituus voi olla ylipitkä tämän osan särmäyksessä.



Kuva 36. Särmäysjärjestys. Alaterän leveys ja yläterän muoto vaikuttavat särmättävän kappaleen mahdolliseen muotoiluun ja mittasuhteisiin.



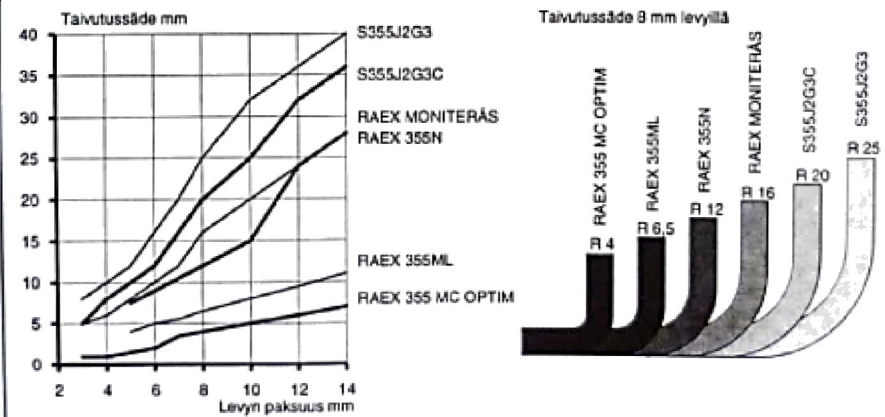
Kuva 37. Erilaisia särmäyspuristimen työkaluja. Huomaa työkalun vaikutus mahdolliseen särmättävän kappaleen muotoon ja mittasuhteisiin (Haikonen 1979, s. 27).



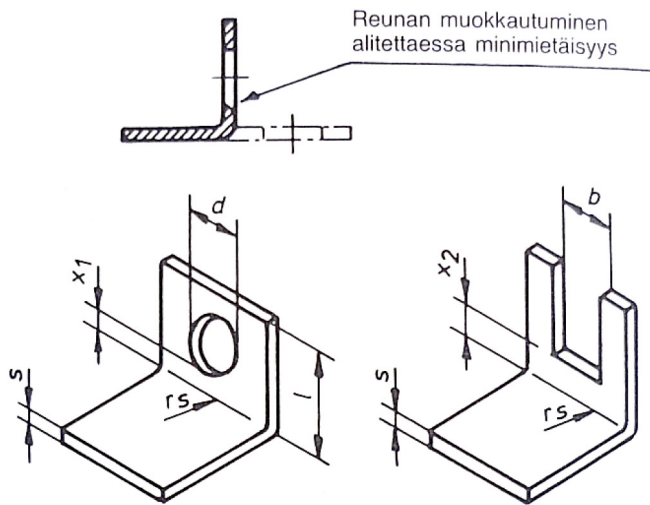
Kuva 38. Laatikon särmäysjärjestys ja mahdolliset muodot.

Taulukko 12. Pienimmät sallitut sisätaivutussäteet eri materiaaleilla (Lepola 2009, s. 302).

Teräslaji	Särnä valssaus-suuntaan nähden	Finin sallittu sisäpuolinen taivutussäde nimellispaksuuksilla mm												
		≤ 2,5	> 2,5 ≤ 3	> 3 ≤ 4	> 4 ≤ 5	> 5 ≤ 6	> 6 ≤ 7	> 7 ≤ 8	> 8 ≤ 10	> 10 ≤ 12	> 12 ≤ 14	> 14 ≤ 16	> 16 ≤ 18	> 18 ≤ 20
S235JRG2C	pokittain	2,5	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	36,0	40,0
	pitkittäin	2,5	3,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	32,0	40,0	45,0
S275JRC	pokittain	3,0	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	32,0	40,0	45,0
	pitkittäin	3,0	4,0	6,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	40,0	45,0	50,0
S355J2G3C	pokittain	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	45,0	50,0
	pitkittäin	4,0	5,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	32,0	36,0	40,0	50,0	63,0
RAEX PERUSTERÄS RAEX MONITERÄS	kaikissa suunnissa	2,5	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	28,0	36,0	40,0
RAEX 235NL RAEX 235NL ARCTIC	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
RAEX 275NL RAEX 275NL ARCTIC	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0
RAEX 355N RAEX 355NL RAEX 355NL ARCTIC	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0
RAEX 420N RAEX 420NL	kaikissa suunnissa	-	-	-	7,5	9,0	10,5	12,0	15,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0
RAEX OPTIM Nauhatuotteet														
RAEX 315 MC OPTIM	kaikissa suunnissa	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	3,0	3,5	4,5	5,0	6,0	6,5	-	-
RAEX 355 MC OPTIM		0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	-	-
RAEX 420 MC OPTIM		1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	5,5	6,5	8,0	9,5	11,0	-	-	-
RAEX 460 MC OPTIM		1,2	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5	7,5	9,5	11,0	-	-	-	-
RAEX 500 MC OPTIM		2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	10,5	12,0	-	-	-	-
RAEX 550 MC OPTIM		2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,5	9,5	-	-	-	-	-	-
RAEX 600 MC OPTIM		2,5	3,0	6,0	7,5	9,0	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-
RAEX 650 MC OPTIM		3,7	4,5	6,0	7,5	9,0	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-
RAEX 700 MC OPTIM		-	4,5	7,0	9,0	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
RAEX OPTIM Kvartituotteet														
RAEX 355 MC OPTIM	kaikissa suunnissa	-	-	-	4,0	5,0	5,5	6,5	8,0	9,5	11,5	13,0	14,5	16,0
RAEX 420 MC OPTIM	suunnissa	-	-	-	-	-	-	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0
Tunnukselta C merkityjen terästen ja RAEX-terästen särmällisyys taataan taulukon mukaan. Ilman C merkintää olevien rakenneterästen pienimpänä taivutussäteenä käytetään yhtä levyn paksuusluokkaa suuremmasta sarakkeesta valittua arvoa.														
ESIMERKKI TAIVUTUSSÄTEEN MUUTTUMISESTA SAMAN MYÖTÖLJUUSLUOKKAN TERÄKSILLÄ														



Särmäyksen sisäsäde tulee valita niin, että se ei ole liian pieni tai suuri. Levy menettää lujuutta, ja särmäys vaikeutuu, jos sisäsäde on pieni. Levy repeytyy ulkopinnasta, jolloin siihen tulee halkeamia. Kuvassa 39 on esitetty loven suunnitteluun mitoittamisohjeita.



Pyöreille rei'ille:

$$X_1 = \sqrt{d \cdot s} + 0,8 \cdot r_s \sqrt{\frac{1}{d}} \text{ (mm)}$$

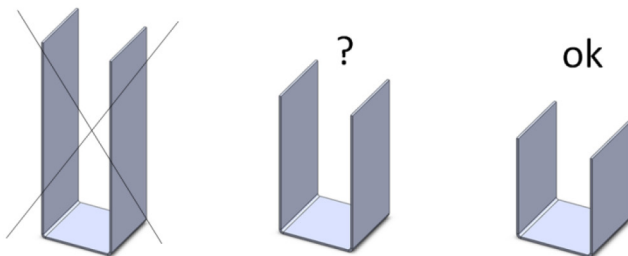
Loveuksille ja nelikulmaisille rei'ille:

$$X_2 = 1,1 \sqrt{b \cdot s} + 0,8 \cdot r_s \sqrt{\frac{1}{d}} \text{ (mm)}$$

x_1, x_2 minimietäisyys
 b loveuksen leveys
 d reiän halkaisija
 r_s sisäpuolinen taivutussäde
 s levypaksuus
 l laippakorkeus

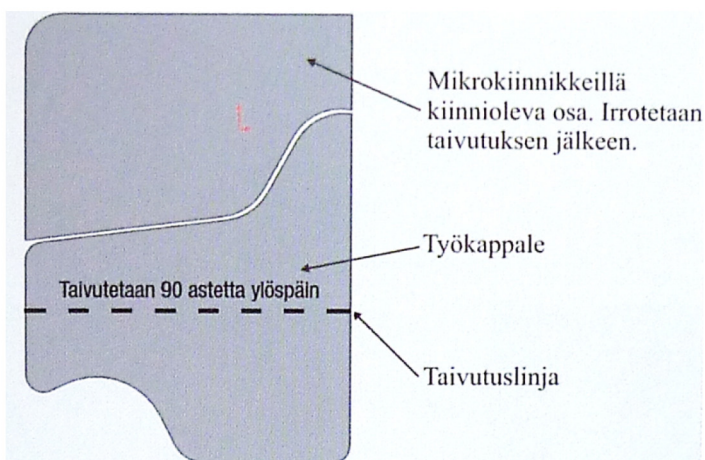
Kuva 39. Reiän ja loven minimietäisyydet taivutuskohdasta, jotta reiän tai loven reuna ei muuttaisi muotoaan (Karpinen 1986, s. 44).

Taivutukseen tarvittava voima ja laippojen pienin ja suurin sallittu mitta tulisi olla tiedossa särmäystä suunniteltaessa. Mitä paksumpi ja pidempi levy sekä pienempi sisätaivutussäde, sitä suurempi särmäysvoima tarvitaan. Taivutettavan osan täytyy olla mittasuhteiltaan särmäyssterille sopiva, jotta taipuneet laipat eivät törmäisi teriin (kuva 40).



Kuva 40. Syviä särmättäviä kotelorakenteita tulisi välttää. Viimeisen laipan särmäyksessä laippa ottaa kiinni yläterään. Sallittu laipan korkeus tulee tarkistaa särmäyspuristimesta ja yläterän muodosta.

Mikrokiinnikkeillä kiinni oleva osa voidaan taivuttaa käsin (kuva 41), jos se on vaikeaa särmäyspuristimella ja hitsata tarvittava lujuus liitokseen. Tällä periaatteella voidaan vähentää nimikkeitä.



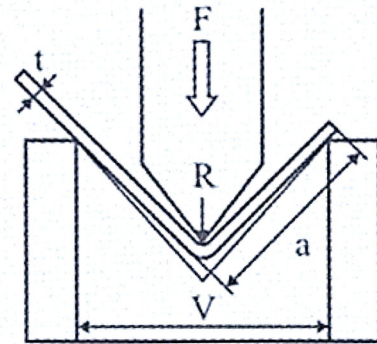
Kuva 41. Leikattavaan ja taivutettavaan osaa voidaan liittää mikrokiinnikkeillä muita osia, jotka helpottavat taivuttamista tai se kulkee mukana toisessa osassa (Matilainen 2010, s. 263 muunneltu).

12 Taivutuksen suunnittelu (vapaa taivutus)

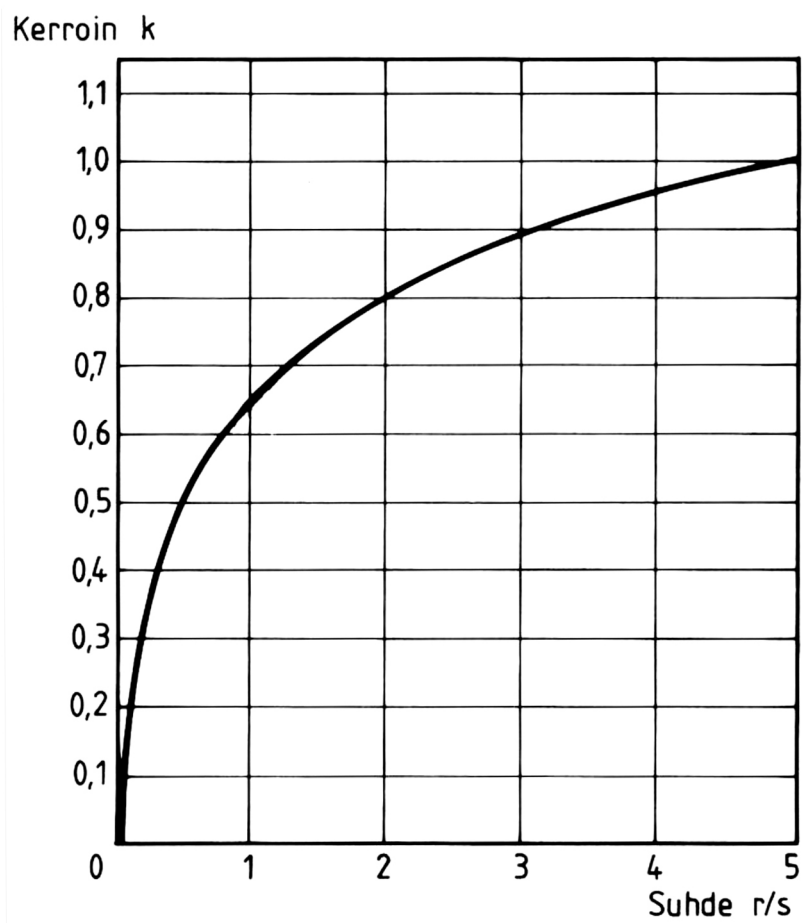
Etsi taulukosta 13 osan levyvahvuus t pystyriviltä, ja valitse riviltä laipan pituus [mm] ja sitä vastaava alaterän leveys V ja sitä vastaava taivutussäde R . Tämä on vapaan taivutuksen sisätaivutussäde, joka muodostuu särmätessä. Huomaa pienin laipan pituus a alemmalta riviltä, sekä vapaan taivutuksen sisäsäde R verrattuna V -aukon leveyteen.

Taulukko 13. Särmäyksen tarvittava puristusvoima, laipan pituudet, särmäyssäteen ja alaterän leveydet eri muuttujille materiaalin murtolujuuden ollessa 420 N/mm^2 (Matilainen 2010, s. 4, muunneltu).

V	6	8	10	12	16	18	20	24	25	32	35	40	50	60	63	80	100	120	130	140	150	160	180	190	200	230	260	290	320					
R	1	1,2	1,6	2	2,5	2,8	3	3,5	3,5	5	5,5	6	8	9,5	10	12	15,5	19	21	23	24,5	26	28	30	32	36	40	45	50					
t	F/a	F = Taivutusvoima [kN] taivutuspituuden ollessa 1 m a = Pienin laipan pituus [mm]																																
0,5	25																																	
	4,3																																	
0,8	70	48																																
	4,6	6,7																																
1	115	80	60																															
	5	6	7																															
1,2		120	90	70																														
		6	7,5	8,5																														
1,5			150	120	80																													
			8	9	11,5																													
2,0				235	160	135	120	95																										
				10	12	13	14,5	17																										
2,5					265	225	200	155	150	110																								
					12,5	14	15,5	17,5	18	23																								
3,0						300	240	225	165	145	125																							
						15,5	17,5	18,5	23,5	25	28																							
4,0							440	315	280	235	180																							
							19,5	25	26	29	35																							
5,0								535	470	430	310	250																						
								26	28	31	35,5	43																						
6,0									610	450	360	340																						
									32	36	44	45																						
8,0										880	690	650	470	360																				
										40	46	48	57	71																				
10												1100	800	600	470	430	390																	
												50	60	71	85	92	100																	
12													1200	900	710	650	580	550	500															
														62	73	86	92	100	105	115														
16															1400	1250	1150	1050	950	810	800	710	600											
															90	98	105	110	115	130	135	140	160											
18																1480	1350	1250	1100	1000	950	800	700	600										
																105	110	120	130	135	140	160	180	205										
20																	1400	1300	1200	1000	900	850	700											
																	135	140	145	165	180	205	225											



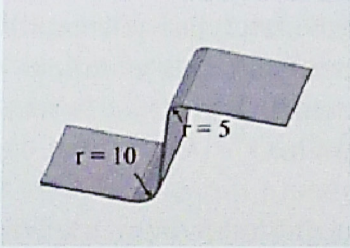
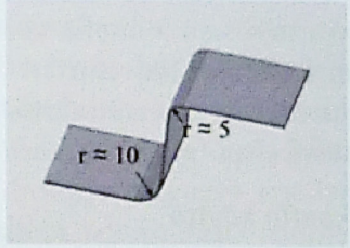
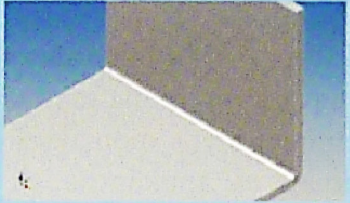
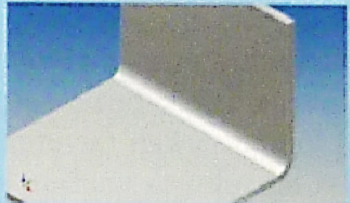


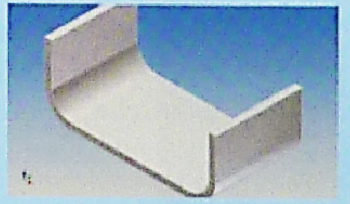
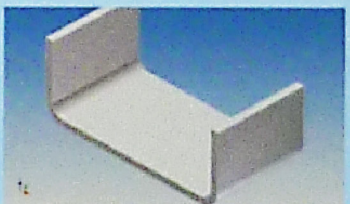
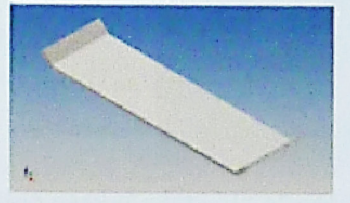
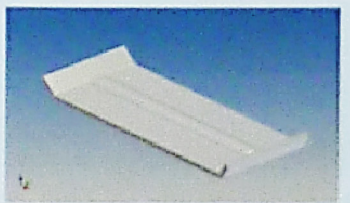
Katso k -arvokuvasta 42 neutraalitasen paikka levyn poikkipinnassa. $r = R =$ taivutussäde ja $s = t =$ levyvahvuus. Kun käytät CAD-ohjelmistoa, jossa arvolla 0,5 neutraalitaso on keskellä, jaa taulukon arvo kahdella. Esim. taulukossa r/s on 2 $\rightarrow k=0,8$, joka jaetaan kahdella; CAD:lle arvo on $k=0,4$, eli neutraaliakseli on hieman keskilinjan sisäpuolella.







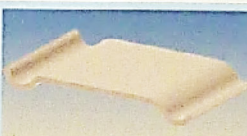



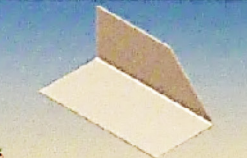



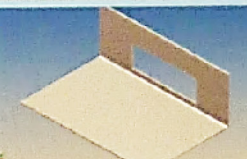

Kuva 42. Neutraalitason paikka k-arvolla kuvattuna standardin DIN 6945 mukaan. Tässä kuvassa k-arvon ollessa 1, neutraalitaso on levyn keskellä (Karppinen, 1986, s. 15).

13 Taivutuksien suunnittelusääntöjä

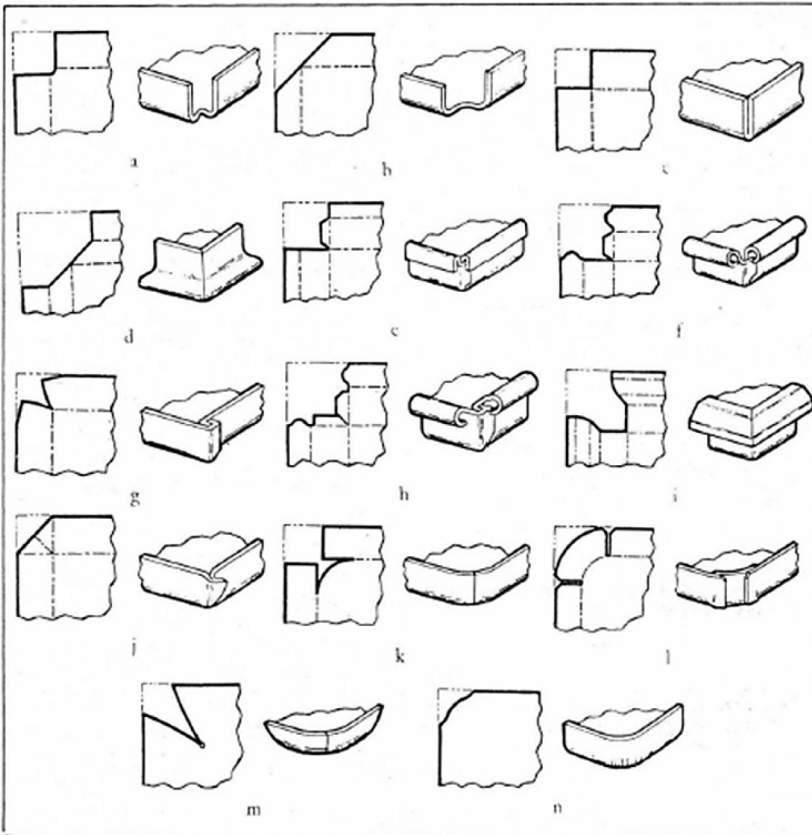
Seuraavana on esitelty ohutlevyjen suunnittelusääntöjä lähinnä taivutuksen osalta kuvissa 43 - 46.

Huomio	Epäedullinen muoto	Edullinen muoto
<p>Yleensä konstruktioit on mahdollista suunnitella siten, että taivutussäteiden ei tarvitse olla tarkkoja. Useissa levyosissa toiminnalliset ehdot täyttyvät likimääräisillä pyöristyksillä. Tällöin voidaan käyttää vapaata taivutusta ja erikoistyyökaluja ei tarvita.</p>		
<p>Liian terävien kulmien taivuttaminen aiheuttaa murtumisvaaran. Terävän kulman taivuttaminen on tehtävä pohjaaniskutyökalulla.</p>		
<p>Murtumisvaara on ilmeinen, kun levyn kyljet painetaan yhteen 180° taivutuksessa. Taive on hyvä jättää hieman avoimeksi, jolloin taivutussäde jää suuremmaksi.</p>		
<p>Takaisinjousto on voimakkaampaa yli 90° kulmilla. Liian suuret säteet lisäävät takaisinjousto.</p>		
<p>Suurille taivutussäteille taivutettavat ohuet levyosat jäävät lerpuiksi. Suoriksi jäävät tasot voidaan jäykistää vako- ja ura muodoilla.</p>		

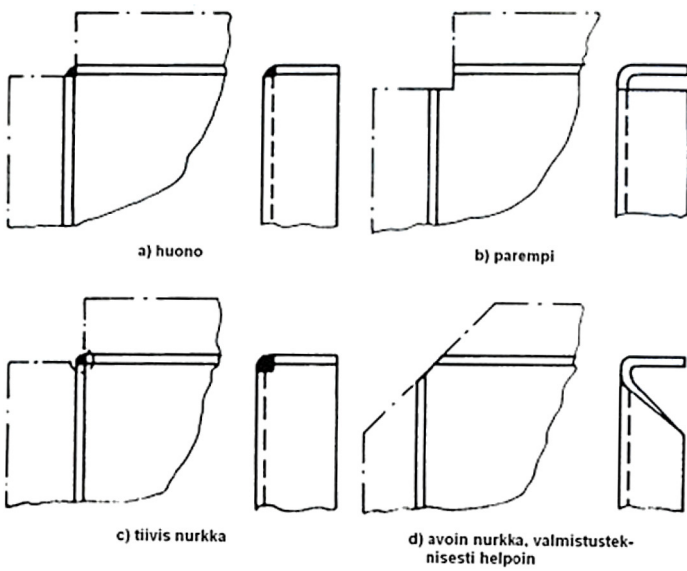
Kuva 43. Suunnittelusääntöjä taivutuksessa (Matilainen 2010, s. 264).

<p>Taivutettavan levyreunan pituus on valittava riittävän suureksi.</p>		
<p>Kotelomaissa rakenteissa on auki jäävä väli jätettävä riittävän suureksi, jotta taivuttaminen on yleensä mahdollista ja vältetään erikoistyökalujen käyttöä.</p>		
<p>Reunojen profiilit on pyrittävä suunnittelemaan samanlaisiksi (symmetrisiksi), jotta taivutus voidaan suorittaa samoilla työkaluilla ja samalla työkaluasetuksella.</p>		
<p>Taivutukset eivät saa muuttaa kulmaa tai muita liittymäkohtia levyihin muihin sivuihin. Muuten materiaali venyy tai puristuu taivutuslinjojen läheisyydessä, mikä voi johtaa repeämiseen. Helpotuksina toimivien pykälysten ja lovien mitoitus $x = 1,5 * s$, missä s = levynpaksuus.</p>		
<p>Sivujen liittymäkoncat on suunniteltava kohtisuoriksi toislaan vasten, vaikka taivutettavan sivun reuna olisi vino. Liittymävara taivutusviivoihin $L_{min} = 0,5W + s$, missä W = alatyökalun leveys ja s = levynpaksuus.</p>		
<p>Lyhyttä laipankorkeutta (y) on vältettävä ja levyn reuna on suunniteltava mieluummin taivutuslinjan toiselle puolelle. $X_{min} = (1 \text{ tai } 1,5) * s$, missä s = levynpaksuus.</p>		
<p>Lyhyttä laipankorkeutta (y) on vältettävä ja reiät ja aukot on suunniteltava taivutuskohdan ympärille. $X_{min} = (1 \text{ tai } 1,5) * s$, missä s = levynpaksuus.</p>		

Kuva 44. Suunnittelusääntöjä taivutuksessa (Matilainen 2010, s. 265).



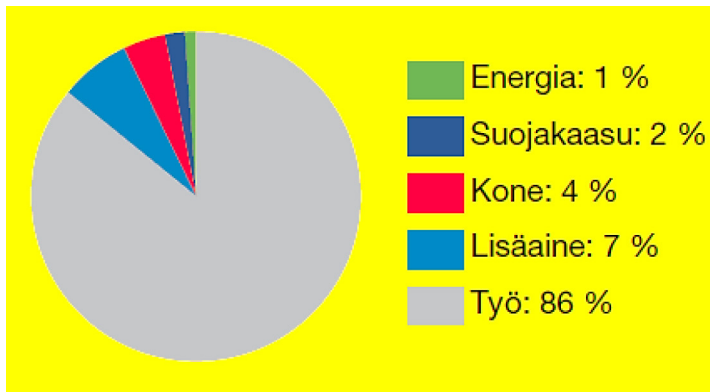
Kuva 45. Erilaisten nurkkien taivutusperiaatteita (Karppinen 1986, s. 44).



Kuva 46. Särmättävän nurkan loveusvaihtoehtoja (Haikonen 1979, s. 20).

14 Hitsaukset ja liitokset

Työaika on yleensä kustannuksia määräävä tekijä käsin hitsauksessa. Jopa 80 % hitsauskustannuksista muodostuu työstä (kuva 47). Tämän vuoksi on kiinnitettävä erityistä huomioita siihen, että hitsaustyö sujuu mahdollisimman sujuvasti. Kaariaika tulisi olisi mahdollisimman suuri suhteessa työaikaan. Hitsausasentoja ja hitsejä tulisi olla mahdollisimman vähän. Osien asemoinnin tulisi olla itsepaikoittuvaa, jotta vältytään mitta- ja paikoitusvirheiltä.



Kuva 47. Tyypillisen MAG-hitsauksen kustannukset pienahitsauksessa, jossa työkustannukset muodostavat ylivoimaisen valtaosan (Hitsaustekniikka 3/2011, s. 4)

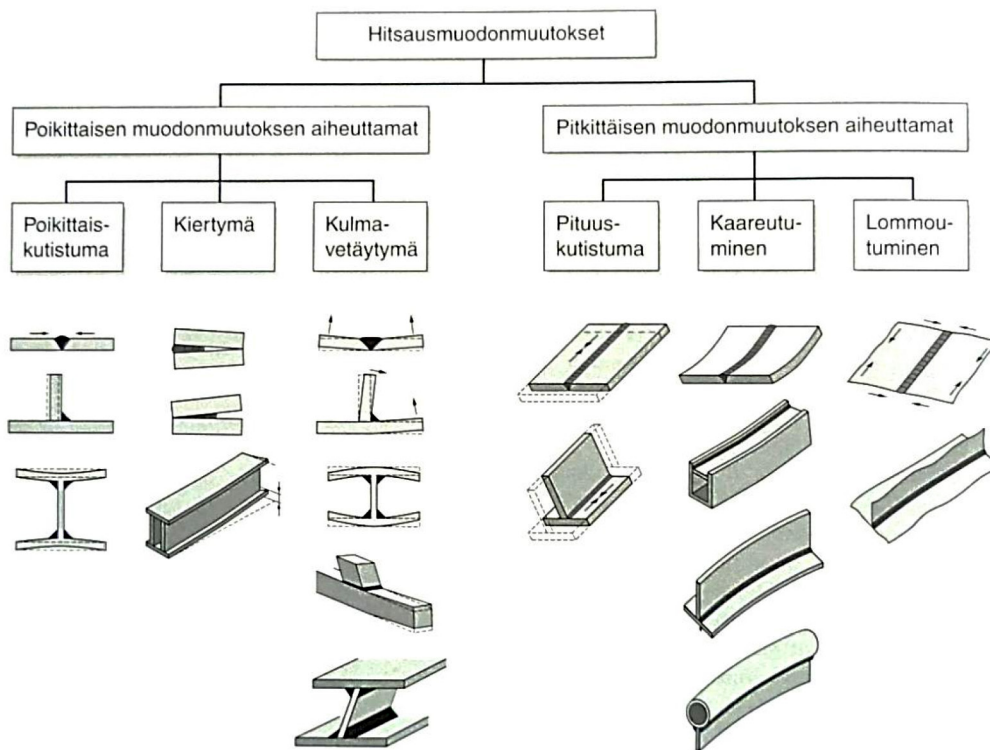
Hitsausliitoksia tulisi suunnitella rakenteeseen mahdollisimman vähän. Hitsauksia saa vähennettyä käyttämällä taivutettuja osia ja profileja, sekä vähentämällä osien lukumäärää. Jokainen liitos on kustannus ja riski. Hitsaukset tulisi sijoittaa sinne, missä jännitykset ja siirtymät ovat pieniä (kuva 48). Hitsiin jäänyt vetojännitys ja tuotu lämpö pyrkivät aiheuttamaan rakenteeseen muodonmuutoksia (kuva 48, 50 ja 51). Hitsin sijoittelulla, hitsausjärjestyksellä ja hitsin koolla ja muodolla voidaan vaikuttaa muodonmuutoksiin. Pyri sijoittamaan hitsit helposti tavoiteltaviin paikkoihin. Syvät taskut ja onkalot ovat epäedullisia.

Suunnittelijan on syytä tunnistaa liitostyyppit, jotka ovat:

- voimaliitos (välittää kuormat)
- kiinnitysliitos (leikkauskuormitus, osat pysyvät kiinni toisissaan)
- sideliitos (rakenteiden tukiosien liitokset)
- varusteluliitos (hydrauliikka, sähkö, putkikiinnikkeet, kaiteiden laput).

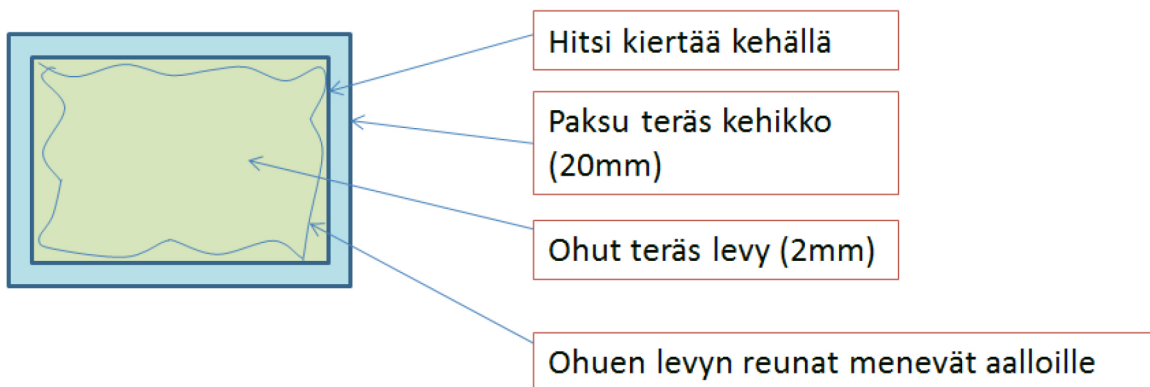
Suunnitteluvaiheen tärkein osa on materiaalin valinta, mikä määrittelee paitsi materiaalikustannukset, niin vielä monta muuta kustannuserää. Valittu teräs ja sen lujuus määrittelevät levynpaksuuden ja sitä kautta railotilavuuden sekä edelleen tarvittavan hitsiainemäärän ja hitsaustyön määrän.

Hitsauksen suunnittelu jakautuu viiteen pääkohtaan: materiaalin valinta, hitsin koko ja mitoitus, railo ja liitostyyppi, valmistettavuus ja hitsille asetettavat vaatimukset.



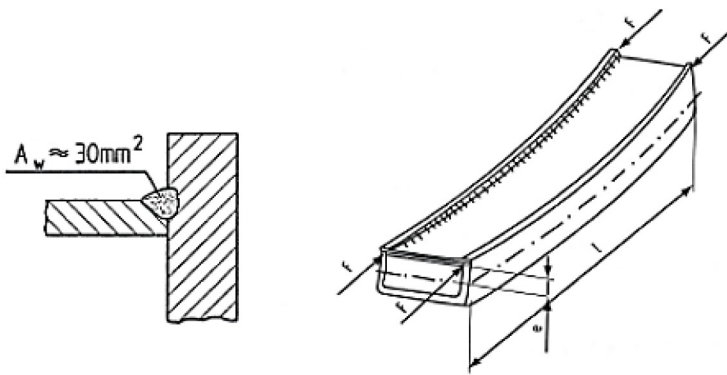
Kuva 48. Hitsausliitoksen sijoittelulla, määrällä ja muodolla voidaan vaikuttaa rakenteen muodonmuutoksiin (Lepola 2009, s. 356).

Jos rakenteeseen tulee suuria materiaalipaksuuseroja, joudutaan suurempaa massaa esilämmittämään ennen hitsaamista (kuva 49). Jos rakenteeseen tulee erilaisia teräslaatuja, lisäainena käytetään aliseostettua materiaalia. Tällöin liitoksen lujuus on matalamman materiaalin mukainen. On harkittava, kannattaako koko rakenne olla samaa materiaalia. Suurlujuusteräksiä hitsatessa on usein tehtävä esilämmitys. Tarkista oikeat lämpötilat valmistajalta.

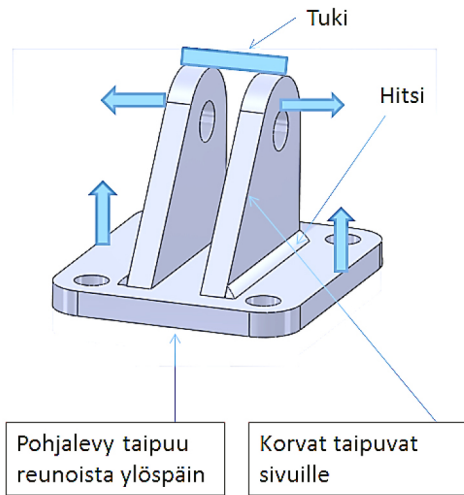


Kuva 49. Ohutlevyn liittäminen hitsaamalla paksumpaan materiaaliin aiheuttaa aaltoilua. Lämpö siirtyy nopeasti ohuempaan levyyn.

Hitsisauma kutistuu jäähtyessään, jolloin hitsin sisäinen vetovoima aiheuttaa muodonmuutoksia. Hitsauksen aikaisella tuella voidaan estää lämmön aiheuttama muodonmuutos. Ilman lisäainetta tulevaan hitsausliitokseen ei muodostu niin suuria jännityksiä, kuin esim. MAG-lisäaineliitokseen. Jos hitsiliitokseen ei kohdistu suuria lujuusvaatimuksia, voidaan liitos tehdä ilman lisäainetta.



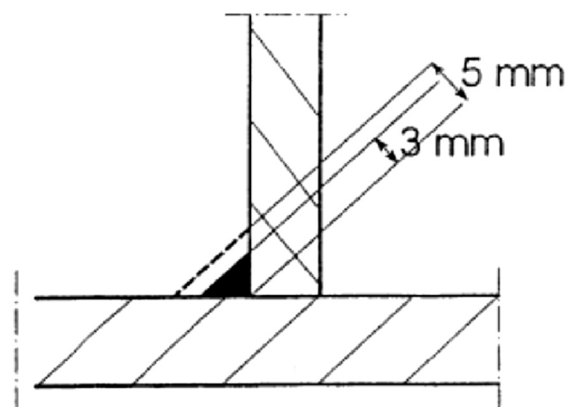
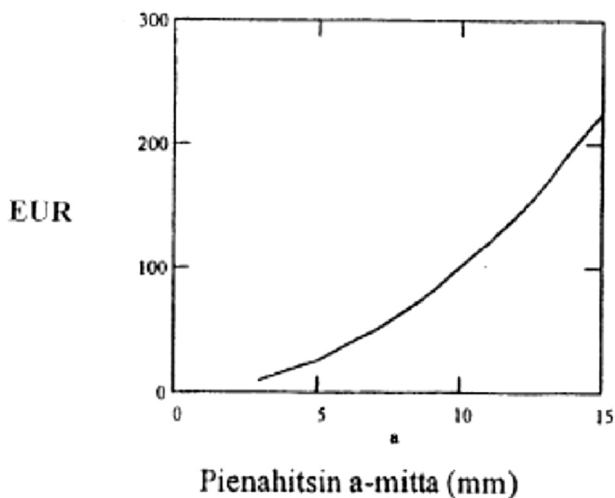
Kuva 50. Palkki pyrkii muuttamaan muotoaan "banaaniksi", koska hitsi on sijoitettu epäsymmetrisesti palkin yläpintaan. Hitsisauman vetojännitys pyrkii lyhentämään hitsin pituutta.



Kuva 51. Hitsauksen sijoittelulla voidaan vaikuttaa lämmön aiheuttamiin muodonmuutoksiin.

Hitsin määrä on keskeisin hitsauksen kustannusten määrääjä. Pienin MAG-hitsin mitoituskoko on a_3 . Jos pienahitsi a_5 muutetaan a_7 , kustannukset kaksinkertaistuvat. a_5 (a_6) hitsisauma tehdään usein MAGilla yhdellä hitsipalolla, kun a_7 vaatii useimmiten kaksi. On olemassa myös suurtehomenetelmiä, jolloin saadaan tehtyä suurempia hitsejä yhdellä hitsillä. Suuri hitsi myös aiheuttaa suuren jännityksen ja muodonmuutoksen. Pyri mitoittamaan hitsi niin, että se kestää tarvittavan voiman, mutta ylimitoitusta tulisi välttää. Liika lämmön tuontia tulisi siis välttää. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos on kaksinkertainen a -mitta, tulee kolminkertainen kustannus (kuva 52).

Ylimitoitus pienahitseissä: $V \sim a^2$



Kuva 52. Pienahitsin kustannus (Kemppi 2008, s. 20)

Hitsatussa rakenteissa toleranssit ovat tyypillisesti 2...5 mm ja suurissa rakenteissa jopa 10...40 mm. Jos rakenteelta vaaditaan alle 1 mm tarkkuutta, saatetaan osa joutua koneistamaan. Pyri poistamaan tarkkuutta vaativat ratkaisut. Taulukoissa 14 ja 15 on esitetty toleranssin SFS-EN ISO 13920 mukaiset yleistoleranssit.

Pienamuotoinen hitsi on kustannustehokas lisäaineperusteinen hitsin muoto. Pyri siihen, että hitsaaminen tapahtuisi jalkoasennossa. Vältä viisteellisiä päittäisliitoksia, ainevahvuuseroja ja merkittäviä materiaalieroja. Joskus levyn viistäminen voi vähentää hitsaustyötä niin paljon, että se kannattaa tehdä levyn osavalmistuvaiheessa, vaikka siitä tuleekin lisäkustannuksia. Tarvittavat viisteet voidaan tehdä levyleikkausvaiheessa, jolloin poltinta käännetään. Tämä aiheuttaa lisätyövaiheen, joka muodostaa kustannuksia (kuva 53). Viisteitä tehdään myös mekaanisesti viistekoneilla. Käsini viistäessä työ on hidasta ja viimeistely puutteellista.

PA	PB	PC	PF	PD ja PE
100%	130%	180%	220%	220-250%

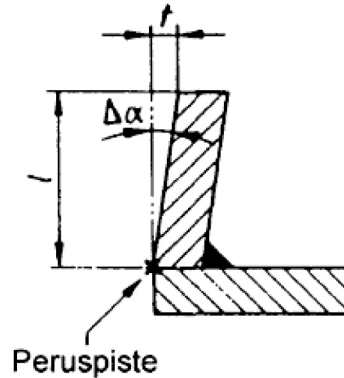
Kuva 53. Hitsausasennon vaikutus hitsausaikaan, % = työaika.

Taulukko 14. Pituusmittoja koskevat hitsaustoleranssit (SFS-EN ISO 13920 mukaan).

Nimellismitta-alueet / mm Range of nominal sizes / in mm											
Tarkkuusluokka Tolerance class	2 ... 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1000	> 1000 ≤ 2000	> 2000 ≤ 4000	> 4000 ≤ 8000	> 8000 ≤ 12000	> 12000 ≤ 16000	> 16000 ≤ 20000	> 20000
Toleranssit t mm Tolerances t in mm											
A	± 1	± 1	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 7	± 8	± 9
B		± 2	± 2	± 3	± 4	± 6	± 8	± 10	± 12	± 14	± 16
C		± 3	± 4	± 6	± 8	± 11	± 14	± 18	± 21	± 24	± 27
D		± 4	± 7	± 9	± 12	± 16	± 21	± 27	± 32	± 36	± 40

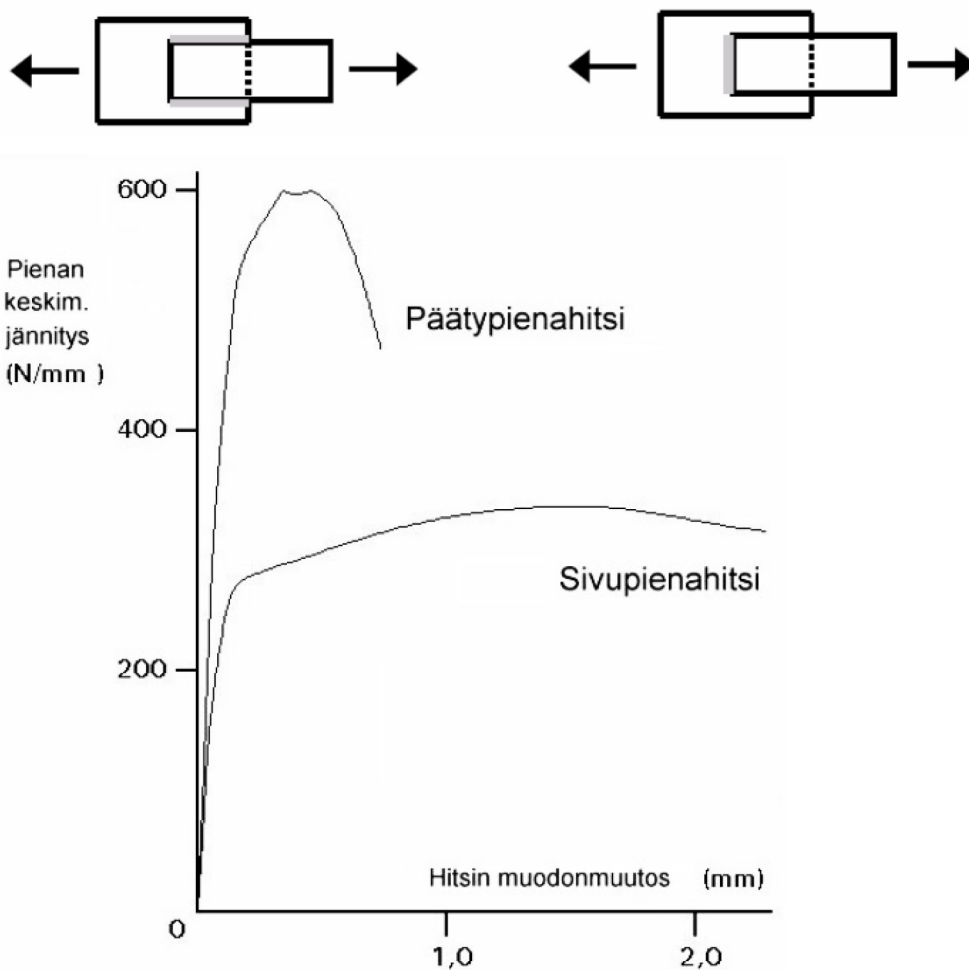
Taulukko 15. Kulmamittoja koskevat hitsaustoleranssit (SFS-EN ISO 13920 mukaan).

Tarkkuusluokka	Nimellismitta-alueet, l , mm (pituus tai kulman lyhyempi kylki)		
	≤ 400	> 400 ≤ 1000	> 1000
	Toleranssit $\Delta\alpha$ (asteissa ja minuuteissa)		
A	$\pm 20'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$
B	$\pm 45'$	$\pm 30'$	$\pm 20'$
C	$\pm 1^\circ$	$\pm 45'$	$\pm 30'$
D	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$	$\pm 1^\circ$
	Laskennalliset ja pyöristetyt toleranssit, t , mm/m ¹⁾		
A	± 6	$\pm 4,5$	± 3
B	± 13	± 9	± 6
C	± 18	± 13	± 9
D	± 26	± 22	± 18
¹⁾ Arvo, joka on ilmoitettu (mm/m), vastaa yleistoleranssin tangentin arvoa. Se on kerrottava kulman lyhyemmän kyljen pituudella (m).			



Pyri suunnittelemaan hitsauskokoontanosta kokonaisrakenteeseen sopivia kooltaan, jotka voidaan tehdä mahdollisimman pitkälle pienessä hitsauspisteessä. Suuri hitsauskokoontanpano on hyvä jakaa useampaa pienempää osahitsauskokoontanpanoon, jotta osia voidaan valmistaa useassa työpisteessä yhtäaikaaisesti. Tämä parantaa läpimenoaikaa. Pyri erottamaan rakenteen toiminnallisuudet tiettyihin osakokoontanpanoihin. Tällöin laatuvaatimukset voidaan erottaa selkeästi toisista rakenteista (voimaa välittävät rakenteet, säiliöt, nivelet, liut).

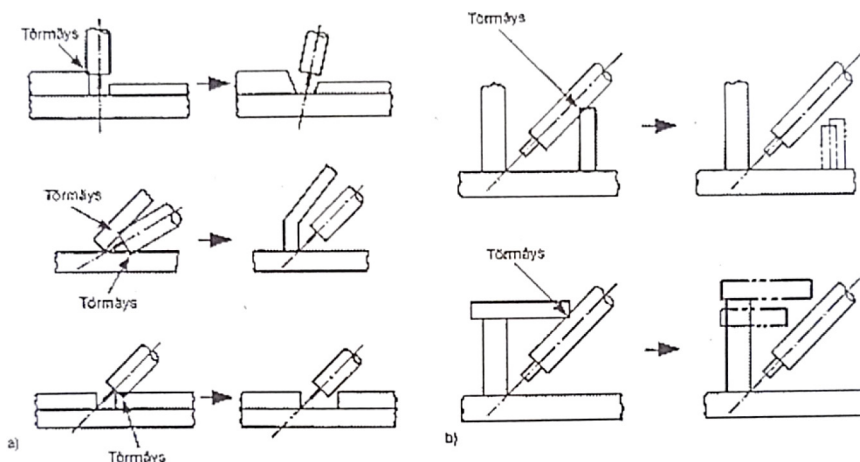
Otsapienahitsi sallii suuremman jännityksen ja pienemmän siirtymän, kun taas sivupienahitsi sallii matalamman jännityksen ja suuremman siirtymän (kuva 54). Otsapienahitsillä on riski lähteä repeytymään hitsin vierestä juuri sen vähäisen sitkeyden takia. Usein sivupienahitsiä pyritään suosimaan rakenteissa, jossa on jännitysvaihteluita. Hitsi mitoitetaan niin, että sallitut jännitykset eivät ylity.



Kuva 54. Sivu- ja päätypienahitsin erot sallitussa jännityksessä ja muodonmuutoksessa.

Usein hitsiliitos jää näkyville tuotteeseen. Suunnittele näkyville jäävä hitsi niin, että sen hyvä ulkonäkö on tehtävissä helposti. Hitsiliitoksen hiomista on syytä välttää, ellei siihen ole hyviä perusteluja. Usein siisti hitsi on paremman näköinen kuin kohtuullisesti hiottu hitsiliitos. Standardi SFS-EN ISO 9692 esittää suositettuja railomuotoja (taulukko 16).

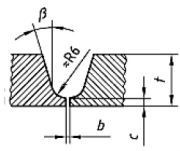
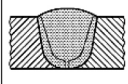
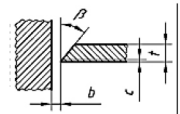
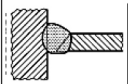
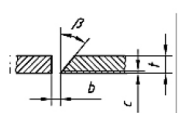
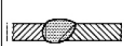
Hitsattu rakenne tulisi suunnitella lähtökohtaisesti niin, että se olisi hitsattavissa robotilla. Edullinen hitsin sijoittelu, pienahitsit, hitsausasento, hitsauksen luokse pääsevyys ja ulottuvuudet antavat mahdollisuuden hyvään robottihitsaukseen (kuva 55). Mikäli rakenne on hitsattavissa robotilla tai mekanisoitavissa, se onnistuu hyvin myös käsin.

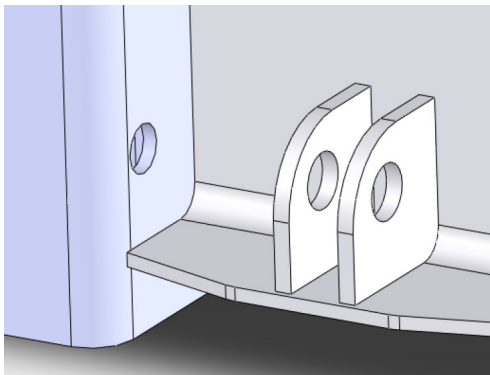


Kuva 55. Railon luoksepääsevyden parantaminen (Lempiäinen 2003, s. 91)

Levymäiseen rakenteeseen tulevat levy leikataan nettomittaisiksi ilman välyksiä (kuva 56). Levyt tulevat silloitusvaiheessa täysin toisiinsa kiinni ilman ilmarakoja. Jos liitoksessa on lapihitysvaatus, tarvitaan usein ilmarako. Hitsattavuutta voidaan tällöin parantaa juurituen käytöllä.

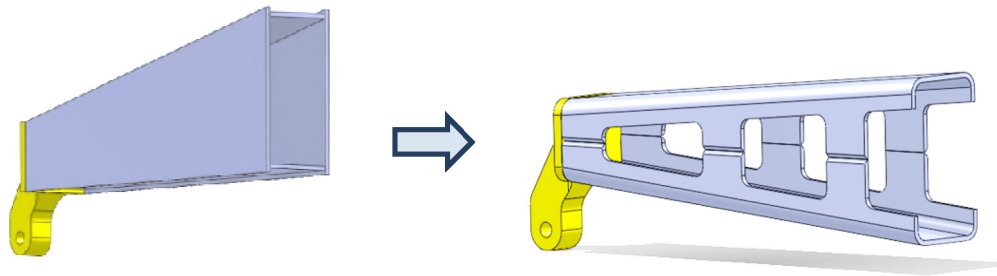
Taulukko 16. Standardin SFS-EN ISO 9692-1 esittämä esimerkki railomuotosuosituksista.

Viite-numero	Aineen-paksuus t mm	Railomuoto	Hitsaus-merkki (ISO 2553 mukaan)	Poikkileikkaus	Mitat				Suositellaan hitsauspro- sessille (numerot ISO 4063 mukaisesti)	Hitsin kuva	Huo- mautuk- sia
					Kulma ^a α, β	Ilmarako ^b b mm	Juuri- pinnan korkeus c mm	Viisteen syvyys h mm			
1.8	> 12	U-railo	Y		$8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	≤ 4	≤ 3	–	111 13 141		–
1.9.1	$3 < t \leq 10$	Puoli-V-railo	V		$35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$2 \leq b \leq 4$	$1 \leq c \leq 2$	–	111 13 141		–
1.9.2											



Kuva 56. Osat mitoitetaan hitsauskokoontuotossa nettomittaisiksi, eli ilmarakoja ei yleensä jätetä osien välille, kun osat eivät sijoitu jonkin taskun sisään.

Hitsin matka suunnitellaan lyhyeksi. Hitsin pituuksiin on omat erityisvaatimukset, jotka tulee tarkistaa. Hitsisauma pyritään sijoittamaan neutraalitasolle rakenteessa, jossa rasituksena on taivutus. Hitsiin muodostuu näin pieni rasitus käytön aikana. Neutraalitasolla oleva hitsi ei myöskään taivuta jäähtyessään rakennetta ”banaaniksi”. Kuvassa 57 hitsissä on edullinen päittäisliitos hitsille, jossa on viisteet. Viisteet ovat muodostaneet kustannuksen osavaiheessa. Materiaalia on poistettu neutraaliakselin läheltä, jossa materiaali ei osallistu veto/puristusjäntymiseen. Samalla maalattavuus ja hitsin tarkistaminen takapuolelta onnistuvat paremmin, jos hitsin tyyppi on tasalajahitsi (läpihitsattu).



Kuva 57. Palkissa hitsin määrää - ja osien lukumäärää on vähennetty. Oikeanpuoleisessa ratkaisussa haitta-
puolena on juurituen mahdollinen käyttö ja useat hitsin aloitus- ja lopetuskohdat, joissa virheen mahdollisuus on
olemassa.

Liittäminen tulee aina suunnitella tapauskohtaisesti (taulukko 17). Hitsausliitos on vain yksi
yleisesti käytössä olevista purkamattomista liitoksista. Jos liitoksen purkautuminen on tuot-
teen käytön kannalta tärkeää, suunnitellaan liitokseksi jokin purkautuva liitosmenetelmä,
esim. ruuvi- tai tappiliitos. Niittaus- ja juottoliitokset ovat tietyissä tapauksissa sopivia mene-
telmiä. Hitsausliitos on paljon edullisempi liitos, kuin ruuvi- tai tappiliitos. Purettavat liitokset
tulisi aina perustella hyvin. Usein purettavia liitoksia suositetaan olosuhteissa, joissa hitsaami-
nen ja asentaminen ovat vaivalloisia.

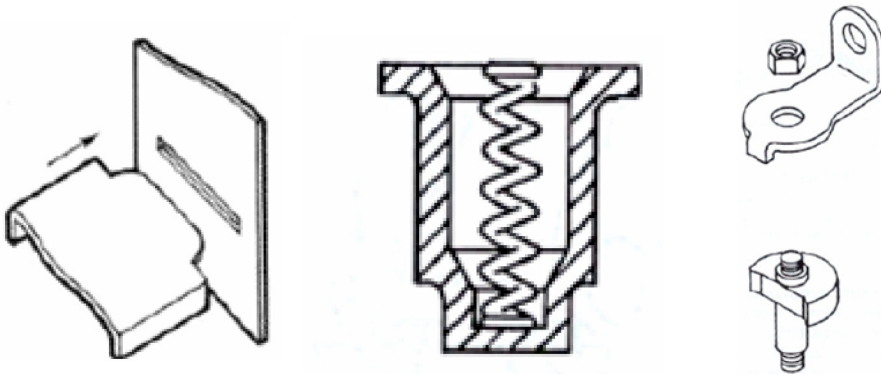
Taulukko 17. Liittämismenetelmien vertailua. 1=erinomainen, 2=hyvä, 3=välttävä, 4=huono (Matilainen ym. 2011,
s. 202).

Vertailuperuste	Niittaus	Hitsaus	Juotto
Soveltuvuus ohutlevyille	1	1	2
Soveltuvuus sekaliitoksille	3	4	4
Tarve pintojen esikäsitteilylle	4	4	3
Tarve liitoksen luoksepäästävyydelle	1	1	4
Tarve lämmöntuonnille liittämisen aikana	4	1	1
Tarve jälkityöstölle	3-4	2	4
Tarve jälkilämpökäsittelyille	4	3	3
Odotusaika liitoksen käsittelylujuuden saavuttamiseksi	4	4	4
Jännitysten jakautuminen	4	1-2	1
Liitoksen tiiveys	4	2	1
Vetelyiden ja muodonmuutosten määrä	2	1	2
Liutinkestävyys	1	1	1
Lämmönkesto	1	1	1
Liitoksen korjattavuus	2	3	3

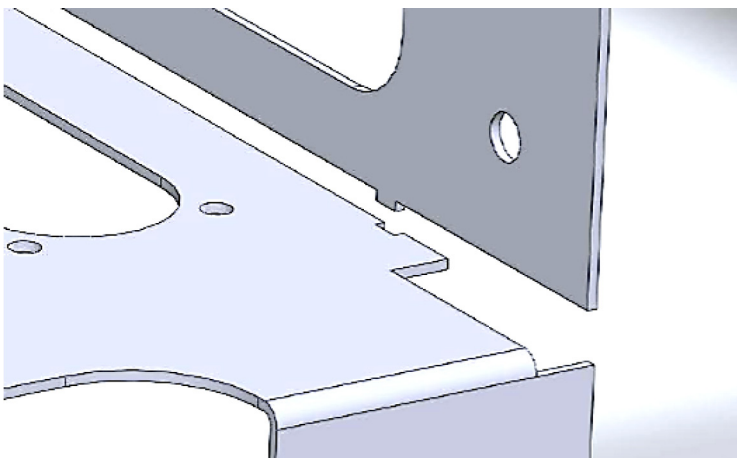
15 Kokoonpantavuus

Alla on hyvään kokoonpantavuuteen liittyviä seikkoja:

- Tuote on hyvä kokoonpantavuudeltaan, kun siinä on minimimäärä osia, jotka liittyvät keskenään nopeasti ja tiettyyn paikkaan ja asentoon (kuva 57).
- Tuote suunnitellaan kokoonpantavaksi niin, että siinä on selkeä runko-osa, joka toimii alustana muille osille. Tätä sääntöä voi soveltaa myös hitsauskokoonpanolle.
- Alustan tulisi olla kokoonpanossa määrättyssä luonnollisessa asennossa.
- Osat tuodaan kokoonpanoon ylhäältä alas suoraviivaisella liikkeellä.
- Osat asemoituvat määrättyyn asentoon ja paikkaan. Osaa ei tulisi voida asentaa väärään paikkaan tai asentoon (kuva 58 ja 59).
- Osissa on helpottavat viisteet.
- Osa on itsepaikottuva, esim. paikotusnastojen avulla
- Osissa on muotoon perustuva paikotus, joka pakottaa asemoinnin määrättyyn paikkaan.
- Osien mitoituksen lähtökohtana on aseointiin käytettävät pinnat.
- Osia tulisi käsitellä samoilla tarraimilla ja nostovälineillä.
- Nostokoukulle tai tarraimelle on selkeä visuaalisesti havaittava paikka.
- Osa on noston aikana painopisteessä.
- Osien tulisi olla muodoiltaan sellaisia, että ne eivät takerru toisiinsa.
- Osissa on hyödynnetty symmetriaa, jotta osa ei asennoidu väärin päin.
- Osat ovat joko symmetrisiä tai selkeästi epäsymmetrisiä, jotta asento ei sekoittuisi.
- Osat on hyvä olla pinottavissa.
- Kokoonpanot olisi hyvä olla testattavissa erillisinä, jotta pääkokoonpanopaikalla muodostuisi mahdollisimman vähän riskejä.
- Osien tolerointiin on kiinnitettävä huomiota, sillä toleranssien kertautuminen aiheuttaa uusia ongelmia.



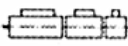
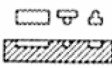
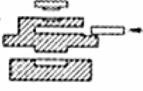
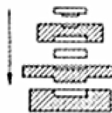
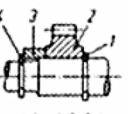
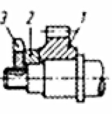

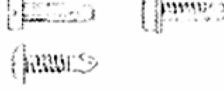
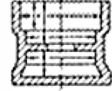

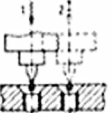
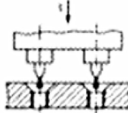
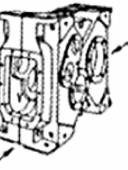

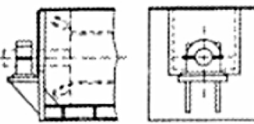
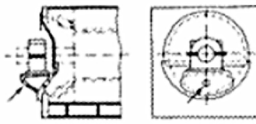
Kuva 58. Osien aseointiin käytetään muotoon perustuvaa paikoitusta.



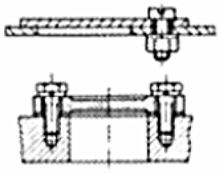
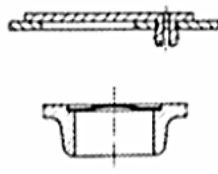

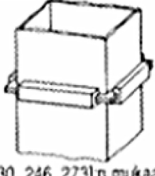



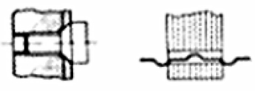
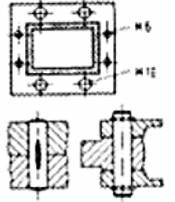
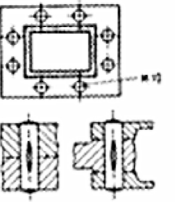
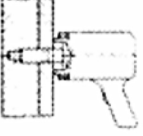

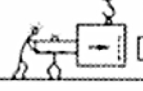
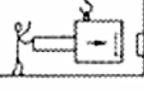
Kuva 59. Pystylevy asemoituu paikotusnastan avulla vain yhteen mahdolliseen paikkaan ja asentoon kokoonpanossa (Vilhunen, 2012)

Seuraavassa taulukossa 18 on esimerkkejä kokoonpantavuuden parantamiseksi.

Taulukko 18. Esimerkkejä kokoonpantavuuden parantamiseksi.

Asennustoimien yhtenäistäminen				
Pa Li Tar	Yhtenäinen pohjaosa kullekin asennusryhmälle, esim. loke- rorakennetapaan	AAs		 [141]:n mukaan
Li	Pyritään yhtenäisiin liitos- suuntiin ja menetelmiin sa- massa asennusryhmässä	AAs		 [141]:n mukaan
Asennustoimien yksinkertaistaminen				
Pa Li As Var Tar	Pakonomainen asennustoi- mien järjestys (yksikäsittei- nen järjestys)	KAs	 tai: 4 3 2 1	
Li	Yhdistetään valmistus- ja asennustoimia	KAs AAs		
As Tar	Hyvä luoksepäästävyys tes- tauksia varten, näkö tarkastus mahdollinen.	KAs AAs		
Toimi	Muoltoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Asennustoimien vähentäminen				
Li	Yhdistetään ajallisesti asen- nustoimia.	AAs		
Li As Var	Vähennetään liitoskohtia- tai pintoja	KAs AAs		
As Var Tar	Vältetään jo koottujen ryhmi- en tai tuotteiden purkamisia toimintotestauksia varten.	KAs AAs	 roottorivälystä ei voi mitata	 roottorivälkyksen voi suoraan mitata

Taulukko 18. Esimerkkejä kokoonpantavuuden parantamiseksi. (jatkuu)

Toimi	Muotoiluohje	Laji	Vaikea asentaa	Helpompi asentaa
Liitoskohtien vähentäminen				
Va Kä Li As Var	Liitoselementtien vähentäminen, esim. puristus- tai lukittumislitoksella	KAs AAs		
Va Kä Li	Liitoselementtien vähentäminen erikoisrakenteisilla elementeillä	KAs AAs		 [230, 246, 273]n mukaan
Va Li Var	Pyrittävä välittömiin liitoksiin ilman liitoselementtejä	KAs AAs		 [273]n mukaan
Pa	Pyrittävä itsetoimisen oikaisuun ja paikoitukseen	AAs		
Liitoskohtien yhtenäistäminen				
Va Kä Li	Käytettävä samanlaisia liitoselementtejä, myös erilaisiin toimintoihin	KAs AAs		
Liitoskohtien yksinkertaistaminen				
Va Kä	Suosittava liitoselementtejä, jotka voidaan syöttää vyössä tai jatkoaineiksena	AAs		
Kä Li	Helpotettava käsittely- ja liittämisläikkettä, esim. painopistetuennalla	KAs AAs		 [40]n mukaan

16 Pintakäsittely

Teräs- ja hitsattavien rakenteiden suunnittelijan on huomioitava korroosioneston ja pintakäsittelyn vaikutukset suunnittelussa. Tuotteen pintakäsittely voi vaikuttaa merkittävästi rakenteeseen, mitoitukseen ja muotoiluun. Suunnittelijan on selvitettävä tuotteen pintakäsittelyvaatimukset.

Osaan määritellään edullisin, mutta riittävä pintakäsittely. Osa pintakäsittelään korroosio- ja ulkonäkövaatimukset huomioiden. Tuotteen käyttöolosuhteet on syytä olla tiedossa, jotta sen ympäristöolosuhteisiin voidaan varautua korroosiosuojauksella (taulukko 19). Sisämaassa kevyessä käytössä riittää heikompi suojaus. Meri-ilmastossa kovassa käytössä oleva tuote vaatii paremman korroosiokeston. Jossakin tapauksessa on syytä käyttää ruostumattomia materiaaleja, jotta vältetään pintakäsittelyltä. Tuotteen käyttöolosuhteet voivat vaatia keveyttä, ruostumattomuutta, tietyt ulkonäkövaatimukset tai pitkän käyttöikäodotuksen, jolloin ruostumattoman teräksen, säänkestävän teräksen tai alumiinin käyttö on harkittavaa. Pinnankovuus- ja laatu määritellään tarvetta vastaavaksi. Mitä kiiltävämpi ja kovempi pinta, sitä kalliimpi se on valmistaa.

Maalausjärjestelmän kestävyys jakaa kestävyuden kolmeen luokkaan SFS-EN ISO 12944-1 mukaan:

Alhainen (L)	2 – 5 vuotta
Kohtalainen (M)	5 – 15 vuotta
Korkea (H)	yli 15 vuotta

Korroosio-olosuhteet luokitellaan standardissa SFS-EN ISO 12944 seuraavasti:

C ₁	hyvin lievä
C ₂	lievä
C ₃	kohtalainen
C ₄	ankara
C _{5-I}	hyvin ankara (teollisuus)
C _{5-M}	hyvin ankara (meri).

Pintakäsittelyä ja korroosiosuojaa suunnitellessa on huomioitava:

- vesireiät, vesitiiveys, veden pois johtaminen
- likaantuminen, likataskut, maalitaskut
- tuotteen muodot ja kotelomaisuus
- ei vettä kerääviä muotoja (kuva 60)
- galvaaniset parit (kuva 61)
- rakenteen tuulettuminen (rakokorroosio)
- epäjalomman metallin pinta-ala ja paksuus tulee olla suurempi, kuin jalomman metallin
- ulkonäkövaatimukset
- käyttöikätaavoite
- vaadittava korroosiokestävyys (mm. sisämaa, meri-ilmasto, mekaaninen kesto, kulutus)
- materiaalivalinnan vaikutus pintakäsittelytarpeelle (ruostumaton teräs, alumiini)
- maalipinnan paksuus. Maalikerros kasvattaa mittoja.
- maalauksen aikainen suojaus mm. koneistetuille pinnoille
- menetelmän vaikutus rakenteen suunnitteluvaatimuksiin mm.
 - märkämaalaus antaa kohtuullisen suojan (paksuus vaikuttaa)
 - jauhemaalaus antaa hyvän suojan

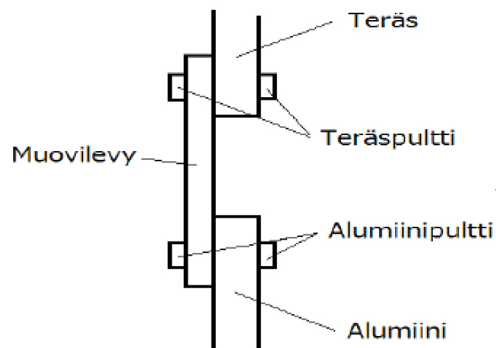
- passivointi antaa tyydyttävän suojan
 - kuumasinkitys antaa hyvän suojan
 - kromaus antaa kiiltävän pinnan
- maalauksen luokse pääsevyys
 - maalauksen sävy ja kiilto (ulkonäkö, huollettavuus, likaantuminen, puhdistaminen)
 - sinkityksessä tuuletusaukot
 - huollon kannalta vaaleat sävyt parempia
 - puhdistettavuus helppoa ja likaantuminen hidasta.



Kuva 60. Muotoilemalla voidaan estää veden ja lian kertymistä (Sainio 2012).

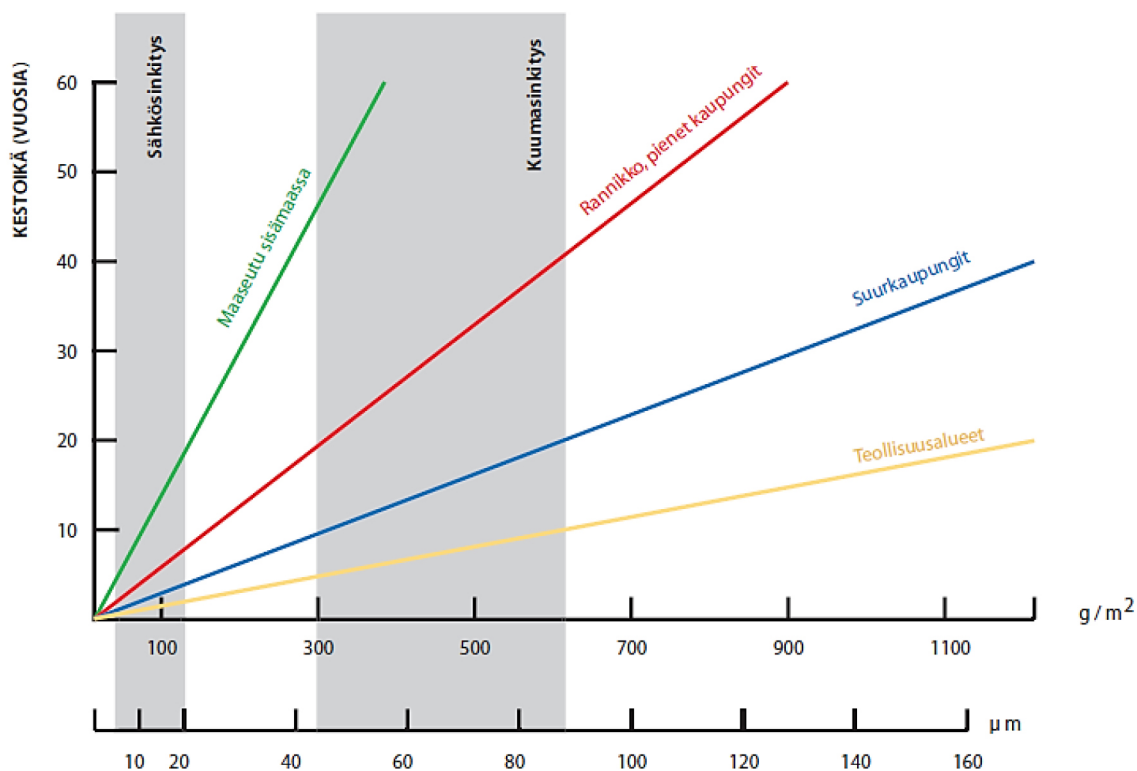
Taulukko 19. Vaadittavan pintakäsittelyn valinta vaikuttavien ympäristöolosuhteiden perusteella standardin SFS-EN ISO 12944-2 mukaan.

Rasitusluokka	Ympäristön määrittely		Vaadittava pintakäsittely
	Ulkona	Sisällä	
C1 hyvin lievä		Lämmitetyt rakennukset, joissa puhtaat ilmatilat, esim. toimistot, kaupat, koulut, hotellit.	Kuumasinkitty ohutlevy tai maalipintainen ohutlevy.
C2 lievä	Ilmatilat, joissa epäpuhtauksien määrä on alhainen. Enimmäkseen maaseutualueita.	Lämmittämättömät rakennukset, joissa voi esiintyä kondensoitumista, esim. varastot, urheiluhallit.	Kuumasinkitty ohutlevy tai maalipintainen ohutlevy.
C3 kohtalainen	Kaupunki- ja teollisuusilmatilat, joissa kohtalainen rikkidioksidikuormitus. Rannikkoalueet, joilla alhainen suolapitoisuus.	Tuotantotilat, joissa korkea kosteuspitoisuus ja joissain määrin epäpuhtauksia ilmassa, esim. elintarviketehtaat, pesulat, panimot, meijerit.	Kuumasinkitty valmistuksen jälkeen.
C4 ankara	Teollisuusalueet ja rannikkoalueet, joilla suolapitoisuus on kohtalainen.	Kemianteollisuuden tuotantolaitokset, rannikolla sijaitsevat telakat ja veneveistämöt.	Kuumasinkitty valmistuksen jälkeen.
C5-I hyvin ankara (teollisuus)	Teollisuusalueet, joilla kosteus on korkea ja ilmatila on syövyttävä.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.	Kuumasinkitys ja epoksimaalaus valmistuksen jälkeen. Haponkestävä teräs. Pintakäsittely valitaan tapauskohtaisesti.
C5-M hyvin ankara (meri)	Rannikkoalueet ja rannikon ulkopuoliset alueet, joilla suolapitoisuus on korkea.	Rakennukset tai alueet, joilla kondensoituminen on miltei jatkuvaa ja saasteiden määrä korkea.	Kuumasinkitys ja epoksimaalaus valmistuksen jälkeen. Haponkestävä teräs. Pintakäsittely valitaan tapauskohtaisesti.



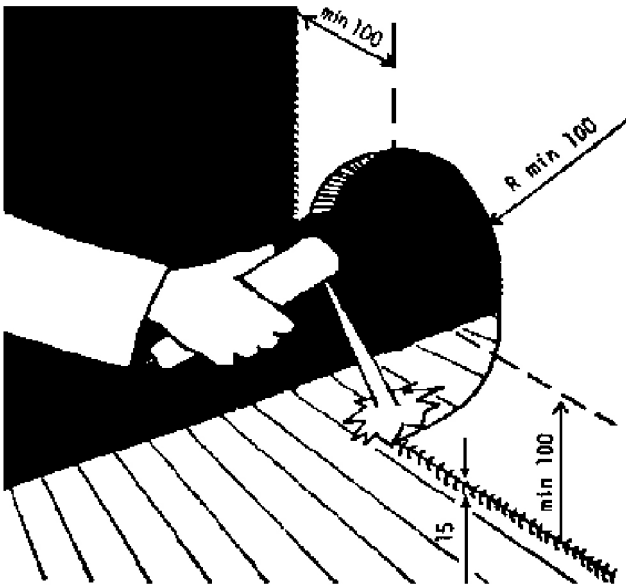
Kuva 61. Galvaanisen parin syntymisen esto eristämällä (Sainio 2012).

Kuumasinkitys tuottaa huomattavasti paremman korroosiokeston, kuin sähkösinkitys (kuva 62). Sähkösinkitty osa ei sovellu ulkokäyttöön. Sinkityksessä on huomioitava, että upotusaltaasta nostettaessa osasta valuu ylimääräinen neste pois suunnitelluista rei'istä.



Kuva 62. Sinkityksen paksuuden vaikutus kestoikään (Ferrometal).

Konemaalaamoissa korroosionestomaalin osuus korroosionestosta on vain 20 %. Loput 80 % kustannuksista koostuu työstä ja käsittelystä. On siis huomioitava, että itse työ sujuu nopeasti ja erikoistoimenpiteisiin ei ole tarvetta. Särmien pyöritys edistää juohevuutta ja parantaa pinnon onnistumista. Tunnettua on, että maali pyrkii vetäytymään särmien kohdalla, jolloin aikaansaatu pinnoite helposti jää liiankin ohueksi. Hitsauksessa ja pinnan puhdistuksessa on edullista, jos nurkkakohta jätetään avoimeksi silloin, kun sen ei ole muista syistä tarpeen olla umpinainen (kuva 63 ja 64). Maalattavassa osassa tulee olla nosto- ja ripustuskohdat suunniteltuna. Nostokohdan sijoittamisella vaikutetaan osan asentoon maalauksen aikana painopisteen avulla.

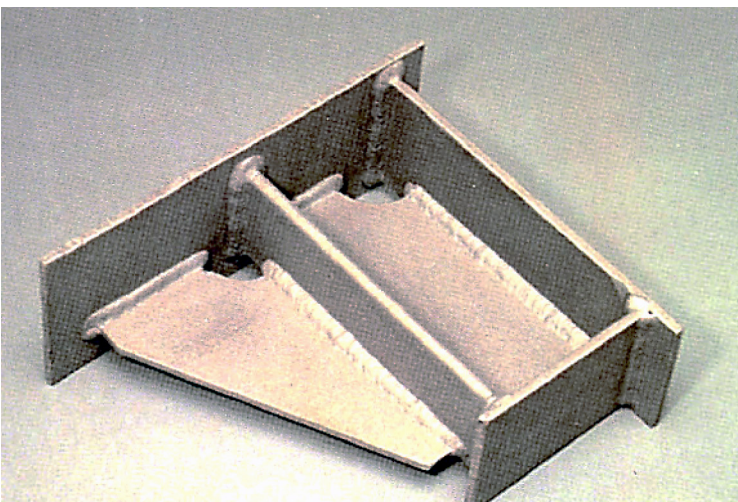


Kuva 63. Avoin nurkkarakenne edistää helpompaa hitsaamista, maalattavuutta ja puhdistettavuutta. Lika ja vesi pääsevät rakenteesta paremmin pois (opetushallitus).

Jauhemaalaukseen eli pulverimaalaukseen on yleisin metallien ja metallituotteiden maalaus- ja lakkausmenetelmä. Se antaa erittäin kovan sekä mekaanista että kemiallista kulutusta kestävä pinnan metallikappaleelle. Varsinkin suuri volyymisissä ohutlevytuotteissa jauhemaalauksen edut ovat merkittävät; se on edullinen, nopea ja kestävä pinnoitusmenetelmä ja soveltuu mainiosti myös moniulotteisille kappaleille, joihin perinteisellä märkämäalauksen menetelmällä on hankala tai mahdoton saada tasaista ja kattavaa maalipintaa. Jauhemaalaukseen sopii ohuisiin tai pieniin osiin paremmin kuin märkämäalaus. Värijauhe sulatetaan kappaleen pintaan.

Märkämäalaukseen käytetään yleisesti kaikissa niissä tapauksissa, kun tuotteen materiaali tai jokin sen osa ei salli muuntotyypisten maalien käyttöä tuotteen lämmönkestävyyden, vaaditun värisävyn, kappaleen koko-, tai painoluokan tai maalilta vaadittujen erikoisominaisuuksien vuoksi. Raepuhalluksen jälkeen tehdään pohjamaalaus, joka suojaa terästä kosteudelta. Pintamaaleissa on melkein rajattomasti erilaisia väri vaihtoehtoja. Märkämäalauksen kustannukset ovat n. 1,8 x verrattuna jauhemaalaukseen (Veiste 2008, s. 17).

Polttomaalaus jakaantuu kahteen päätyyppiin, jauhemaalaukseen eli pulverimaalaukseen ja perinteiseen märkäpolttomaalaukseen. Perinteistä märkäpolttomaalaukseen käytetään metallien ja metallituotteiden maalaamiseen silloin, kun joko tuotteelle määrätty värisävy tai sarjan pienuus asettavat rajoituksia jauhemaalauksen käytölle. Polttomaalin käyttö on näissä tapauksissa usein edullisempaa kuin jauhemaalauksen käyttö (VTM).



Kuva 64. Avoin ja väljästi suunniteltu osa, joka on hyvä maalattavuudeltaan (SFS 8145, liite 16).

17 Valmistuspiirustukset

Kaikki aiemmin kerrotut edulliset asiat tulisi saada esille piirustuksiin. Suunnittelun lopputuloksena ovat täydelliset ja yksikäsitteiset valmistuspiirustukset, joiden valmistukseen liittyvä kaikki tieto on kytketty. Piirustuksien tulee olla selkeät ja hyvin luettavat, jotta valmistaja voi tehdä osan mahdollisimman suurella todennäköisyydellä riittävällä tarkkuudella oikeaksi. Mitoituksen tulee olla valmistusta palveleva. Osavalmistuksessa on käytössä numeerisesti ohjattuja laitteita, jotka saavat tiedon suoraan cad-mallista. Valmistuspiirustukset ovat silloin tarkastamista ja muuta käyttö varten.

Piirustuksien tehtävänä on palvella valmistuksen työvaiheistusta riittävällä tarkkuudella (kuva 65, 66 ja 70). Piirustuksella on myös muitakin käyttötarkoituksia, kuten varaosat, markkinointi, esitteet, ostajat, työnjohtajat, tuotannonohjaajat, kuljetus, pakkaajat, varastointi jne. Jokaisella piirustuksella tulisi olla määrätty valmistusvaiheeseen liittyvä tarkoitus. Piirustukset ovat hyvä jakaa sopiviin, tarkoituksen mukaisiin vaiheisiin. Hitsaus- ja koneistuspiirustus tulisi erottaa toisistaan, mikäli osassa on huomattavasti koneistamista, jotta piirustus pysyisi selkeänä ja piirustusmerkinnät erottuisivat kussakin työvaiheessa.

Valmistuspiirustuksia ovat esimerkiksi:

- **Osapiirustus:** polttoleikepiirustus mitoitettuna ja polttoleikegeometria (DXF), työstöt, särmäykset ja hionnat. Valupiirustus. Tämä piirustus palvelee leikkaajaa, särmääjää, koneistajaa, valajaa jne.
- **Osahitsauskokoontanopiirustus:** hitsattava tuote on jaettu sopiviin, työpistekohtaisiin pienempiin kokonaisuuksiin, jotta valmistuksen hallinta ja tehokkuus tulisi optimoitua. Tämä piirustus palvelee hitsaajaa ja koneistajaa.
- **Hitsauskokoontanopiirustus:** osat ja osahitsauskokoontanot liitetään yhteen hitsaamalla, niittaamalla, liimaamalla tai muulla purkamattomalla liitosmenetelmällä. Yleensä tämän vaiheen lopuksi tuote pintakäsittelään. Tämä piirustus palvelee hitsaajaa ja maalaajaa.
- **Varustelupiirustus:** Hitsauskokoontanot ja osat kytketään toisiinsa purettavilla liitoksilla, kuten ruuveilla tai tapeilla. Tämä voi olla myös tuotteen ylimmän tason piirustus tai tuotteen moduuli. Tämä piirustus palvelee varustelijaa.
- **Pääkokoontanopiirustus:** Tässä piirustuksessa kytketään aiemmin mainitut osat ja kokonaisuudet yhteen. Piirustus esittää tuotteen kokonaisuutena. Kun tämän piirustuksen alikokoontanot puretaan osiksi, sisältää se kaikki tuotteen osat. Piirustus kertoo, kuinka osat kytkeytyvät toisiinsa. Tämä piirustus palvelee valmistuksessa kokoonpanoa.

Piirustuksissa tulee olla riittävät tuotetiedot (kuva 67). Niitä ovat ainakin:

- nimitykset, päänimitys ja apunimitykset
- mihin tuotekokonaisuuteen liittyy (ei yleensä laiteta osapiirustukseen, koska osa voi liittyä myöhemmin johonkin muuhunkin tuotteeseen)
- yrityksen tunnus
- piirustusnumero eli koodi
- arkkikoko
- sivujen määrä
- suunnittelija ja tarkastaja
- päivämäärät
- piirustuksen päämittakaava
- massa
- toleranssi
- revisiotunnus, jos on revisioitu
- revisiokuvaus ja päivämäärä.

Yleistoleranssi		Mittakaava	Tuote	Liittyy	Nimitys	
SFS-keski		1:2	Polkuauto		Levy Plate	
Suunn.	HK 3.5.2011				Ennen	Uusi
Hyv.	SA 16.5.2011	Massa			Piirustusnumero	Revisio
	0.58 kg				200101	
					Sheet: 1/2	A3

Kuva 67. Otsikkotaulussa on tarvittavat tiedot osasta (tuotteesta).

Osaluettelossa tulee näkyä vähintään seuraavat asiat (kuva 68):

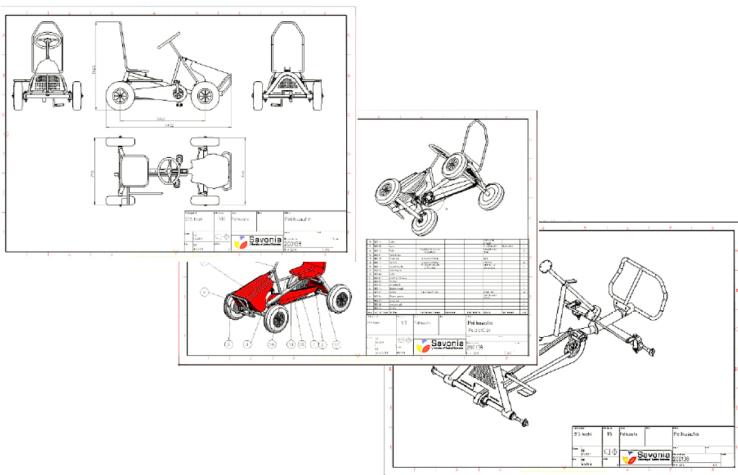
- koodi (kokoonpanoissa). Tätä ei tarvita yleensä osapiirustuksessa, ellei materiaali-aihi-
oita ole koodattu.
- aihion nimitys
- materiaali
- materiaalin muotostandardi
- osto-osissa standardi
- materiaalin lujuusluokka ruuvitarvikkeissa
- aihion mitat
- lukumäärä, kpl (osapiirustuksessa aina 1, koska osa kutsutaan kokoonpanossa määrä-
tyllä lukumäärällä).

1	200101	Levy	EN10022	PL1x258x407	S355K2G3	1
Osa	Item number	Nimitys	Standardi	Muoto, mitat	Materiaali	Kpl

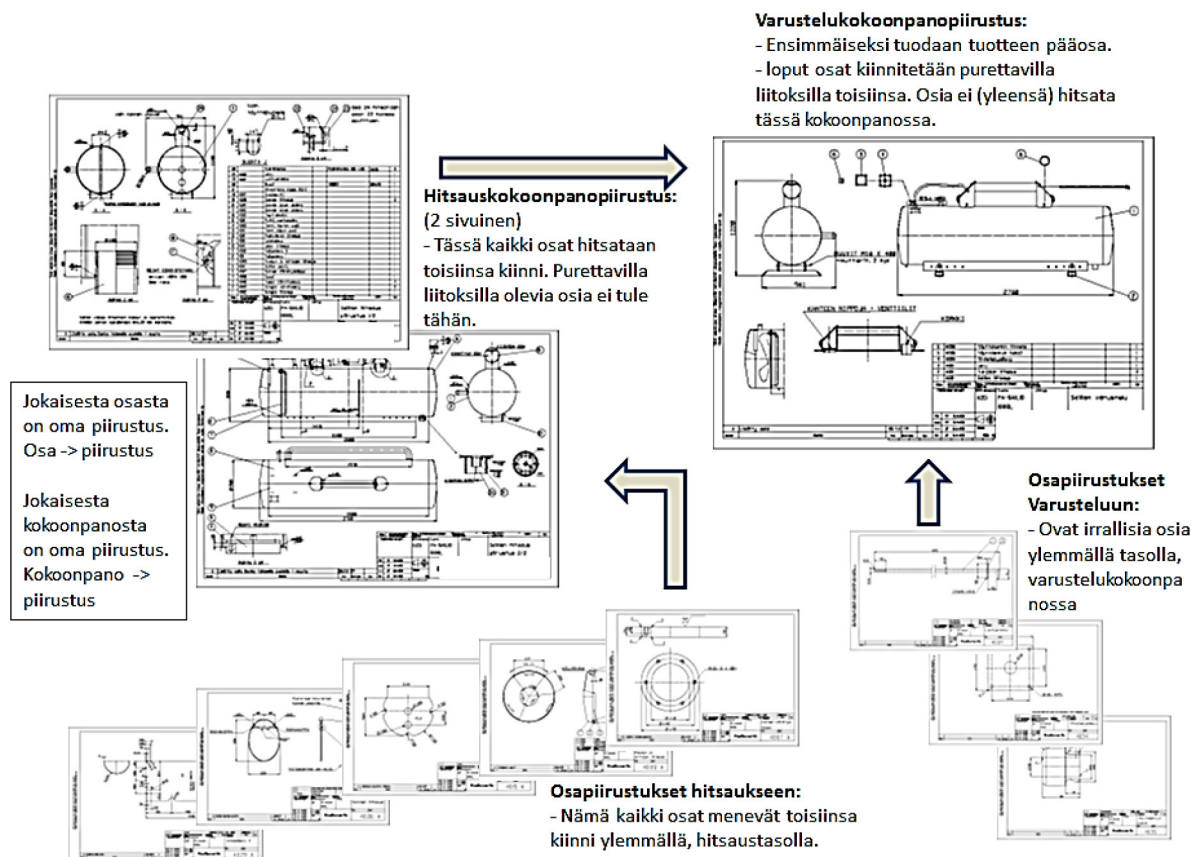
Kuva 68. Osaluettelossa on tarvittavat tiedot materiaalista.

Valmistuspiirustuksessa tulee näkyä kaikki tarvittavat mitat, jotka palvelevat valmistamista parhaalla mahdollisella tavalla. Suunnittelijan on tarpeellista käydä keskustelua valmistajan kanssa siitä, miten osaa voidaan mitoittaa valmistuksen aikana. Kuten jo aiemmin on todettu, tarkkoja toleransseja tulisi välttää, koska se aiheuttaa kustannuksia. Tarvittavat hitsimerkit, koneistusmerkit, mittatoleranssit ja geometriset toleranssit tulisi olla teknisen piirtämisen standardien mukaisia. Mittojen tulisi olla yksikäsitteisiä ja vain tarvittava määrä. Päämitat tulisi erottaa apumitoista. Tärkeät mitat tulisi olla selkeästi esillä. Mitat tulisi olla todellisuudessa myös mitattavissa sillä tarkkuudella, kuin on määrätty.

Kuvantoja tulee olla vain tarvittava määrä. Pääkuvannon tulisi kertoa tuotteesta sen tärkeimmät muodot (kuva 69). Apukuvannot kertovat sen, mitä pääkuvanto ei kerro. On suositeltavaa käyttää havainnollisia osasuurenoksi ja leikkauksia. Muotojen tulisi olla selkeästi erillään mitoituksista ja piirustusmerkinnöistä.



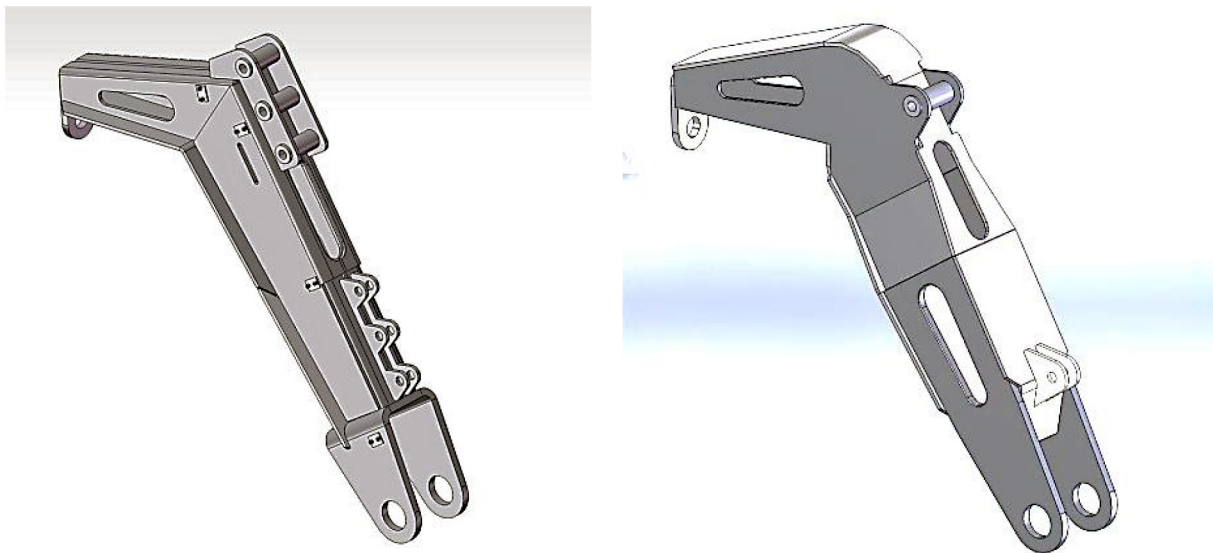
Kuva 69. Samasta piirustuksesta voi tehdä useita sivuja, jossa voidaan näyttää tuotetta eri näkökulmasta ja tarkoituksella.



Kuva 70. Erään tuotteen piirustukset ja niiden kytkeytyminen ylempiin kokoonpanoihin.

18 Esimerkkejä valmistettavuuden kehittämisestä suunnittelun avulla

Esimerkkejä valmistettavuuden kehittämisprojekteista.



Kuva 71. Esimerkki valmistettavuuden kehittämisestä. Tuotteesta on osien lukumäärä vähentynyt puoleen, työvaiheet vähentyneet ja kokoonpanossa osat ovat itsepaikottuvia.

LÄHTEET

Esab, 2006. Hitsauskustannukset tarkassa syynissä! numero 1/2006.

Ferrometel: http://www.ferrometal.fi/docs/teknisetsivut/teknisetsivut_korroosio.pdf

Haikonen, E., 1979. Ohutlevyrakenteiden suunnittelu yksittäisvalmistuksessa ja piensarjatuotannossa. MET, Tekninen tiedotus 18/1979. 59s.

Hitsaustekniikka 3/2011.

Honka, I., 1980. Meistettävien kappaleiden suunnittelun yleisohjeita. MET, Tekninen tiedotus 23/1980. 39s.

Karppinen, A., 1986. Ohutlevyjen taivutus. MET, Tekninen tiedotus 23/1986. 48s.

Kemppi, J., 2008. Suunnittelun merkitys tuotantokustannuksiin hitsauksessa. Lahden alueen kehittämistyö – seminaari 9.4.2008.

Lempiäinen, J., 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Hakapaino, Tampere.

Lepola, P., 2009. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet. WSOY, 4. painos.

Matilainen, J., 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus, Tampere.

Niemi, J. & Aromäki, M., 1985. Teräslevyjen terminen leikkaus. MET, Tekninen tiedotus 9/1985. 85s.

Opetushallitus: http://www.o3.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f3_korroosionesto_estotekniikka.html

Sainio, N. 2012. Korroosio ja sähköinen korroosion esto. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Standardi SFS 8145, 2001. Korroosionestomaalaus. Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardi SFS 5803, 1996. Meistotekniikka. Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardi SFS-EN 22768-1, 1993. Yleistoleranssit, osa 1. Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardi SFS-EN 22768-2, 1993. Yleistoleranssit, osa 2. Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardi SFS-EN ISO 9013, 2003. Terminen leikkaus. Suomen standardoimisliitto SFS.

Standardi SFS-EN ISO 13920, 1996. Hitsaus. Suomen standardoimisliitto SFS.

Veiste, T. 2008. Pulverimaalaus ja sen vertailu märkämaalaukseen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Vilhunen, M 2011. Hydraulisten voimayksikkötuoteperheen teräsrakenteen valmistettavuuden tarkastelu. Savonia AMK opinnäytetyö.

VTM: <http://www.vtm.fi/pintakasittely/jauhemaalauus-pulverimaalaus/>

Valmistuskustannuslaskuri

Esimerkkilaskelma jonkin tuotteen valmistuskustannuksista.
Valmistuskustannukset laskettuna karkeasti excel-sovelluksella.
Työvaiheisiin kuluva aika on selvitettävä.

Valmistuskustannusten muodostuminen																																												
Konepajatyöt metallirakenteiden osalta		hinnat ALV 0%																																										
1. Materiaali																																												
Materiaaliostot, n. 1...3e/kg (teräs)	<table border="1"><thead><tr><th>€/kg</th><th>Menekki/kg</th><th>YHT.</th></tr></thead><tbody><tr><td>2,3</td><td>260</td><td>598</td></tr></tbody></table>	€/kg	Menekki/kg	YHT.	2,3	260	598																																					
€/kg	Menekki/kg	YHT.																																										
2,3	260	598																																										
2. Leikkaaminen ja esityöt																																												
Kaasuleikkaus	<table border="1"><thead><tr><th>€/tunti</th><th>Kuluva aika/h</th><th>YHT.</th></tr></thead><tbody><tr><td>70</td><td>1</td><td>70</td></tr><tr><td>80</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>45</td><td>2</td><td>90</td></tr><tr><td>45</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>45</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>45</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>45</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>45</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>60</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>60</td><td>1</td><td>60</td></tr><tr><td colspan="2">YHT.</td><td>220</td></tr></tbody></table>	€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.	70	1	70	80	0	0	100	0	0	100	0	0	45	2	90	45	0	0	45	0	0	45	0	0	45	0	0	45	0	0	60	0	0	60	1	60	YHT.		220	
€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.																																										
70	1	70																																										
80	0	0																																										
100	0	0																																										
100	0	0																																										
45	2	90																																										
45	0	0																																										
45	0	0																																										
45	0	0																																										
45	0	0																																										
45	0	0																																										
60	0	0																																										
60	1	60																																										
YHT.		220																																										
Plasmaleikkaus																																												
Laserleikkaus																																												
Levytyökeskus																																												
Sahaus																																												
Sämäys																																												
Levyleikkuri																																												
Poraus																																												
Mankelointi																																												
Putkentaivutus																																												
Tasokoneistus																																												
Sorvaus																																												
3. Hitsaustyö																																												
Hitsauksen silloitus eli osien paikoitus	<table border="1"><thead><tr><th>€/tunti</th><th>Kuluva aika/h</th><th>YHT.</th></tr></thead><tbody><tr><td>45</td><td>3</td><td>135</td></tr><tr><td>45</td><td>3</td><td>135</td></tr><tr><td colspan="2">YHT.</td><td>270</td></tr></tbody></table>	€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.	45	3	135	45	3	135	YHT.		270																															
€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.																																										
45	3	135																																										
45	3	135																																										
YHT.		270																																										
Hitsaustyö																																												
4. Koneistustyö hitsauksen jälkeen																																												
Sorvilla/jyrsimellä	<table border="1"><thead><tr><th>€/tunti</th><th>Kuluva aika/h</th><th>YHT.</th></tr></thead><tbody><tr><td>45</td><td>2</td><td>90</td></tr><tr><td>60</td><td>3</td><td>180</td></tr><tr><td>80</td><td>1</td><td>80</td></tr><tr><td>120</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td colspan="2">YHT.</td><td>350</td></tr></tbody></table>	€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.	45	2	90	60	3	180	80	1	80	120	0	0	YHT.		350																									
€/tunti	Kuluva aika/h	YHT.																																										
45	2	90																																										
60	3	180																																										
80	1	80																																										
120	0	0																																										
YHT.		350																																										
Karusellilla/automaattisorvilla																																												
Aarpora																																												
Monikarainen koneistuskeskus																																												
5. Tarvittavat lisätyöt																																												
Hekutus	<table border="1"><thead><tr><th>€/kpl</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td></tr><tr><td>100</td></tr><tr><td>YHT.</td><td>100</td></tr></tbody></table>	€/kpl	0	100	YHT.	100																																						
€/kpl																																												
0																																												
100																																												
YHT.	100																																											
Pintakäsittely																																												
6. Kuljetus																																												
		50																																										
	YHT.	1588																																										

Hitsauskustannusten laskenta

Työkustannukset (K_T)	Hitsauslisäainekustannukset (K_L)
$K_T = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_T \text{ (€/m)}$	$K_L = M \times \frac{H_L}{N} \text{ (€/m)}$
M = hitsiainemäärä (kg/m) T = hitsiaineentuotto (kg/h) e = paloaikasuhte (-) H_T = työtunnin hinta (€/h)	M = hitsiainemäärä (kg/m) H_L = lisäaineen ostohinta (€/kg) N = hyötyluku/riittoisuus (-)
Suojakaasukustannukset (K_S)	Jauhekustannukset (K_J)
$K_S = \frac{M}{T} \times V \times H_S \times 0,12 \text{ (€/m)}$	$K_J = M \times J \times H_J \text{ (€/m)}$
M = hitsiainemäärä (kg/m) T = hitsiaineentuotto (kg/h) V = kaasun virtaus (l/min) H_S = suojakaasun ostohinta (€/m ³)	M = hitsiainemäärä (kg/m) J = jauheen kulutus (kg/hitsiainekilo) H_J = jauheen ostohinta (€/kg)
tai	Energiakustannukset (K_E)
$K_S = M \times S \times H_S \text{ (€/m)}$	$K_E = M \times E \times H_E \text{ (€/m)}$
M = hitsiainemäärä (kg/m) S = kaasun kulutus (m ³ /hitsiainekilo) H_S = suojakaasun ostohinta (€/m ³)	M = hitsiainemäärä (kg/m) E = energian kulutus (kWh/hitsiainekilo) H_E = energian hinta (€/kWh)
Konekustannukset (K_K)	Koneen tuntihinta (H_{KT})
$K_K = \frac{M}{T} \times \frac{1}{e} \times H_{KT} \text{ (€/m)}$	$H_{KT} = (H_H \times (\frac{1}{T_p} + \frac{p}{2 \times 100}) + Y) \times \frac{1}{T_k} \text{ (€/m)}$
M = hitsiainemäärä (kg/m) T = hitsiaineentuotto (kg/h) e = paloaikasuhte (-) H_{KT} = koneen tuntihinta (€/h)	H_H = koneen ostohinta (€) T_p = koneen poisto aika (v) p = pääoman korkoprosentti (%) Y = vuosittaiset kunnossapitokustannukset (€) T_k = koneen vuosittainen käyttöaika (h)

Hitsauskustannusten laskentakaava (€/metri) (Esab, hitsausuutiset 1/2006).

TERÄSRAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA PAREMPAAN VALMISTETTAVUUTEEN

ONNISTUNEEN SUUNNITTELUN PERIAATTEITA - DFMA

Tämä opas on tarkoitettu teräs- ja hitsattavien rakenteiden suunnittelijoille. Opas antaa ohjeita ja vinkkejä parempaan valmistettavuuteen ja kustannustehokkuuteen hyvin lyhyesti. Oppaan painopiste on saada suunnittelun avulla mahdolliseksi alhaisempi valmistushinta, lyhyempi toimitusaika ja parempi toimitusvarmuus sekä varmistaa valmistuksen riittävä laatu. Suunnittelussa määräytyy 70...80 % tuotteen valmistuskustannuksista.

Hyvän ja tuotantotehokkaan suunnittelun edellytys on, että suunnittelija tuntee tuotannossa olevien valmistusmenetelmien ja laitteiden mahdollisuudet ja rajoitukset. Suunnittelijan on otettava selvää, mitä mahdollisuuksia tuotteen valmistuksessa on.

Lyhyesti ilmaistuna suunnittelijan työ on suunnitella tuote niin, että sen valmistaminen kuluttaa mahdollisimman vähän aikaa ja panoksia raaka-aineesta valmiiksi tuotteeksi.



Vipuvoimaa
EU:lta
2007-2013



Junttan
respecting ground

normet
FOR TOUGH JOBS

PONSSE

