



LAND OF THE CURIOUS





SUUNNITTELUTOIMISTON JA LASERTYÖSTÖKONEPAJAN YHTEISTOIMINTA



E-liikkuvuuden kehittyneet valmistus menetelmät

<http://www.lut.fi/fi/projektit/e-liikkuvuuden-kehittyneet-valmistusmenetelmat-elikeya>



SISÄLTÖ

» Standardit lasertyöstössä

- » Yleisiä standardeja lasertyöstössä ja tuotannossa
- » ISO 13919-1 & 2 — Hitsausliitosten hyväksymisrajat (säteellä hitsatut metallimateriaalit)
- » ISO 2553 Teknisen piirustuksen merkinnät (Hitsausprosessit)
- » ISO 9013: Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemäärittely ja laatutoleranssit
- » Mikroliitokset laserleikkauksessa

» Lasertyöstö: Suunnittelusta valmistukseen

- » Tiedostomuodot suunnitteluohjelmistoista
- » Dokumentit valmistuksen tueksi



STANDARDIT LASERTYÖSTÖSSÄ



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA





STANDARDIT LASERTYÖSTÖSSÄ

- » Lasertyö on laajasti standardoitua, sillä siinä yhdistyvät monet turvallisuus-, laite- ja laatuvaatimukset sekä menetelmäkokeet.
- » Turvallisuusstandardit määrittelevät laserlaitteiden luokat, suojaukset ja käyttöturvallisuuden.
- » Eri työstömenetelmien (hitsaus, leikkaus, merkintä jne.) standardit käsittelevät mm. laadunhallintaa, menetelmäkokeita, laite- ja materiaalivaatimuksia sekä terminologiaa.

TURVALLISUUSSTANDARDIT

Standardi	Kuvaus
EN 60825 / IEC 60825	Kansainvälinen ja eurooppalainen perusstandardi laserien turvallisuudesta (luokittelu, varoitusmerkinnät, suojaukset).
ISO 11553-1 ja -2	Laserjärjestelmien turvallisuus: ohjeet teolliseen käyttöön ja käsiohjattuihin laitteisiin.
EN ISO 12100	Koneiden yleinen turvallisuussuunnittelu (riskien arviointi).
EN 60204-1	Koneiden sähköjärjestelmien turvallisuus (myös laserlaitteille).
IEC/TR 60825-14	Käyttäjän opas laserien turvalliseen käyttöön.
SFS-EN 60825	Suomenkielinen versio IEC 60825 -standardista.

» ISO 11553 Osa-1:
Laserleikkaus ja
hitsaus. Osa-2:
Merkintä ja mikrotyöstö

YLEISET HYVÄKSYNTÄSTANDARDIT

Standardi	Nimi / sisältö	Käyttö
ISO 13919-1	Säteellä hitsattujen metalliliitosten hyväksymisrajat (elektronisuihku ja laser, metallimateriaalit)	Laserhitsauksen laadun arviointi
ISO 13919-2	Säteellä hitsattujen ei-metallisten materiaalien hyväksymisrajat	Esim. muovien laserhitsaus
ISO 15609-4	Hitsausohje (WPS) – Osa 4: Laserhitsaus	Määrittelee WPS-dokumentoinnin laserhitsauksessa
ISO 15614-11	Hitsausmenetelmäkoe – Laserhitsaus	Menetelmäkokeen suoritus ja hyväksyntämenettely
ISO 14732	Hitsausoperaattorien ja ohjelmoijien pätevyys	Laserhitsauksen operaattorin pätevyysvaatimukset
EN ISO 3834	Hitsauksen laadunhallintavaatimukset	Laadunvarmistus hitsausprosesseissa

PROSESSI- JA LAATUVAATIMUKSET

Standardi	Kuvaus
ISO 9013	Leikkauslaadun luokitus termisille leikkausprosesseille (myös laserleikkaus).
ISO 17658	Hitsaus- ja leikkausmerkintöjen määrittely piirustuksissa.
ISO 17672 / ISO 4063	Hitsaus- ja leikkausprosessien tunnuksot ja koodit (laserprosessit sisältyvät).
ISO 3834	Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset (laserhitsaus kuuluu tähän).
ISO 14744 (osat 1–7)	Laserhitsauksen prosessien ja laadunvalvonnan standardisarja.
ISO 14175	Suojakaasujen luokittelu laserhitsauksessa ja -leikkauksessa.
EN 1090	Teräs- ja alumiinirakenteiden valmistusstandardi (sisältää laserleikkauksen hyväksynät).



MITTAUS, TARKKUUS JA DOKUMENTOINTI

Standardi	Kuvaus
ISO 9013	Määrittää laserleikkauksen leikkauspinnan karkeus- ja tarkkuusluokat.
ISO 6892 / ISO 6507 / ISO 4287	Mekaaniset ominaisuudet, kovuus ja pinnankarheus — käytetään leikattujen kappaleiden laadunvarmistuksessa.
ISO 10303 (STEP)	Tiedonsiirto tuotannossa (CAD–CAM–CNC–laser).
ISO 5459 / ISO 1101	Geometriset toleranssit ja mittaustarkkuuden määrittely piirustuksissa.

YMPÄRISTÖ JA KÄYTTÖOLOSUHTEET

Standardi	Kuvaus
ISO 14001	Ympäristöjohtamisjärjestelmä – vaaditaan monissa teollisuuslaserprojekteissa.
ISO 50001	Energiatehokkuus – koskee myös laserjärjestelmiä ja niiden käyttöä.
EN 12254	Suojamateriaalien (esim. verhojen ja suojalasien) vaatimukset laserin aallonpituudelle.



ISO 13919-1 & 2 — HITS AUSLIITOSTEN HYVÄKSYMISRAJAT (SÄTEELLÄ HITSATUT METALLIMATERIAALIT)



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

 LUT
University



ISO 13919-1 & 2 — HITS AUSLIITOSTEN HYVÄKSYMISRAJAT (SÄTEELLÄ HITSATUT METALLIMATERIAALIT)

- » Määrittelee hitsausliitosten hyväksymisrajat metallimateriaaleille, kun hitsaus suoritetaan säteillä — erityisesti elektronisuihku- ja laserhitsauksella.
- » Tavoitteena yhdenmukaistaa laadunvalvonta ja tarkastuskriteerit eri teollisuudenalojen välillä, kun käytetään sädehitsausmenetelmiä.



ISO 13919-1 & 2

- » Määrittää hitsausliitosten epätäydellisyyksien (virheiden) sallitut rajat tuotteen lujuus- ja turvallisuusvaatimusten perusteella.
- » Laatuluokat: jaettu kolmeen hyväksyntäluokkaan: B: tiukin laatuvaatimus (korkean tarkkuuden osat, esim. ilmailu). C: normaali laatu (yleinen koneenrakennus). D: lievempi laatu (vähemmän kriittiset rakenteet).
- » Käsittelee mm.: Huokoset ja ontelot, epätäydellinen tunkeuma, halkeamat, muodonmuutokset ja epäsymmetria, pintavirheet
- » ISO 13919-1: Teräkset, nikkeli, titaani ja näiden seokset.
- » ISO 13919-2: Alumiini, magnesium ja näiden seokset sekä puhdas kupari.



LAATULUOKAT (ISO 13919)

Luokka B: kriittiset osat (esim. ilmailu, lääketieteelliset laitteet).

Luokka C: tavanomainen teollisuus, kuten koneenrakennus ja kuljetinrakenteet.

Luokka D: vähemmän vaativat rakenteet, joissa esteettinen tai täydellinen tunkeuma ei ole ratkaiseva.

LAATULUOKAT (ISO 13919)

Virhetyyppi	Laatuluokka B (tiukka)	Laatuluokka C (normaali)	Laatuluokka D (lievä)	Huomio
Huokoset / ontelot	Yksittäiset huokoset $\leq 0,2$ t tai max. 1 mm	Yksittäiset $\leq 0,3$ t tai max. 2 mm	Yksittäiset $\leq 0,4$ t tai max. 3 mm	t = aineen paksuus
Huokosten kokonaismäärä	≤ 2 % hitsin pituudesta	≤ 4 %	≤ 6 %	
Epätäydellinen tunkeuma	Ei sallittu	≤ 5 % paksuudesta	≤ 10 % paksuudesta	Vain ei-kriittisissä kohdissa
Epätäydellinen sulautuminen	Ei sallittu	Vähäinen, ei jatkuva	Sallittu, jos ei vaikuta lujuuteen	
Halkeamat	Ei sallittu	Ei sallittu	Ei sallittu	Halkeamat ovat aina hylkäysperuste
Roiskeet, pinnan epätasaisuudet	Pieni, ei vaikuta toimintaan	Sallittu vähäinen	Sallittu, jos ei haittaa	
Muodonmuutokset / virheasento	Erittäin pieni (tarkka sovitus)	Kohtalainen	Suurempi sallittu	Määritetään piirustuksissa
Reunahaava? / ylikorkeus	$\leq 0,1$ t tai 0,3 mm	$\leq 0,2$ t tai 0,5 mm	$\leq 0,3$ t tai 0,8 mm	



TEKNISEN PIIRUSTUKSEN MERKINNÄT ISO 2553 (HITSAUSPROSESSIT)

» Welding and allied processes. Symbolic presentation on drawings. Welded joints



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO



LAPPEENRANTA

 LUT
University

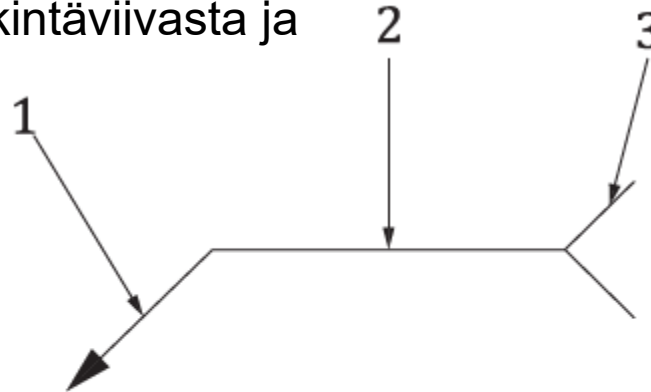


TEKNISEN PIIRUSTUKSEN MERKINNÄT

- » Teknisten piirustuksien tarkoitus on selkeästi ja ymmärrettävästi esittää suunnitteluun liittyviä määrittämiä.
- » Hitsausmerkkejä voidaan käyttää hitsattuja komponentteja esittävissä teknisissä piirustuksissa.
- » Suunnitteluun liittyvät määrittämiä, kuten hitsilaji, aineenpaksuus, hitsin pituus, hitsin laatu, pintakäsittely, hitsausaineet ja testausmäärittämiä, voidaan merkitä suoraan hitsin kohdalle.
- » Tuotannon valmistelu saattaa vaatia yksityiskohtaista hitsauksen liittyvää suunnittelua.
- » Standardi ”ISO 2553 Hitsaus ja sen lähiprosessit. Piirustusmerkinnät. Hitsausliitokset” määrittää teknisissä piirustuksissa esitettävien hitsausliitosten piirustusmerkintöjä koskevat säännöt.

HITSAUSMERKKI

- » Perusmerkki
- » Koostuu viitenuolesta, merkintäviivasta ja haarukasta.



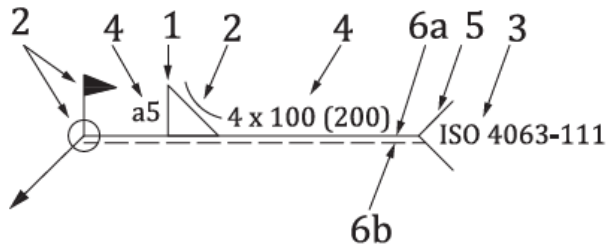
Selite

- 1 viitenuoli
- 2 merkintäviiva
- 3 haarukka

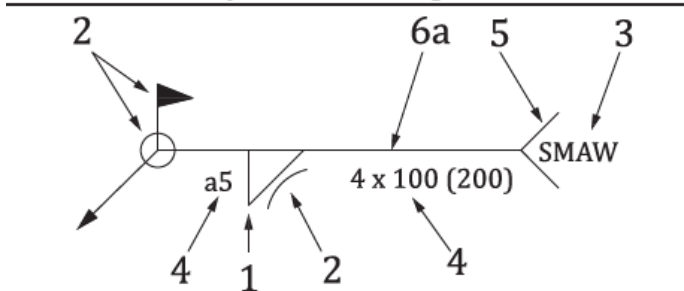
- » Viitenuolta käytetään hitsattavan liitoksen osoittamiseen.
- » Merkintäviivaa yhdessä perustunnuksien kanssa käytetään osoittamaan kumpaa liitoksen puolta on tarkoitus hitsata.
- » Haarukka on valinnainen elementti, joka voidaan lisätä ehyen merkintäviivan päähän, kun halutaan antaa lisätietoja hitsausmerkin osana.

HITSAUSMERKKI

» Esimerkki hitsausmerkkien käytöstä



a) Merkintätapa A



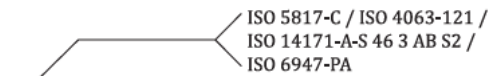
b) Merkintätapa B

- 1 perustunnus (pienahitsi)
- 2 lisätunnus (kouruhitsi, asennushitsi, ympärihitsattu hitsi)
- 3 lisätiedot (puikkohitsaus (prosessi 111 (SMAW) standardin ISO 4063 mukaan))
- 4 mitat (nimellinen a-mitta 5 mm, katkopianahitsi, joka muodostuu neljästä 100 mm:n pituisesta osahitsistä, joiden väli on 200 mm)
- 5 haarukka
- 6a merkintäviiva (ehyt)
- 6b katkoviiva (vain merkintätapa A)

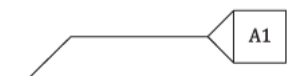
HUOM. Sekä a) että b) merkitsevät saman asennuskatkopianahitsin nuolen puolelle: nimellinen a-mitta 5 mm, katkopianahitsi, joka muodostuu neljästä 100 mm:n pituisesta osahitsistä, joiden väli on 200 mm.

» Haarukan merkinnät

- » Suljettua haarukkaa on käytettävä ainoastaan erityisohjeeseen viittaamiseen, esimerkiksi viittaus hitsausohjeeseen (WPS), hitsausohjeen hyväksymispöytäkirjaan (WPQR) tai muihin asiakirjoihin



a) Avoin haarukka



b) Suljettu haarukka

hitsiluokka, esimerkiksi standardit ISO 5817, ISO 10042, ISO 13919 jne.

hitsausprosessi, esimerkiksi numerotunnus standardin ISO 4063 mukaan tai lyhenne

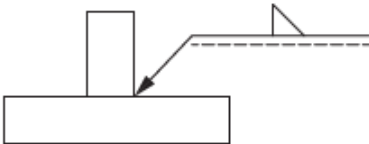
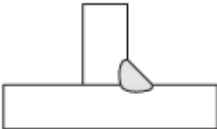
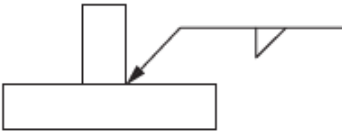
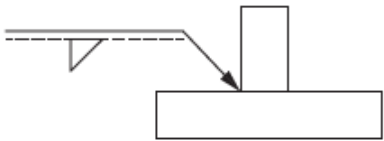
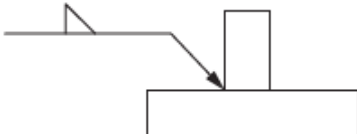
lisäaine, esimerkiksi standardit ISO 14171, ISO 14341 jne.

hitsausasento, esimerkiksi standardin ISO 6947 mukaan

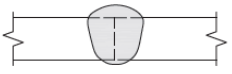
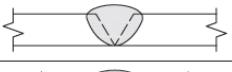
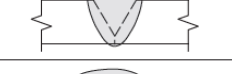
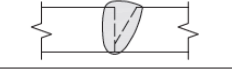
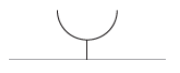
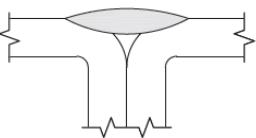
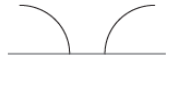
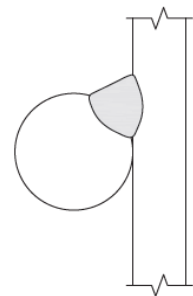
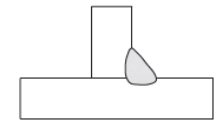
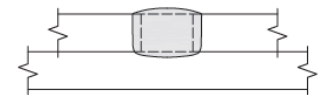
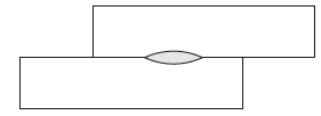
huomioon otettavia lisätietoja, kun hitsiä tehdään.

HITSAUSMERKKI

» Hitsattavan puolen määrittäminen

Hitsin sijainti	Merkintätapa A	Sama hitsi hitsattu kaikilla neljällä vaihtoehdolla	Merkintätapa B
Nuolen puoli	 tunnus merkintäviivan ehyellä viivalla		 tunnus merkintäviivan alapuolella
Vastapuoli	 tunnus merkintäviivan katkoviivaosalla		 tunnus merkintäviivan yläpuolella
HUOM. 1 Merkintätavassa A merkintäviivan osa, jossa perustunnus sijaitsee, määrittää liitoksen hitsattavan puolen – katkoviiva voidaan piirtää ehyen viivan ylä- tai alapuolelle. HUOM. 2 Merkintätavassa B perustunnuksen sijoitus merkintäviivan ylä- tai alapuolelle määrittää liitoksen hitsattavan puolen.			

PERUSTUNNUKSET

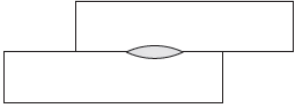
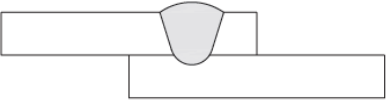
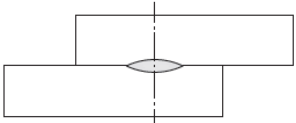
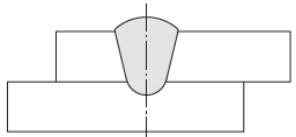
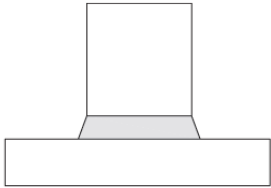
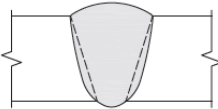
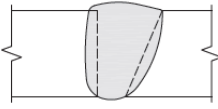
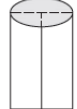
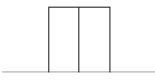
Nro	Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa railon muodon ennen hitsausta)	Tunnus ^a
1	I-hitsi ^b		
2	V-hitsi ^b		
3	V-hitsi (osaviistetty railo) ^b		
4	Puoli-V-hitsi ^b		
5	Puoli-V-hitsi (osaviistetty railo) ^b		
6	U-hitsi ^b		
7	J-hitsi ^b		
8	Kaksoiskylkihitsi		
9	Yksikylkihitsi		
10	Pienahitsi		
11	Tulppahitsi		
12.1	Vastuspistehitsi ^c		

^a Harmaa viiva ei kuulu merkkiin. Se kuvaa merkintäviivan sijaintia.

^b Päittäishitsit ovat läpihitsattuja, ellei hitsausmerkissä erikseen mitoitettu tai viitattu muihin tietoihin, esim. hitsausohjeeseen (WPS).

^c Merkkiä voidaan käyttää myös liitoksille, joissa on enemmän kuin kaksi osaa.

PERUSTUNNUKSET

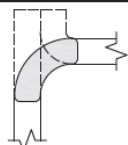
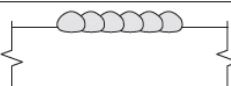
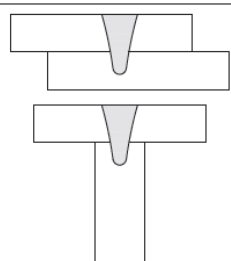
Nro	Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa railon muodon ennen hitsausta)	Tunnus ^a
12.2	Käsnähitsi		Merkintätapa A 
			Merkintätapa B 
13	Sulapistehitsi		
14	Saumakehitsi ^c		
15	Sulasaumakehitsi		
16	Tapitushitsi		
17	Jyrkkäkyllinen V-hitsi ^b		
18	Jyrkkäkyllinen puoli-V-hitsi ^b		
19	Reunahitsi ^c		
20.1	Laipoitettu päittäishitsi (ks. myös taulukko 4)		

^a Harmaa viiva ei kuulu merkkiin. Se kuvaa merkintäviivan sijaintia.

^b Päittäishitsit ovat läpihitsattuja, ellei hitsausmerkissä erikseen mitoitettu tai viitattu muihin tietoihin, esim. hitsausohjeeseen (WPS).

^c Merkkiä voidaan käyttää myös liitoksille, joissa on enemmän kuin kaksi osaa.

PERUSTUNNUKSET

Nro	Hitsilaji	Kuva (katkoviiva kuvaa railon muodon ennen hitsausta)	Tunnus ^a
20.2	Laipoitettu nurkkaliitos		
21	Päällehitsi		
22	Kapeasaumakehitys ^c		

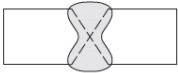
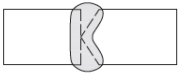
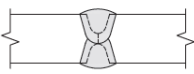
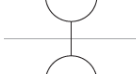
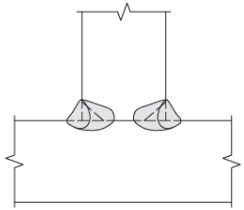
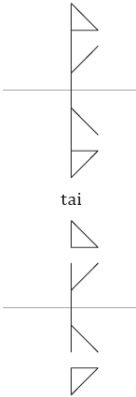
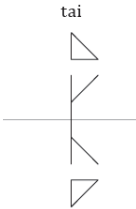
^a Harmaa viiva ei kuulu merkkiin. Se kuvaa merkintäviivan sijaintia.

^b Päittäishitsit ovat läpihitsattuja, ellei hitsausmerkissä erikseen mitoitettu tai viitattu muihin tietoihin, esim. hitsausohjeeseen (WPS).

^c Merkkiä voidaan käyttää myös liitoksille, joissa on enemmän kuin kaksi osaa.

PERUSTUNNUKSET

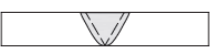
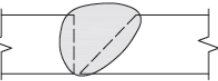
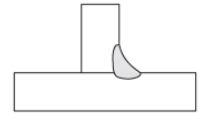
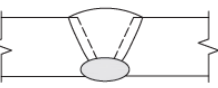
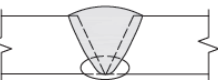
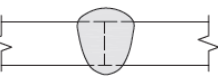
» Kaksipuoleiset hitsit

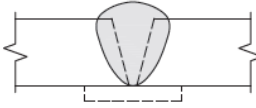
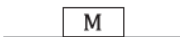
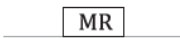
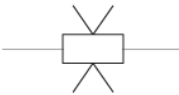
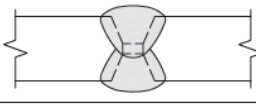
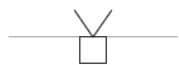
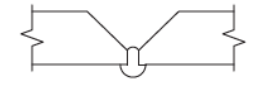
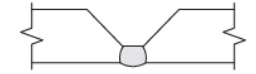
Nro	Hitsin tyyppi	Hitsin kuva ^a	Tunnus ^b
1	X-hitsi		
2	K-hitsi		
3	Kaksois-U-hitsi		
4	K-hitsi (osaviistetty K-railo) ja pienahitsit		 tai 

^a Hitsit voivat olla osittain läpihitsatut tai läpihitsatut. Tämä merkitään mittana hitsausmerkkiin (ks. [taulukon 6](#) nro 1.1 ja nro 1.2) tai viittaamalla muihin tietoihin, esimerkiksi hitsausohjeeseen (WPS).

^b Harmaa viiva ei kuulu merkkiin. Se kuvaa merkintäviivan sijaintia.

LISÄTUNNUKSET

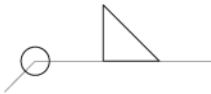
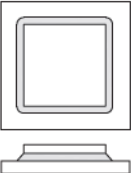
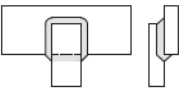
Nro	Nimike	Tunnus ^a	Sovellusesimerkki ^a	Hitsin kuva
1	Tasahitsi (viimeistely pinta) ^b	—		
2	Kupuhitsi ^b	—		
3	Kouruhitsi ^b	—		
4	Juoheva ylimenokohta ^c	—		Ei esimerkkiä
5	a) Juuripalko ^d (hitsataan V-hitsin jälkeen)			
	b) Juuritukihitsi ^d (hitsataan ennen V-hitsiä)			
6	Määritetty juurikupu (päittäishitsit) ^e			

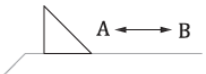
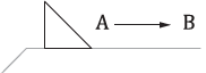
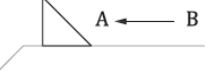
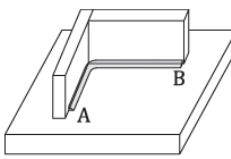
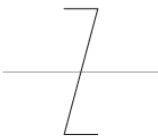
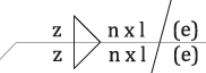
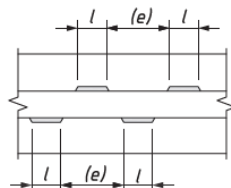
7a	Juurituki (määrittämätön)			
7b	Pysyvä juurituki ^f			
7c	Poistettava/väliaikainen juurituki ^f			
8	Sovituspala ^g			
9	Sulava juurituki ^g			
				

a) Raito, jossa on sulava juurituki

b) Hitsausliitos, jossa on juuripalko (sulava juurituki sisältyy juureen). V-hitsiä ei näy.

LISÄTUNNUKSET

Nro	Nimike	Tunnus ^a	Sovellusesimerkki ^a	Hitsin kuva
10	Ympärihitsattu osa			 Esimerkki A  Esimerkki B  Esimerkki C

11	Hitsi kahden pisteen välillä		 tai  tai 	
12	Asennushitsi			Ei esimerkkiä
13	Vuorohitsit ^h		 tai 	

^a Harmaa viiva ei kuulu tunnukseseen. Se on lisätty ainoastaan kuvaamaan tunnuksen sijaintia merkintäviivalla ja/tai viitenuolella.

^b Hitsit, joiden pinnan on oltava likimääräisesti tasainen, kupumainen tai kourumainen ilman jälkikäsitteilyä, merkitään tasahitsin, kupuhitsin tai kouruhitsin tunnuksella.

Jälkikäsiteltävät tasahitsit, kupuhitsit tai kouruhitsit tai hitsit, jotka vaativat tasaisen mutta ei tasoitetun pinnan, vaativat lisätietoa, esim. lisätyn huomautuksen hitsausmerkin haarukkaan.

Pinnan viimeistelyn määrittämiseen voidaan käyttää standardissa ISO 1302 määriteltyjä muita tunnuksia.

^c Ylimenokohdat käsitellään jouheviksi hitsaamalla tai viimeistelemällä. Viimeistelytavat voidaan määrittää työohjeessa tai hitsausohjeessa (WPS).

^d Hitsausjärjestys voidaan merkitä piirustukseen, esim. käyttämällä useita merkintäviivoja, haarukan huomautuksella tai viittaamalla hitsausohjeeseen.

^e Käytetään myös merkintätavassa B kuvaamaan laipoitettuja liitoksia (ks. kohta 4.5.6).

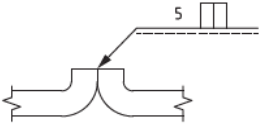
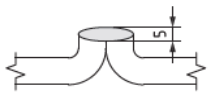
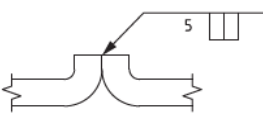
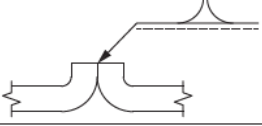
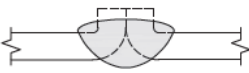
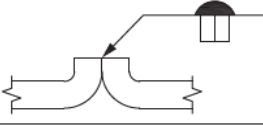
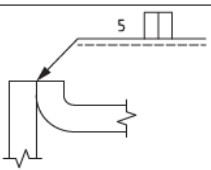
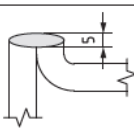
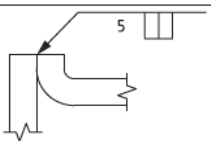
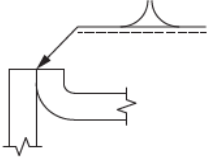
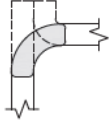
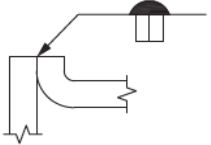
^f M = materiaali, joka jää lopulliseen hitsausliitokseen, MR = materiaali, jota poistetaan hitsauksen jälkeen. Muuta tietoa materiaaleista voidaan lisätä haarukkaan tai johonkin muuhun kohtaan.

^g Sulavan juurituen tai välin materiaali ja mitat voidaan määrittää hitsausmerkin haarukassa tai piirustuksessa.

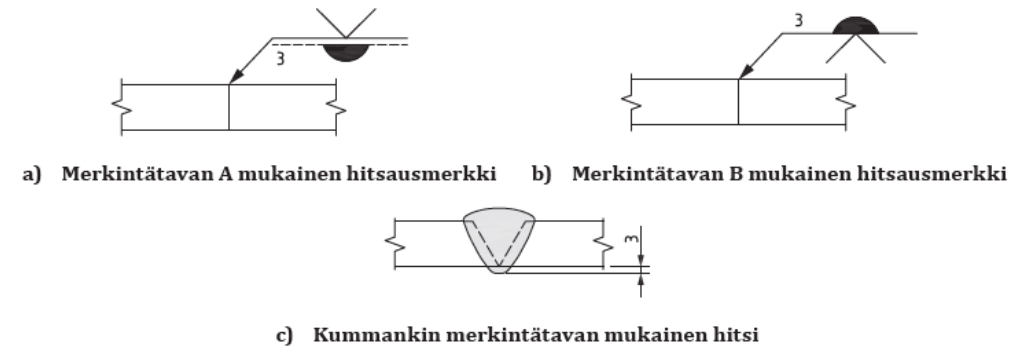
^h Tunnusten a, z, n, l ja (e) selitykset annetaan kohdassa 5.

LISÄTUNNUKSET

» Laipoitetut päittäis- ja nurkkaliitokset

Nro	Hitsin tyyppi	Merkintätavan A mukainen hitsausmerkki	Hitsin kuva	Merkintätavan B mukainen hitsausmerkki
LAIPOITETUT PÄITTÄISLIITOKSET				
1	Reunaliitos			
2	Laipoitettu päittäisliitos			
LAIPOITETUT NURKKALIITOKSET				
3	Reunaliitos			
4	Laipoitettu nurkkaliitos			

» Juurikuvun tunnus





ISO 9013: TERMINEN LEIKKAUS. TERMISESTI LEIKATTUJEN PINTOJEN LUOKITTELU. GEOMETRINEN TUOTEMÄÄRITTELY JA LAATUTOLERANSSIT

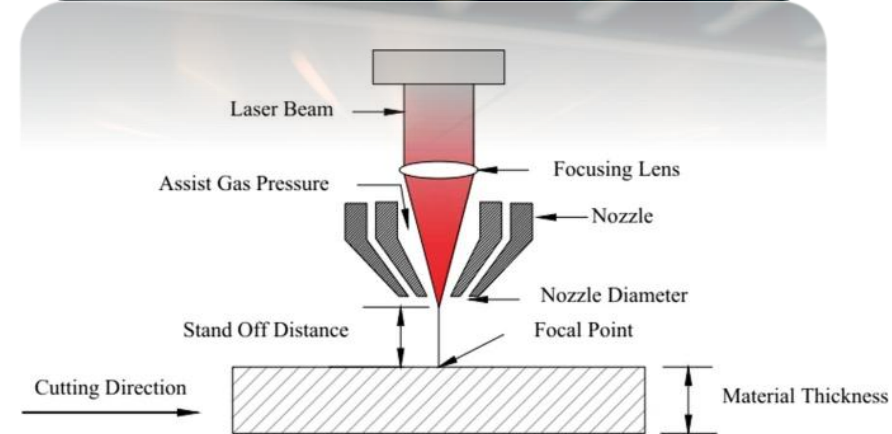
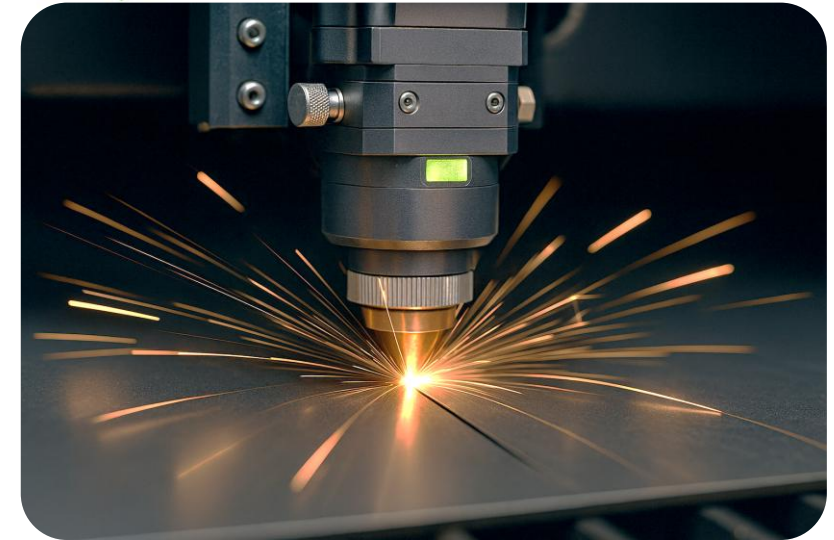


ISO 9013

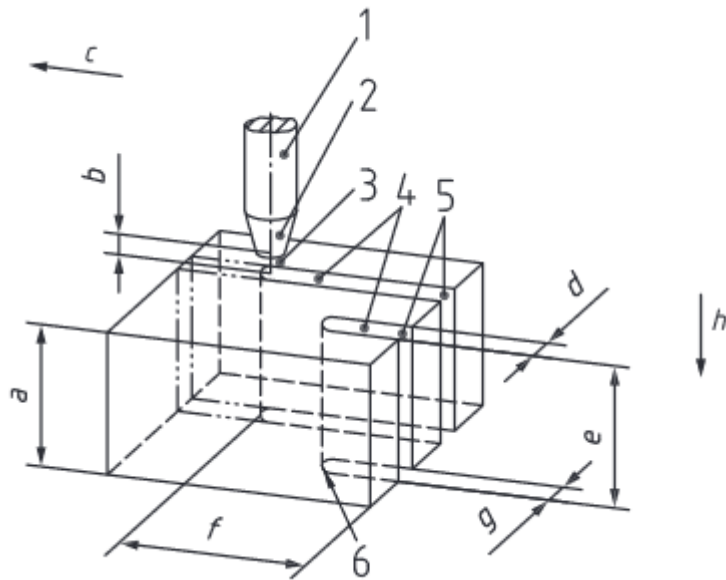
- » Termisesti leikattujen pintojen luokittelun geometriset tuotemäärittelyt ja laatutoleranssit poltto-, plasma- ja laserleikkaukseen sopiville materiaaleille.
- » Standardi soveltuu laserleikatuille pinnoille, joiden aineenpaksuus on 0,5...32 mm.
- » Materiaali sopii leikattavaksi laserilla, jos materiaalin ominaisuudet leikkausalueella ovat sellaiset, että komponentti säilyttää vähintään ne ominaisuudet, jotka vaaditaan tarkoitettuun käyttöön. Soveltuvat materiaalit ovat seostamattomat teräkset, seosteräkset, nikkelipohjaiset materiaalit, titaaniseokset, alumiiniseokset ja muita.

ISO 9013

- » Laserleikkaus on terminen leikkausprosessi, jossa fokusoitu lasersäde tuottaa leikkaukseen tarvittavan energian, joka muutetaan lämmöksi. Leikkausprosessia avustetaan kaasusuihkulla.
- » Laserleikkauksen muotoja ovat laserpolttoleikkaus, lasersulatusleikkaus ja lasersublimaatioleikkaus.
- » Saavutettavissa oleva leikkauslaatutaso voi vaihdella riippuen laserleikkauksessa käytettävän laserlähteen tyypistä (tyypillisesti CO₂- tai kidelaser).



ISO 9013: TERMIT (PROSESSI)

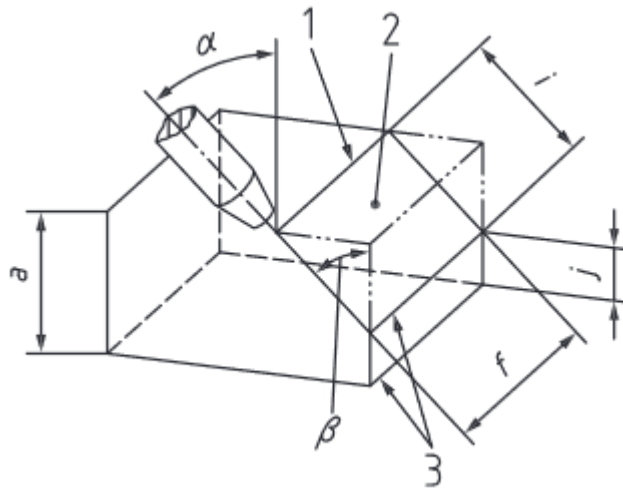


Selite

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 | Leikkauspoltin |
| 2 | Suutin |
| 3 | Säde/liekki/kaari |
| 4 | Leikkausrailo |
| 5 | Leikkauksen aloituskohta |
| 6 | Leikkauksen lopetuskohta |

- | | |
|----------|----------------------------|
| <i>a</i> | Työkappaleen aineenpaksuus |
| <i>b</i> | Suutinetäisyys |
| <i>c</i> | Leikkaussuunta |
| <i>d</i> | Leikkaurailon pintaleveys |
| <i>e</i> | Leikkaussyvyys |
| <i>f</i> | Leikkauksen pituus |
| <i>g</i> | Leikkaurailon pohjaleveys |
| <i>h</i> | Leikkauksen syvyysuunta |

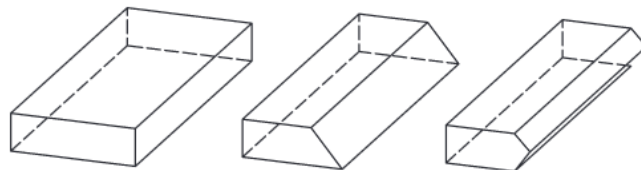
ISO 9013: TERMIT (TYÖKAPPALE)



Selite

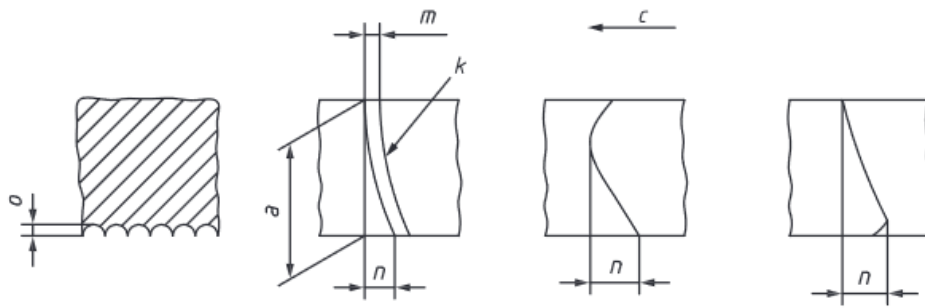
- 1 Leikkauksen yläreuna
- 2 Leikkauksen pinta
- 3 Leikkauksen alareuna
- a Työkappaleen aineenpaksuus
- i Leikkaussyvyys
- j Juuripinnan korkeus
- f Leikkauksen pituus
- α Polttimen asetuskulma
- β Leikkauskulma

LEIKKAUSTYYPIT JA -TERMIT



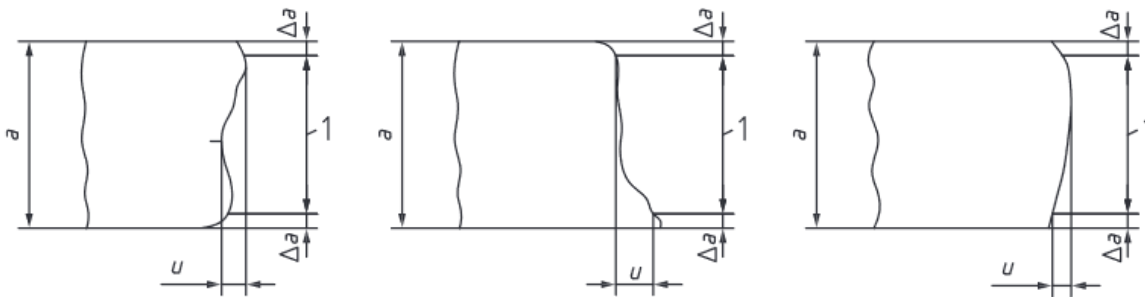
- 1 Kohtisuora leikkaus
- 2 Viisto leikkaus
- 3 Viisto leikkaus molemmilta puolilta

- » Jättämä (n): Leikkauksen etenemisrintaman kahden reunan välinen projisoitu etäisyys leikkaussuunnassa.
- » Leikkausrailon leveys: leikkausprosessin aikana syntyvä leikkauksen leveys leikkauksen yläreunalla tai välittömästi suihkun aiheuttaman pinnan sulamisen alapuolella

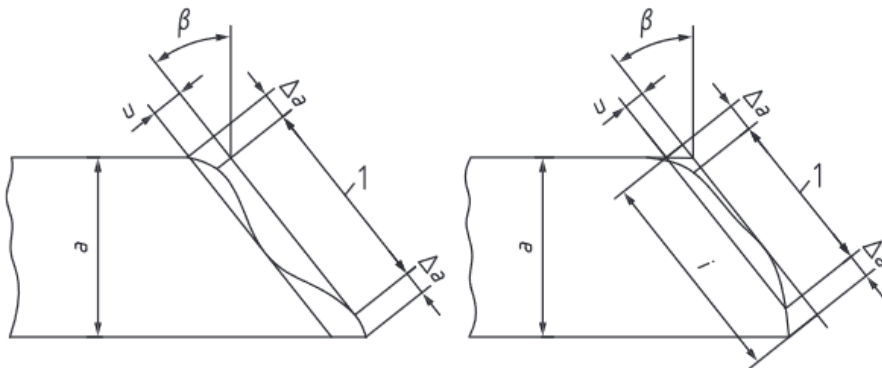


- a Työkappaleen aineenpaksuus (merkintäviiva)
- c Leikkaussuunta
- k Jättämän viiva
- m Jättämän leveys
- n Jättämä
- o Jättämän syvyys

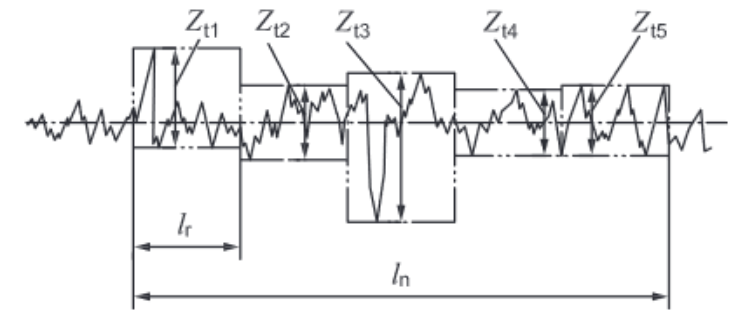
KOHTISUORUUS- TAI KALTEVUUSTOLERANSSIT



a) Kohtisuora leikkaus



b) Viisto leikkaus

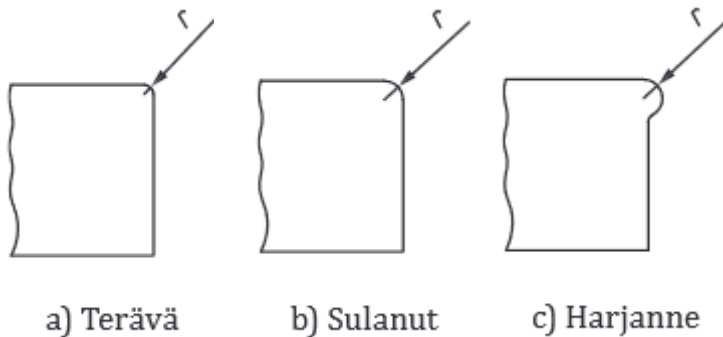


$Z_{t1} \dots Z_{t5}$ Yksittäisiä profiilielementin korkeuksia
 l_n Mittauspituus
 l_r Yksittäinen mittausjakso ($1/5 l_n$)

- 1 Etäisyys, jolla lasketaan pinta-ala, jota käytetään kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssin määrittämisessä
- a Työkappaleen aineenpaksuus
- Δa Leikkaussyvyyden vähennys
- i Leikkaussyvyys
- u Kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi
- β Leikkauskulma

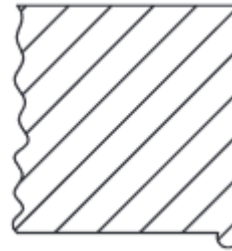
TERMISTÖÄ

» Pyöristymä



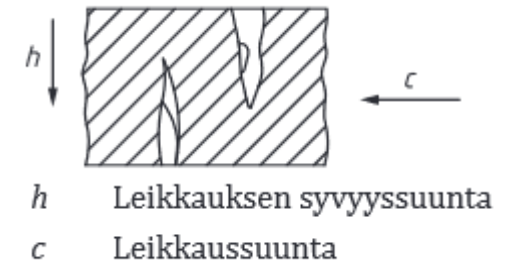
Kuvaa leikkauksen
yläreunan muotoa

» Purse/parta



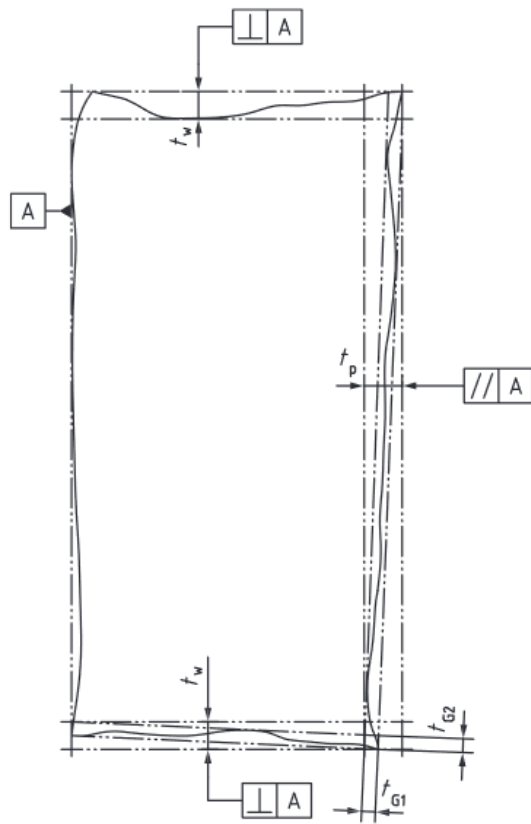
Leikkauksen alareunaan
jäävä metallijäänne

» Uurre



Leikkausjälki, jonka leveys, syvyys ja muoto on epämääräinen ja esiintyy yleensä leikkauksen syvyysuunnassa terävänä poikkeamana

MUOTO- JA SIJAINITOLERANSSIT



t_W Kohtisuoruustoleranssi (ks. ISO 1101) leikkausleveydelle peruselementtiin A nähden

t_P Yhdensuuntaisuustoleranssi (ks. ISO 1101) leikkausleveydelle peruselementtiin A nähden levyllä

t_{G1} Suoruustoleranssi (ks. ISO 1101) leikkauspituudelle

t_{G2} Suoruustoleranssi (ks. ISO 1101) leikkausleveydelle

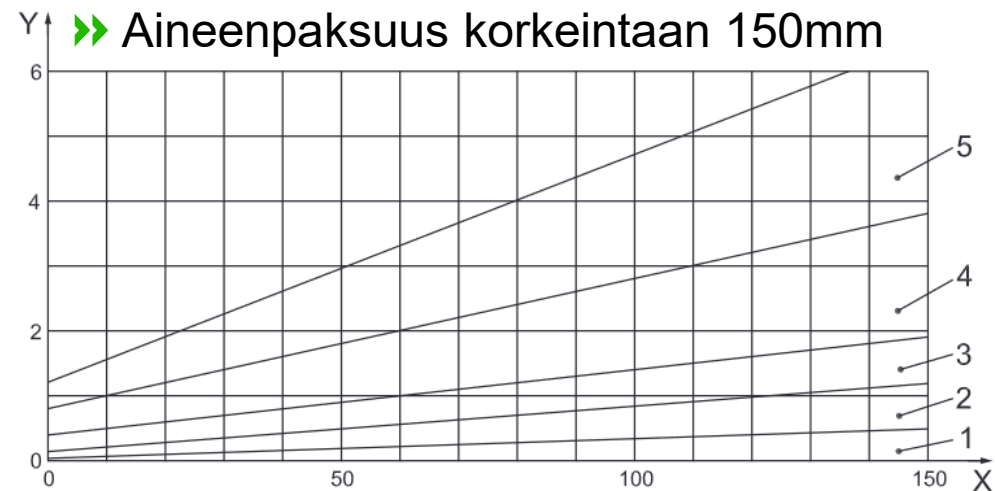
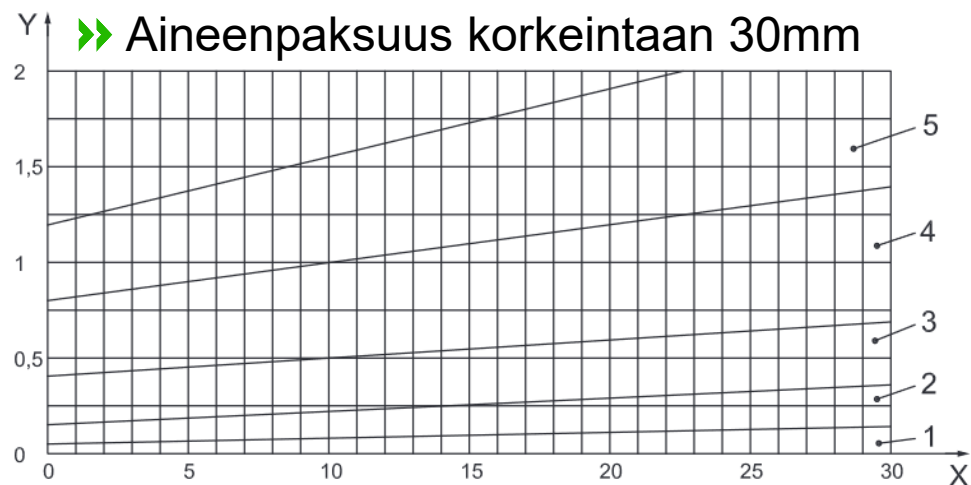
ISO 1101 määrittää työkappaleen geometrinen määrittelyjen merkintäkielen ja säännöt sen tulkintaan.

TOLERANSSIT: KOHTISUORUUS JA KALTEVUUS

Alue	Kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi, u mm
1	$0,05 + 0,003 a$
2	$0,15 + 0,007 a$
3	$0,4 + 0,01 a$
4	$0,8 + 0,02 a$
5	$1,2 + 0,035 a$

X leikkaussyvyys, e , mm

Y kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi, u , mm



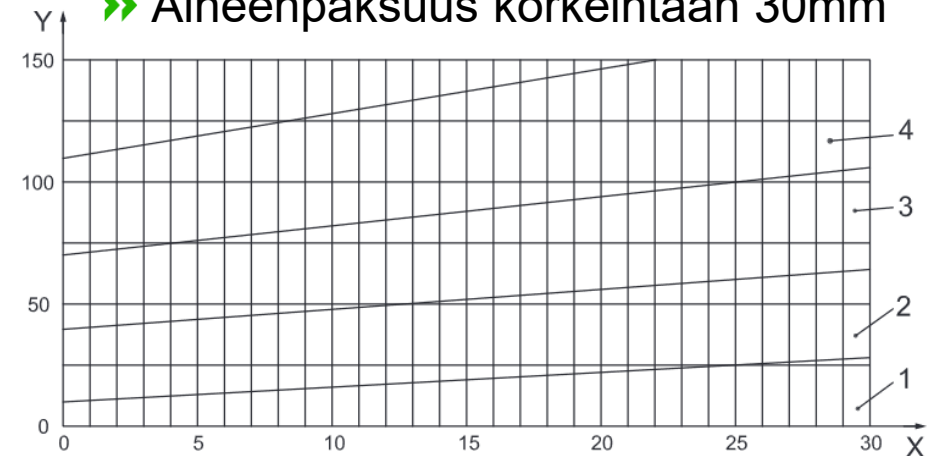
PROFIILISYVYYS

Alue	Profiilisyvyyden keskiarvo, $Rz5$ μm
1	$10 + (0,6 a \text{ mm})$
2	$40 + (0,8 a \text{ mm})$
3	$70 + (1,2 a \text{ mm})$
4	$110 + (1,8 a \text{ mm})$

X Leikkaussyvyys, e , mm

Y Profiilisyvyyden keskiarvo, $Rz5$

» Aineenpaksuus korkeintaan 30mm



» Aineenpaksuus korkeintaan 150mm



MITTATOLERANSSIT

- » Laserleikkauksessa saavutettavat mittatoleranssit riippuvat pääasiassa työkappaleen pituus/leveys-suhteesta, geometriasta ja esikäsittelystä
- » Annetut luokat eivät päde leikkauksen aloitus- ja lopetuskohdassa ja ne voidaan saavuttaa vain huolletuilla koneilla ja koulutetuilla operaattoreilla.
- » Materiaalilaadun ja levylämpötilan verrattuna koneen lämpötilaan on oltava sopivat, jotta täytetään sallitut materiaalin venymän tai kutistuman vaatimukset. Venymät tai kutistumat voivat johtua esim. jäännösjännitysten vapautumisesta ja leikkauksen aikaisesta lämpölaajenemisesta.
- » Leikatun pinnan laadun (kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi) sallitut eromitat käsitellään erikseen työkappaleen mittapoikkeamien sallituista eromitoista, jotta voidaan korostaa erilaiset vaikutukset työkappaleille.

EROMITAT TOLERANSSILUOKALLE 1

Mitat mm

Työkappaleen aineenpaksuus a	Nimellismitat									
	> 0 ... < 3	≤ 3 ... < 10	≤ 10 ... < 35	≥ 35 ... < 125	≥ 125 ... < 315	≥ 315 ... < 1 000	≥ 1 000 ... < 2 000	≥ 2 000 ... < 4 000	≥ 4 000 ... < 6 000	≥ 6 000 ... < 8 000
	Sallitut eromitat									
> 0 ... ≤ 1	±0,075	±0,10	±0,10	±0,20	±0,20	±0,30	±0,40	±0,65	±0,90	±1,60
> 1 ... ≤ 3,15	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,25	±0,35	±0,40	±0,65	±1,00	±1,75
> 3,15 ... ≤ 6,3	±0,20	±0,20	±0,25	±0,25	±0,30	±0,40	±0,45	±0,70	±1,10	±1,90
> 6,3 ... ≤ 10	–	±0,25	±0,30	±0,30	±0,35	±0,45	±0,55	±0,75	±1,25	±2,20
> 10 ... ≤ 15	–	±0,30	±0,35	±0,40	±0,45	±0,55	±0,65	±0,85	±1,50	±2,50
> 15 ... ≤ 20	–	±0,40	±0,40	±0,45	±0,55	±0,75	±0,85	±1,2	±1,90	±2,80
> 20 ... ≤ 25	–	±0,45	±0,50	±0,60	±0,70	±0,90	±1,10	±1,60	±2,40	±3,25
> 25 ... ≤ 32	–	–	±0,70	±0,70	±0,80	±1,0	±1,6	±2,25	±3,00	±4,00
> 32 ... ≤ 50	–	–	±0,7	±0,70	±0,8	±1,0	±1,6	±2,5	±3,8	±5,0
> 50 ... ≤ 100	–	–	±1,3	±1,3	±1,4	±1,7	±2,2	±3,1	±4,4	±5,6
> 100 ... ≤ 150	–	–	±1,9	±2,0	±2,1	±2,3	±2,9	±3,8	±5,1	±6,3
> 150 ... ≤ 200	–	–	±2,6	±2,7	±2,7	±3,0	±3,6	±4,5	±5,7	±7,0
> 200 ... ≤ 250	–	–	–	–	–	±3,7	±4,2	±5,2	±6,4	±7,7
> 250 ... ≤ 300	–	–	–	–	–	±4,4	±4,9	±5,9	±7,1	±8,4

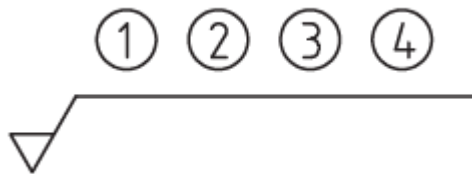
EROMITAT TOLERANSSILUOKALLE 2

Mitat mm

Työkappaleen aineenpaksuus <i>a</i>	Nimellimitat									
	> 0 ... < 3	≥ 3 ... < 10	≥ 10 ... < 35	≥ 35 ... < 125	≥ 125 ... < 315	≥ 315 ... < 1 000	≥ 1 000 ... < 2 000	≥ 2 000 ... < 4 000	≥ 4 000 ... < 6 000	≥ 6 000 ... < 8 000
	Sallitut eromitat									
> 0 ... ≤ 1	±0,5	±0,6	±0,6	±0,7	±0,7	±0,8	±0,9	±0,9	–	–
> 1 ... ≤ 3,15	±0,6	±0,6	±0,7	±0,7	±0,8	±0,9	±1	±1,1	±1,4	±1,4
> 3,15 ... ≤ 6,3	±0,7	±0,8	±0,9	±0,9	±1,1	±1,2	±1,3	±1,3	±1,6	±1,6
> 6,3 ... ≤ 10	–	±1	±1,1	±1,3	±1,4	±1,5	±1,6	±1,7	±1,9	±2
> 10 ... ≤ 15	–	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
> 15 ... ≤ 20	–	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
> 20 ... ≤ 25	–	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
> 25 ... ≤ 32	–	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
> 32 ... ≤ 50	–	±1,8	±1,8	±1,8	±1,9	±2,3	±3	±4,2	±4,3	±4,5
> 50 ... ≤ 100	–	–	±2,5	±2,5	±2,6	±3	±3,7	±4,9	±5,3	±5,6
> 100 ... ≤ 150	–	–	±3,2	±3,3	±3,4	±3,7	±4,4	±5,7	±6,1	±6,4
> 150 ... ≤ 200	–	–	±4	±4	±4,1	±4,5	±5,2	±6,4	±6,8	±7,1
> 200 ... ≤ 250	–	–	–	–	–	±5,2	±5,9	±7,2	±7,6	±7,9
> 250 ... ≤ 300	–	–	–	–	–	±6	±6,7	±7,9	±8,3	±8,6

TERMISEN LEIKKAUKSEN MERKINNÄT

- » Termisiin leikkausprosesseihin luokitellaan esim. polttoleikkaus, plasmaleikkaus ja laserleikkaus
- » Termiseen leikkaukseen liittyvä laatu ja toleranssiluokka merkitään käyttämällä standardin ISO 1302 mukaisia tunnuksia



1. Viittaus standardiin
2. Kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi, u
3. Profiilisyvyyden keskiarvo, Rz5
4. Toleranssiluokan tunnus

MERKINTÄ ESIMERKKI

Alue	Kohtisuoruus- tai kaltevuustoleranssi, u mm
1	$0,05 + 0,003 a$
2	$0,15 + 0,007 a$
3	$0,4 + 0,01 a$
4	$0,8 + 0,02 a$
5	$1,2 + 0,035 a$

Alue	Profiilisyvyyden keskiarvo, $Rz5$ μm
1	$10 + (0,6 a \text{ mm})$
2	$40 + (0,8 a \text{ mm})$
3	$70 + (1,2 a \text{ mm})$
4	$110 + (1,8 a \text{ mm})$

» Standardi

ISO 9013-342

Nimellismittoja koskevat sallitut eromitatoleranssiluokalle 2

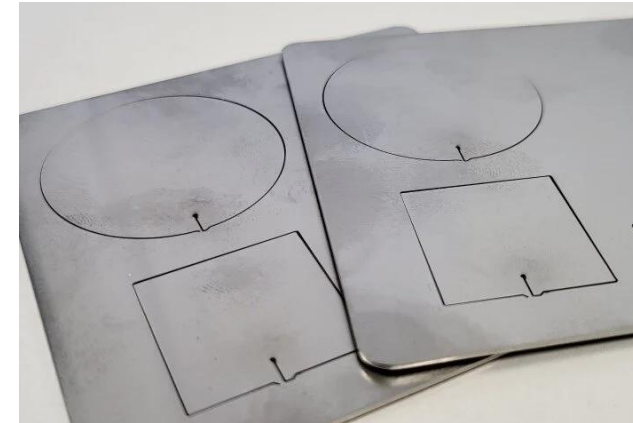
Mitat mm

Työkappaleen alteenpaksuus a	Nimellismitat									
	$> 0 \dots < 3$	$\geq 3 \dots < 10$	$\geq 10 \dots < 35$	$\geq 35 \dots < 125$	$\geq 125 \dots < 315$	$\geq 315 \dots < 1\,000$	$\geq 1\,000 \dots < 2\,000$	$\geq 2\,000 \dots < 4\,000$	$\geq 4\,000 \dots < 6\,000$	$\geq 6\,000 \dots < 8\,000$
	Sallitut eromitat									
$> 0 \dots \leq 1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 0,9$	–	–
$> 1 \dots \leq 3,15$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	± 1	$\pm 1,1$	$\pm 1,4$	$\pm 1,4$
$> 3,15 \dots \leq 6,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 0,9$	$\pm 1,1$	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,3$	$\pm 1,6$	$\pm 1,6$
$> 6,3 \dots \leq 10$	–	± 1	$\pm 1,1$	$\pm 1,3$	$\pm 1,4$	$\pm 1,5$	$\pm 1,6$	$\pm 1,7$	$\pm 1,9$	± 2
$> 10 \dots \leq 15$	–	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,9$	$\pm 2,3$	± 3	$\pm 4,2$	$\pm 4,3$	$\pm 4,5$
$> 15 \dots \leq 20$	–	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,9$	$\pm 2,3$	± 3	$\pm 4,2$	$\pm 4,3$	$\pm 4,5$
$> 20 \dots \leq 25$	–	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,9$	$\pm 2,3$	± 3	$\pm 4,2$	$\pm 4,3$	$\pm 4,5$
$> 25 \dots \leq 32$	–	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,9$	$\pm 2,3$	± 3	$\pm 4,2$	$\pm 4,3$	$\pm 4,5$
$> 32 \dots \leq 50$	–	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 1,9$	$\pm 2,3$	± 3	$\pm 4,2$	$\pm 4,3$	$\pm 4,5$
$> 50 \dots \leq 100$	–	–	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$	$\pm 2,6$	± 3	$\pm 3,7$	$\pm 4,9$	$\pm 5,3$	$\pm 5,6$
$> 100 \dots \leq 150$	–	–	$\pm 3,2$	$\pm 3,3$	$\pm 3,4$	$\pm 3,7$	$\pm 4,4$	$\pm 5,7$	$\pm 6,1$	$\pm 6,4$
$> 150 \dots \leq 200$	–	–	± 4	± 4	$\pm 4,1$	$\pm 4,5$	$\pm 5,2$	$\pm 6,4$	$\pm 6,8$	$\pm 7,1$
$> 200 \dots \leq 250$	–	–	–	–	–	$\pm 5,2$	$\pm 5,9$	$\pm 7,2$	$\pm 7,6$	$\pm 7,9$
$> 250 \dots \leq 300$	–	–	–	–	–	± 6	$\pm 6,7$	$\pm 7,9$	$\pm 8,3$	$\pm 8,6$



MIKROLIITOKSET LASERLEIKKAUKSESSA

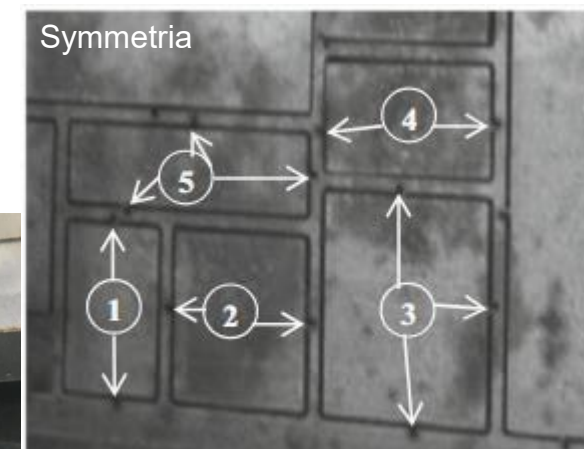
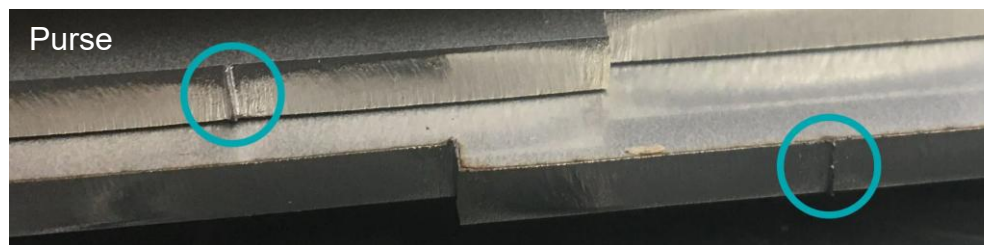
- » Mikroliitokset ovat hyvin pieniä, tarkoituksella leikkaamatta jätettyjä kohtia, jotka pitävät yksittäiset kappaleet kiinni levyn kehikossa leikkauksen aikana.
- » Mikroliitoksien tarkoituksena on estää kappaleiden liikkuminen/tippuminen leikkauksen aikana, helpottaa jälkikäsittelyä ja parantaa turvallisuutta.



MIKROLIITOKSET LASERLEIKKAUKSESSA

- » Mikroliitokset tulee sijoittaa symmetrisesti leikattavaan kappaleeseen muodonmuutosten estämiseksi
- » Pitkiin ja kapeisiin leikkausuriin useampi liitos
- » Sijoitusta kulmiin tai kriittisille toleranssi alueille tulee välttää
- » Mikroliitokset jättävät tyypillisesti pienen purseen, joka vaatii jälkikäsittelyn.

Materiaalin paksuus	Mikroliitoksen leveys
0,5–1 mm	0,2–0,4 mm
1–3 mm	0,3–0,6 mm
3–6 mm	0,5–0,8 mm
>6 mm	0,8–1,2 mm

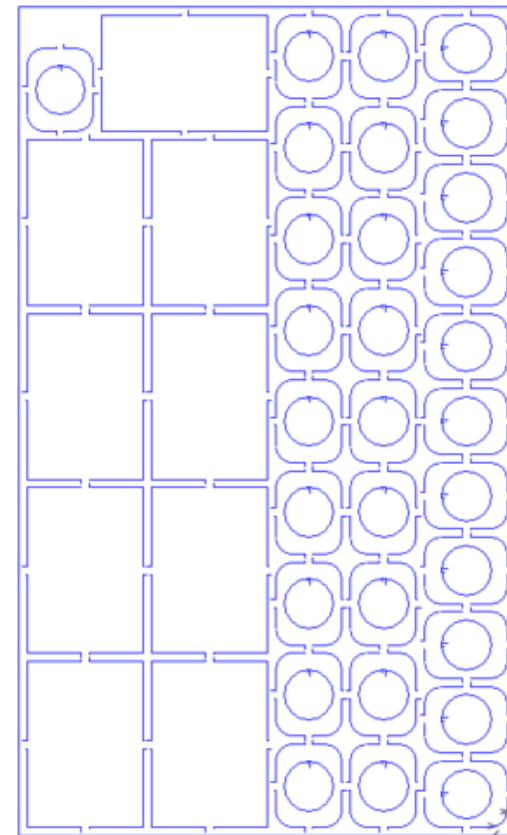




MIKROLIITOKSET LASERLEIKKAUKSESSA

- » Liitoskohtien määrittäminen ei ole täysin standardoitu.
- » Paikoitus teknisissä piirustuksissa voidaan toteuttaa esim. ISO 129-1 “Tekninen tuotedokumentointi. Mittojen ja toleranssien esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet” mukaisesti.
- » Usein suoraan CAD/CAM-mallinnettu liitos ja merkintä korvaavat piirustussymbolit tuotannossa.
- » ISO 5457 (layout), ISO 129-1 (dimensioning), ISO 13715 (edge finish), ISO 7083 (symbols)

Mikroliitokset nestauksessa





SUUNNITTELUSTA VALMISTUKSEEN

TIEDOSTOMUODOT JA DOKUMENTIT



Euroopan unionin
osarahoittama



ETELÄ-
KARJALAN
LIITTO

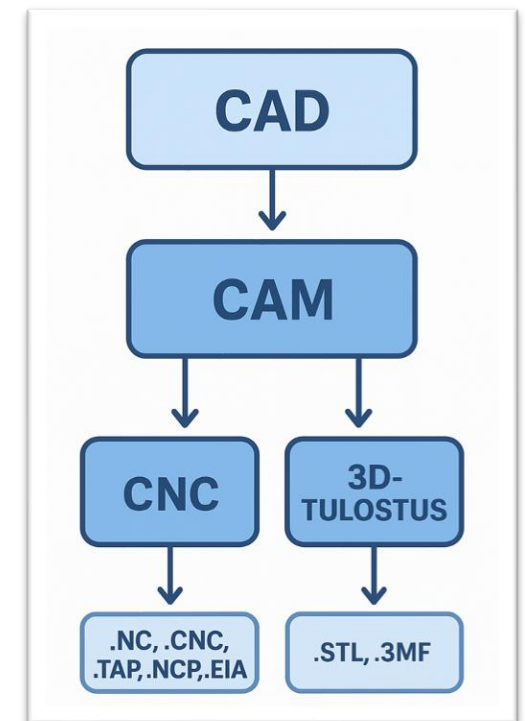


LAPPEENRANTA



TIEDOSTOMUODOT SUUNNITTELUOHJELMISTOSTA

- » Suunnitteluohjelmistot mahdollistavat tarkat 3D-mallit ja tekniset simulaatiot, joiden avulla voidaan optimoida tuotteen toimivuus ja valmistettavuus ennen fyysistä tuotantoa.
- » Ohjelmistot tuottavat suoraan valmistusdataa (esim. CNC-koodia) ja yhdistyvät tuotannon järjestelmiin, mikä nopeuttaa valmistusta ja vähentää virheitä.
- » Vakiintuneita tiedostomuotoja ja dokumentteja on käytössä kattava määrä omine käyttötarkoituksineen.



OHJELMISTOJEN OMAT TIEDOSTOT

Ohjelmisto	Yleisimmät päätteet	Käyttö tuotannossa
AutoCAD	.DWG, .DXF	2D-piirustukset, CNC-leikkaus, laser- ja vesisuihkuleikkaus.
SolidWorks	.SLDPRT, .SLDASM, .SLDDRW	3D-osat, kokoonpanot ja tuotantopiirustukset.
PTC Creo (Pro/ENGINEER)	.PRT, .ASM, .DRW	Parametrinen suunnittelu ja tuotantomallinnus.
Siemens NX	.PRT	Edistynyt 3D-mallinnus, simulointi ja CAM.
CATIA	.CATPart, .CATProduct, .CATDrawing	Ilmailu- ja autoteollisuuden monimutkaiset kokoonpanot.
Autodesk Inventor	.IPT, .IAM, .IDW, .DWG	3D-osat ja tuotantopiirustukset.
Fusion 360	.F3D, .F3Z	Pilvipohjainen mallinnus ja CAM-valmistelu.

Alkuperäisiä, ohjelmistokohtaisia tiedostoja, joita käytetään mallinnukseen ja piirustuksiin.

NEUTRAALIT

Formaatti	Pääte	Käyttötarkoitus
STEP	.STEP, .STP	Yleisin neutraali 3D-tiedostomuoto tuotannon tiedonsiirrossa.
IGES	.IGS, .IGES	Vanhempi neutraali formaatti, edelleen yleinen koneistuksessa.
Parasolid	.X_T, .X_B	Käytössä mm. NX:ssä ja SolidWorksissa.
ACIS	.SAT	Käytetään AutoCADissa ja joissakin CAM-ohjelmissa.
JT	.JT	Kevyt 3D-esitysmuoto ja digitaalisen kaksosen vaihtoformaatti.

Käytetään geometrian siirtoon eri CAD-, CAM- ja simulointiohjelmistojen välillä.

CAM- JA CNC-TUOTANTOTIEDOSTOT

Kun CAD-suunnittelu on valmis, mallit muunnetaan konevalmistukseen sopiviksi tiedostoiksi.

Tyyppi	Pääte	Kuvaus
G-koodi	.NC, .CNC, .TAP, .NCP, .EIA	Koneistusohjeet CNC-jyrsintään, sorvaukseen, laserleikkaukseen jne.
Työpolkutiedostot	.CL, .APT	Välivaiheen CAM-tiedosto ennen G-koodin luontia.
CAM-ohjelmistojen tiedostot	.FM, .MCX, .PPF, .PTP	Esim. FeatureCAMin, MasterCAMin ja EdgeCAMin omat formaatit.

3D-TULOSTUS

Formaatti	Pääte	Kuvaus
STL	.STL	3D-tulostuksen standardiformaatti; esittää pinnan geometrian.
AMF	.AMF	STL:n kehittyneempi versio (sisältää materiaali- ja väridatan).
3MF	.3MF	Moderni Microsoftin tukema formaatti (käytössä esim. Fusion 360:ssa, SolidWorksissa).
OBJ	.OBJ	3D-malli, jossa pintaverkko ja tekstuurit (yleinen visualisoinnissa).

Käytetään esim. prototyyppien tai lopputuotteiden valmistukseen.



PIIRUSTUKSET JA DOKUMENTOINTI

Käytetään tuotantopiirustuksina ja ohjeina tuotantolinjalla.

Formaatti	Pääte	Kuvaus
2D-piirustukset	.DWG, .DXF, .PDF	Käytetään laserleikkauksessa, työpiirustuksina ja tarkastuslomakkeina.
Tekniset julkaisut	.PDF, .DWF, .DWFx	Mitat ja merkinnät sisältävät dokumentit tuotantokäyttöön.

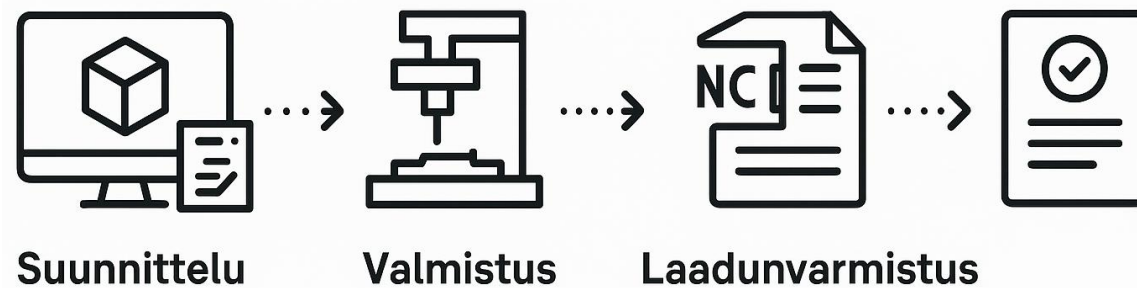
MUITA TIEDOSTOMUOTOJA

Tiedostomuoto	Kuvaus	Käyttötarkoitus
LBRN / LBRN2	LightBurn-ohjelmiston oma tiedostomuoto.	Käytetään monissa pienissä ja keskisuurissa lasertyöstöjärjestelmissä.
PLT (.plt)	HPGL-pohjainen vektorimuoto.	Käytetään vanhemmissa tai yksinkertaisissa laserleikkureissa (piirturipohjainen ohjaus).

Tiedostomuoto	Käyttö
CSV / TXT	Parametrien, leikkausasetusten ja materiaalitaulukoiden siirtoon.
BMP / PNG / JPG	Rasterimuotoja käytetään kaiverukseen (ei leikkaukseen). Laser muuntaa kuvan sävyarvot tehotasoiksi.

CAD/CAM-SUUNNITTELUN JA TUOTANNON VÄLINEN TIEDONSIIRTO

- » Suunnittelun ja valmistuksen välinen tiedonsiirto on oleellinen tehokkaassa tuotannossa
- » Ei vain piirustuksia ja 3D-malleja, vaan myös erilaisia tuotantoa, laadunvarmistusta ja kokoonpanoa tukevia dokumentteja





TUOTANTOKETJU

- » Suunnittelu (CAD 3D) → Osamalli, kokoonpano
- » Dokumentointi (2D) → Työpiirustus, toleranssit, BOM
- » Valmistuksen valmistelu (CAM/CAD-linkitys) → NC/G-code, DXF-levityskuva
- » Tuotantotuki → Asennusohje, mittauslomake, räjäytyskuva
- » Jälkivaiheet → Tarkastusraportit, muutospäiväkirjat, dokumentointiarkisto

DOKUMENTIT VALMISTUKSEN TUEKSI

2D-työpiirustukset	Perinteinen valmistuspiirustus: mitat, toleranssit, pinnankarheus, materiaalit ja hitsausmerkinnät.	Koneistajille, laserleikkaajille, hitsaajille – perustietolähde valmistukseen.
Leikkaus- ja taivutuskaaviot (flat pattern drawings)	Levytyökappaleen levityskuva, josta selviää aihion muoto ennen taivutusta.	Laserleikkauksessa ja särmäyksessä: nopeuttaa ohjelmointia ja virheettömyyttä.
Osaluettelo (BOM, Bill of Materials)	Luettelo kokoonpanon osista, nimikkeistä, määristä ja materiaaleista.	Hankinnassa ja kokoonpanossa – varmistaa oikeat osat ja määrät.
Kokoonpanopiirustukset	Näyttävät, miten osat liittyvät toisiinsa (räjäytyskuva, koottu malli).	Kokoonpanotyön ohjeistus ja virheiden ehkäisy.
Asennusohjeet / kokoonpano-ohjeet	CAD-kuvista johdetut dokumentit, joissa vaiheittaiset ohjeet, kuvat ja osanumerot.	Käytetään tuotannossa, erityisesti manuaalisissa kokoonpanoissa.
Mittaus- ja tarkastuspiirustukset (inspection drawings)	Sisältävät mittauspisteet, kriittiset toleranssit ja laadunvarmistusohjeet.	Laadunvalvonnassa ja mittauspöytäkirjojen pohjana.

DOKUMENTIT VALMISTUKSEN TUEKSI

CAM-ohjaustiedostot (NC/G-code)	CAD-mallista johdetut koneistus- tai leikkausohjauskoodit.	CNC-, laser-, vesi- ja plasmaleikkauskoneissa suoraan käytettävä tuotantodata.
Hitsaus- ja liitosdokumentit (weldment drawings)	Näyttävät hitsausseamat, liitostavat ja hitsausjärjestyksen.	Hitsauksen suunnittelussa ja dokumentoinnissa.
Materiaaliluettelot ja painoraportit	Lasketaan CAD-mallin perusteella: paino, tilavuus, materiaalityö.	Ostossa, varastonhallinnassa ja kustannuslaskennassa.
3D-PDF / interaktiivinen malli	Näyttää mallin 3D-muodossa ilman CAD-ohjelmaa.	Suunnittelun katselmuksissa ja tuotannon tiedonvälityksessä.
Työstöradat ja simulaatioraportit	Näyttävät työstön kulun ja mahdolliset törmäykset.	Työstöohjelmien validointiin ennen ajoa.
Levy- ja putkinestotiedostot (nesting layouts)	Optimoidut osasijoittelut levyille tai putkeen.	Nopeuttaa materiaalileikkausta ja minimoi hukkaa.
Kokoonpanosimulaatiot / animaatiot	Näyttävät liikkeet, kokoonpanon vaiheet ja testit.	Koulutuksessa ja tuotannon suunnittelussa.



DOKUMENTTI ESIMERKKEJÄ CAD-OHJELMISTOISTA

SolidWorks

Drawing (SLDDRW), BOM, Flat Pattern, Cut List, Weldment Drawing

AutoCAD / Inventor

DWG/DXF-työpiirustukset, Parts List, Assembly Drawing, iProperties-raportit

Siemens NX / Solid Edge

PMI (Product Manufacturing Information), 3D PDF, Inspection Drawing

Fusion 360

CAM setup sheet, toolpath simulation, fabrication drawings

CATIA / Creo

Assembly instruction sheets, GD&T-drawings, tolerance analysis reports

