

 HITOKSEEN –PROJEKTI, TIETOPAKETTI

LASERHITSAUKSEN MAHDOLLISUUDET JA HUOMIOON OTETTAVAT ASIAT

HITsaus OsaKSi Etelä-Karjalan Elinvoimaa ja Näkyvyyttä



Euroopan unionin
osarahoittama

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

SISÄLTÖ

1. Laserhitsauksen perusteet
2. Mahdollisuudet
3. Huomioon otettavat asiat
4. Parametrit
5. Turvallisuus



Euroopan unionin
osarahoittama

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERHITSAUS

- » Laserhitsaus on prosessi, jossa laserteho sulattaa materiaalia muodostaen siten hitsin.
- » Hitsausprosesseja on useita eri sovelluksiin
- » Laserhitsauksen suurteho prosesseissa tarvitaan usein yli 500W jatkuva teho
- » Ohutlevy- ja hienomekaniikassa käytetään tyypillisesti pulssihitsausta huomattavasti pienitehoisemmilla lasereilla
- » Suuret komponentit kärsivät usein osien valmistuksen epätarkkuuksista, jotka edellyttävät lisäainelangan tai laserkaarihybridiprosessin käyttöä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERLEIKKAUS → LASERHITSAUS

- » Laserteho on usein hieman suurempi
- » Säteen laatu ei ole niin tärkeä
- » Kaasu vaihdetaan leikkauksesta suojaukseen:
 - » Kaasutyyppi muutetaan tyypillisesti
 - » Toimitusjärjestelmä prosessiin muuttuu
 - » Kaasun paine laskee huomattavasti
- » Työkappaleen kiinnitys
 - » Mekaniikka ja voimat osien puristamiseksi yhteen
 - » Kestää lämpölaajenemisvoimia
- » Työkappaleen käsittely
 - » Tyypillisesti 3D-ulottuvuus kasvaa
 - » Ei putoavia komponentteja
- » Työpiste vaatii usein useita liikeakseleita



Euroopan unionin
osarahoittama

PROSESSITYYPIT

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

AVAINREIKÄHITSAUS

- Laserhitsaus on konepajasovelluksissa useimmiten syvätunkeuma- eli avaimenreikähitsausta
- Säteen tehotiheyden ollessa yli 10^6 W/cm^2 , avaimenreikä muodostuu.
- Lasersäde höyrystää materiaaliin reiän, joka pysyy auki sen sisälle höyrystyvän metallihöyrynpaineen avulla.
- Lasersäteen tuoma energia absorboituu tehokkaasti viivamaisena energiana railopinnan läpi koko avaimenreiän matkalle.
- Lämpö tuodaan siis koko aineenpaksuudelle ei vain pinnalle.



Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

AVAINREIKÄHITSAUS

- Säde fokusoidaan työkappaleen pinnalle tai n. 25 % aineenpaksuudesta pinnan alapuolelle.
- Fokusoidun säteen suuren tehotiheyden ansiosta materiaaliin höyrystyy avoin reikä.
- Reiän syvyys riippuu parametreista.
- Laserhitsaus on tuotantosovellutuksissa usein läpätunkeumahitsausta.



Euroopan unionin
osarahoittama

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

SULATTAVA LASERHITSAUS

- Avaimenreikähitsaus edellyttää tehotiheyttä 106 W /cm^2 .
- Pienellä teholla tai suurella polttopisteellä ei saavuteta tarvittavaa tehotiheyttä.
- Pienellä tehotiheydellä voidaan myös hitsata, mutta silloin prosessi on sulattava.
- Sulattava hitsaus muistuttaa kaarihitsausta, sillä lasersäde kuumentaa materiaalin pinnan ja lämpö siirtyy materiaalin sisällä johtumalla ja sekoituksen avulla sulattaen sitä.
- Prosessi tuottaa matalamman ja leveämmän hitsin, jolla on lievemmat railotoleranssit kuin avaimenreikähitsillä.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

SULATTAVA LASERHITSAUS

- Soveltuu hyvin ohuiden materiaalien hitsaukseen ja sovelluksiin, joissa osan toleranssivaatimukset eivät mahdollista avaimenreikähitsausta.
- Sulattavaa hitsausta sovelletaan diodilasereilla ja joskus suuritehoisilla 1000 nm:n lasereilla
- Diodilaserhitsaus on yleensä sulattavaa hitsausta.
- Joissakin sovelluksissa sulattava hitsaus on paremmin sovellettavissa oleva prosessi kuin avaimenreikähitsaus.
- Diodilaserhitsattu pienahitsi on muodoltaan jouheva ja poikkeaa täysin avaimenreikähitsauksella hitsatusta hitsistä



**Euroopan unionin
osarahoittama**

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

PULSSIHITSAUS

- Pulssihitsauksella sulatetaan materiaali yksittäisillä laserpulsseilla
- Pulssitus tarkoittaa tehon muutosta ajan funktiona
- Pulssituksen tarkoituksena on
 - saavuttaa suurempi energiatiheys
 - Suuri energiatiheys helpottaa heijastavien ja hapettuvien materiaalien hitsausta
 - Esim. Al, Cu, Ag, Au, Ti
 - pienempi lämmöntuonti.
- Laserit: pulssi- Nd:YAG-, -CO₂ ja kuitulaseria.
- Pulssihitsaus yleensä sulattavaa hitsausta
- Usein ohuita materiaaleja



**Euroopan unionin
osarahoittama**

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

PULSSIHITSAUS, HEIKKOUKSIA

- » Tehon nopeiden muutosten vuoksi hitsausprosessi ei ole yhtä vakaa kuin jatkuva hitsaus.
- » Jossain tapauksissa herkempi hitsivirheille kuten kuumahalkeamat, huokoisuus, vajaa tunkeuma. Virheet voidaan suurelta osin välttää parametrioitinnalla.
- » Hitsausnopeus on pienempi kuin vastaavalla jatkuvalla laserteholla.
- » Pulssihitsaus on jonkin verran kalliimpi prosessi kuin vastaava jatkuvatoiminen prosessi.

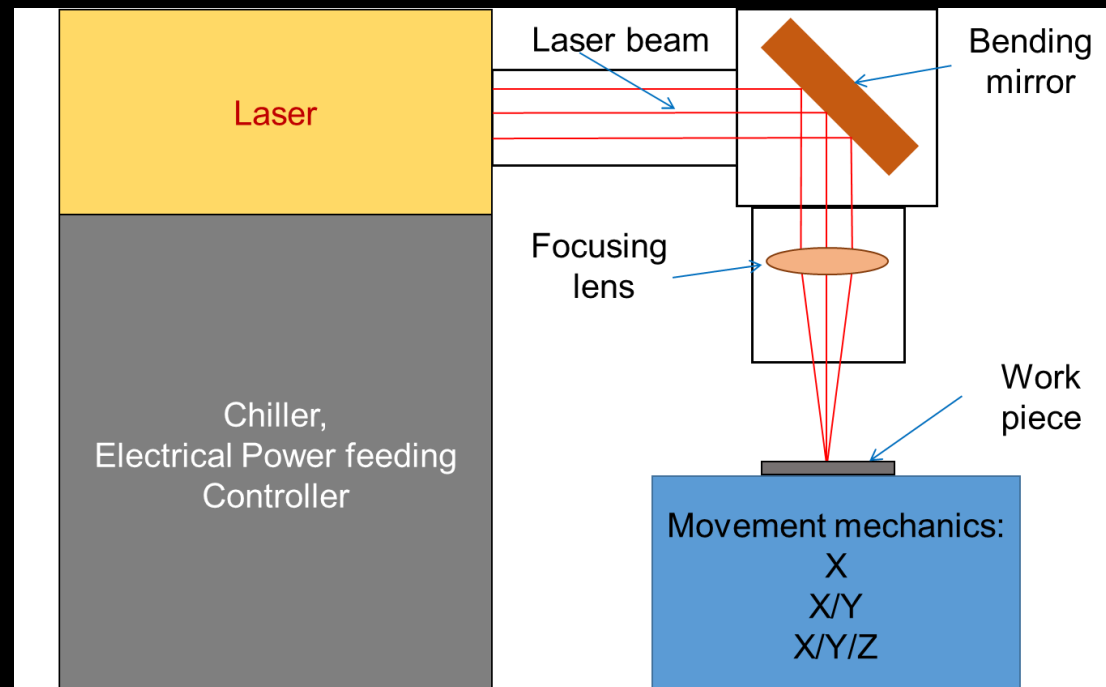


Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERHITSAUS PISTE

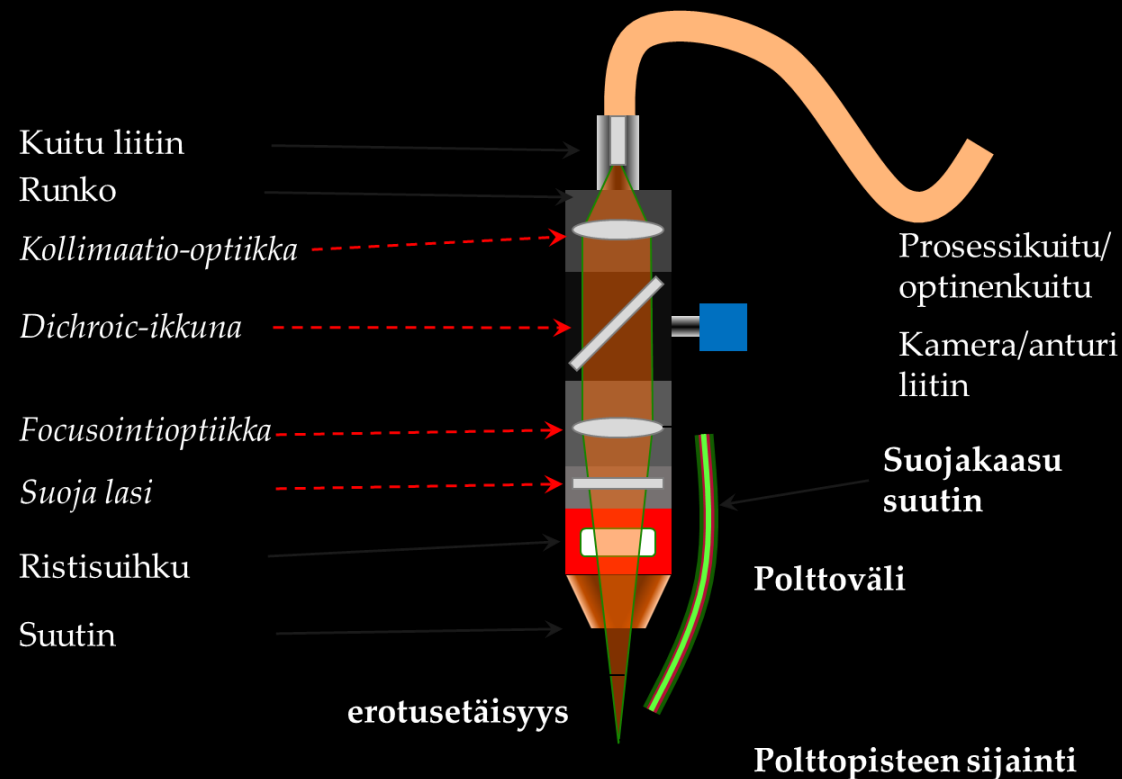
» Laserhitsauksen vähimmäisasetukset ovat laser, optiikka ja mekaniikka



Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

TYÖSTÖPÄÄ: KOMPONENTIT JA TERMINOLOGIAT



Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

TYÖSTÖPÄÄ

Komponentti	Funktio
Prosessikuitu/optinen kuitu-liitin	Ohjaa lasersäteen työstöpäähän liittimen kautta
Työstöpään runko	Tukeva mekaaninen rakenne, joka kestää teollisuusympäristöä. Sisältää tyypillisesti: - Runko - Tiivistys komponenttien välillä - Vesijähdytys optiikalle - Prosessikaasujen toimitus
Ristisuihku	Suuri nopeus ilma / kaasu puhaltaa poikittain säteeseen suojaamaan optiikkaa roiskeilta ja höyryiltä.
Suutin	Kaventaa reikää säteelle, ohjaa ajoittain prosessikaasua prosessille
Kameran/anturin liitin	Yleensä C-kiinnitys kameras kiinnitystä varten
Suojakaasusuutin	Tuo kaasun suojaamaan prosessia hapettumiselta, tyypillisesti valmistettu erikseen



**Euroopan unionin
osarahoittama**

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

OPTISET KOMPONENTIT

Komponentti	Funktio
Prosessikuitu/ optinen kuitu	Ohjaa lasersäteen prosessointipäähän
Kuituliitin	Optisen kuidun liitin, jos kuitu vaihdetaan, liitin mahdollistaa nopean ja tarkan vaihdon
Kollimaatio- optiikka	Kollimoi erkanevan säteen optisesta kuidusta
dikroinen lasi	Läpäisevä lasersäteelle, heijastava näkyvälle valolle. Mahdollistaa koaksiaalisen näkymän käsittelyasentoon.
Tarkennusoptiikka	Keskittää lasersäteen prosessiin, tyypillisesti linssiin, mutta myös käytettävissä olevaan peilioptiikkaan.
Suojalasi	Estää roiskeita ja höyryjä pääsemästä tarkennusoptiikkaan



**Euroopan unionin
osarahoittama**

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

TÄRKEITÄ PARAMETREJA

parametri	Funktio
Suojakaasun virtaus	On säädettävä hitsisulan suojaamiseksi eikä prosessin häiritsemiseksi.
Polttoväli	Tarkoittaa tarkennusoptiikan ja polttopisteen välistä etäisyyttä. Tätä käytetään polttopisteiden mittojen ja voimakkuuden muuttamiseen sekä oikean seisontaetäisyyden mahdollistamiseen.
Polttopisteen sijainti	Tarkoittaa polttopisteen ja työkappaleen pinnan välistä etäisyyttä.



Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERHITSAUKSEN EDUT

Eri materiaalit ja
paksuudet

Eripaksuisten ja
erimateriaalien liittäminen
keskenään

Koskematon prosessi ->
Ei työkalun kulumista

**Laser
hitsauksen
edut**

Matala ja hallittava
lämmöntuonti

Korkealaatuinen hitsi ja
pieni viimeistelyn tarve

Automatisoitu prosessi

Suurin prosessin ja
muodon joustavuus

Suuri hitsausnopeus



**Euroopan unionin
osarahoittama**

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

MATALA LÄMMÖNTUONTI

- Pienet muodonmuutokset mahdollistavat esikoneistettujen osien hitsaamisen yhdeksi kokonaisuudeksi ilman loppukoneistustarvetta
- Hitsit voidaan sijoitella hyvin lähelle lämmönherkkiä komponentteja kuten elektroniikkaa ja lasi - metalliliitoksia.
- Perusaineen metallurgiset muutokset, kuten voimakas rakeenkasvu ja suuri lämpövyöhykkeen leveys, voidaan eliminoida



**Euroopan unionin
osarahoittama**

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERHITSAUKSEN EDUT

- Hitsausnopeudet ovat suuria, jopa useita metrejä minuutissa.
- Sädetä voidaan jakaa useaan työasemaan.
- Laserhitsauskoneet soveltuvat hyvin automaation ja robottien kanssa käytettäväksi.
- Hitsausta voidaan suorittaa kaikissa asennoissa, jos käytetyn laitteiston optiikka on suojattu roiskeilta ja kun työskennellään vaaka- ja lakiasentojen välissä.
- Hitsit voidaan sijoitella paikkoihin, joihin päästään vain toiselta puolelta.
- Useita levyjä voidaan liittää toisiinsa päällekkäisliitoksella yhdeltä puolelta ja yhdellä palolla.
- Hitsit voidaan tehdä kapean uran pohjalle, jonne muilla hitsausmenetelmillä ei päästä.



Euroopan unionin
osarahoittama

 HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

EDUT KAPPALEEN SUUNNITTELUSSA

- Tuotteen suunnitteluvaihtoehdot kasvavat
 - Suunnittelun vaihtoehdot laajenevat, sillä käytettävissä on laaja valikoima erilaisia liitosmuotoja saman ja eripaksuisten osien liittämiseksi.
 - Kappaleiden mitoitus hitsauksen jälkeistä koneistusta varten voidaan vähentää ja säästää materiaalia.
- Magneettien ja sähköisen piirin huomiointia ei tarvita



Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

ONGELMAT KÄYTTÖÖNOTOSSA

- Investointi useimmiten kallis
 - Edellyttää kapasiteetin tehokasta käyttöönottoa
- Uuden teknologian käyttöönotto on suuri haaste
 - Usein tuotteet suunniteltava uudestaan
 - Usein tuotanto suunniteltava uudestaan
 - Edellyttää osaamista
 - Konservatismi



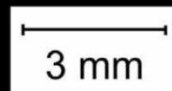
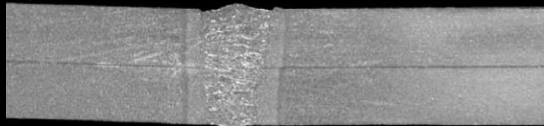
Euroopan unionin
osarahoittama

HITOKSEEN –projekti, Tietopaketti

LASERHITSAUKSEN EDUT

Syvä ja kapea hitsi

- Yksipalkohitsauksella tunkeuman syvyyttä rajoittaa vain käytettävissä oleva laserteho
- Poistaa monessa tapauksessa tarpeen V-railon valmistelulta ja lisäaineen käytöltä



Euroopan unionin
osarahoittama



LASERHITSAUKSEN PARAMETRIT

»» Laserhitsausparametrit voidaan
jakaa seuraavasti:

Laserin parametrit

Prosessin parametrit

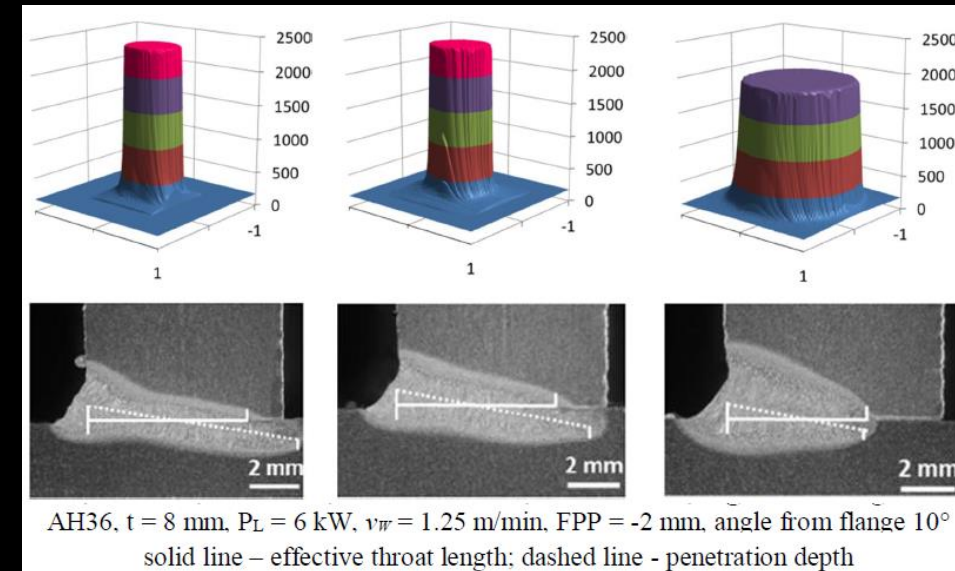
Materiaalin parametrit



Euroopan unionin
osarahoittama

LASERSÄTEEN PARAMETRIT

- » Taipumus käyttää mahdollisimman hyvää sädettä tuottavuuden parantamiseksi
- » Moodi ja optiikka (polttoväli, säteen halkaisija) määräävät polttopisteen koon
- » Saumageometriaan ja prosessin vakauteen vaikuttavat:
 - » Fokusoitun säteen halkaisija & säteen vyötärön pituus
 - » Kohdistetun säteen sijainti suhteessa materiaalipintaan



**Euroopan unionin
osarahoittama**

PROSESSIPARAMETRIT

- Teho
- Hitsausnopeus
 - Suojakaasu
 - Säteen tarkennus
 - Polttoväli
 - Polttopisteen sijainti suhteessa pintaan
 - Työetäisyys
 - Säteen taipuma (heiluminen)

- Prosessiparametrit ovat voimakkaasti riippuvaisia toisistaan
- Laserhitsauksen tärkeimmät prosessiparametrit ovat laserteho ja hitsausnopeus.



Euroopan unionin
osarahoittama



PROSESSIPARAMETRIT

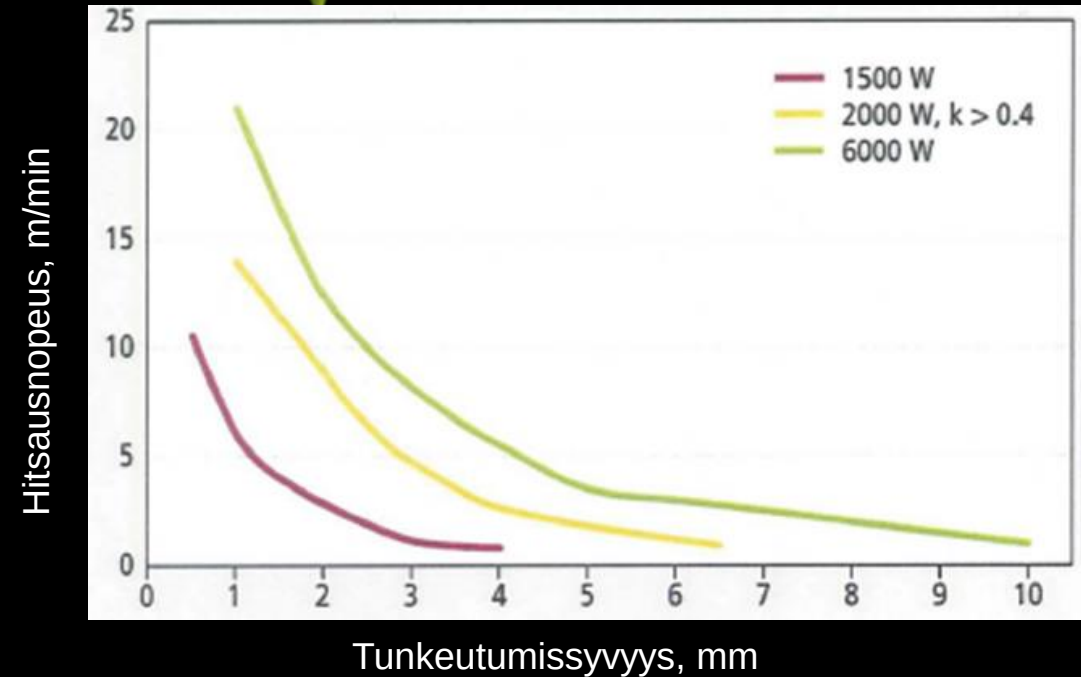
- »» Epäoptimaaliset prosessiparametrit aiheuttavat ongelmia, esimerkiksi huokoisuutta:
 - »» Huokosten muodostuminen liittyy yleensä avaimenreiän epävakauteen
 - »» Epävakauden vuoksi suojakaasu tai metallihöyry jäävät jähmettyneeseen hitsiin aiheuttaen huokosia rakenteeseen
 - »» Huokokset voivat näkyä myös kutistumisen vuoksi



Euroopan unionin
osarahoittama

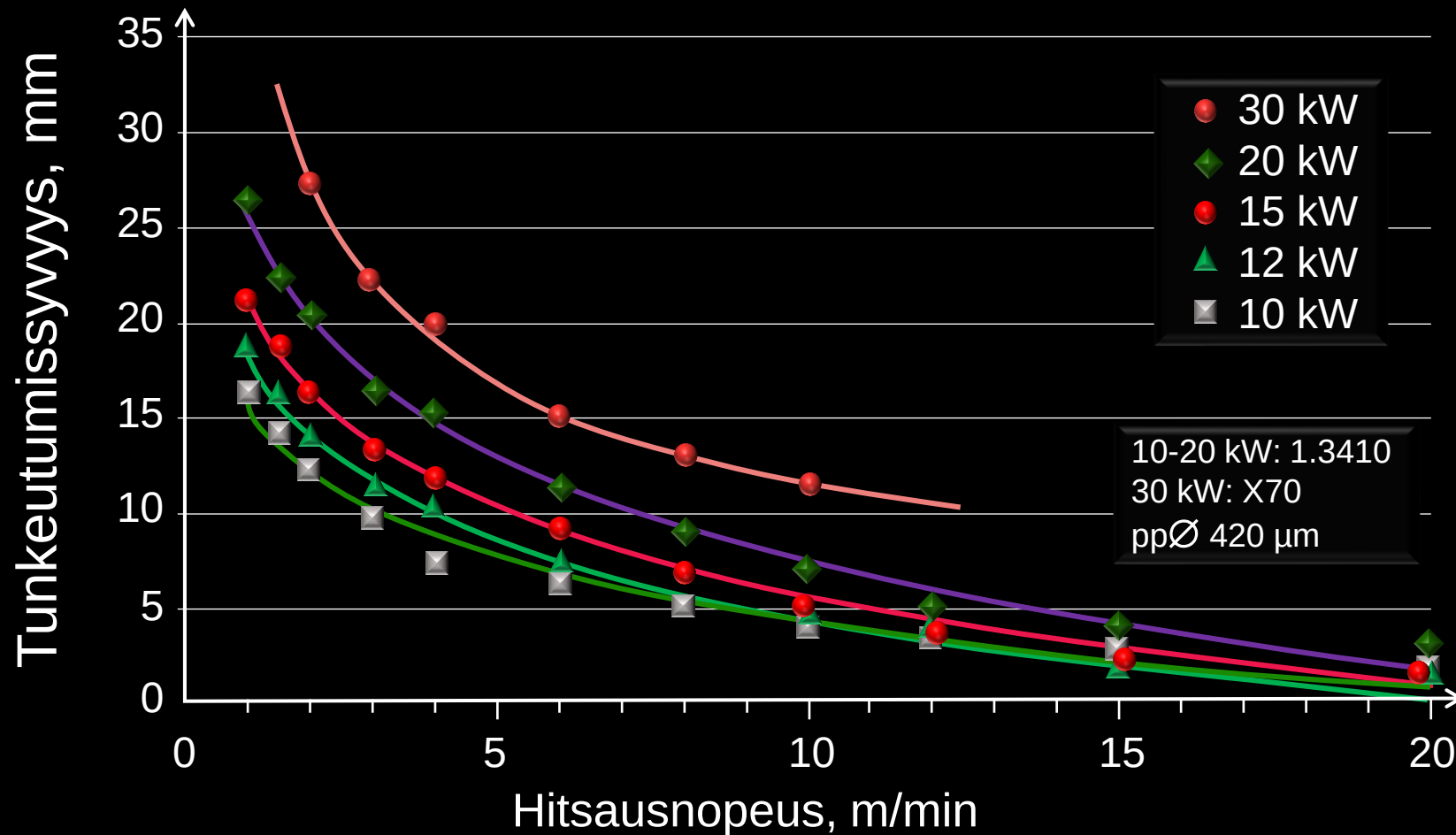
LASERIN TEHO

- » Tunkeutumisvyvyys kasvaa, kun käytetty laserteho kasvaa.
 - » Lisäksi muita vaikuttavia tekijöitä ovat:
 - » Säteen tarkennettavuus (säteen laatu)
 - » Aallonpituus (absorptio)
- » Hyvälaatuinen säde voi tunkeutua jopa kaksi kertaa niin syväälle kuin huonolaatuinen säde.



Euroopan unionin
osarahoittama

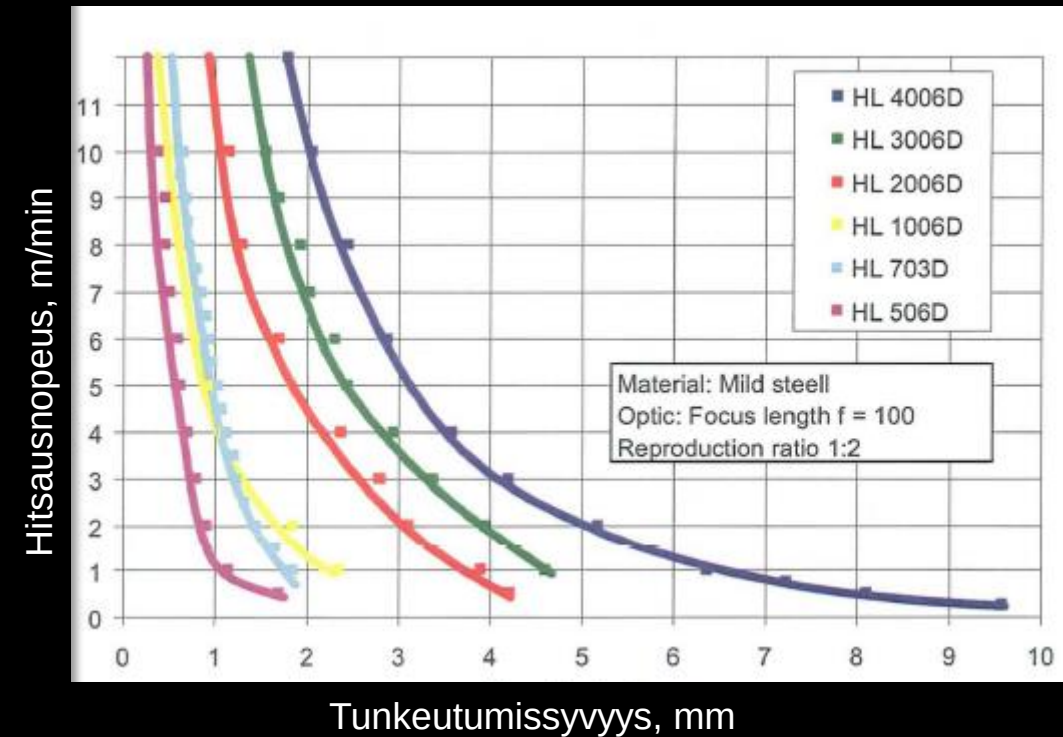
SUURTEHOHITSAUS (~1000NM)



Euroopan unionin
osarahoittama

HITSAUSNOPEUS

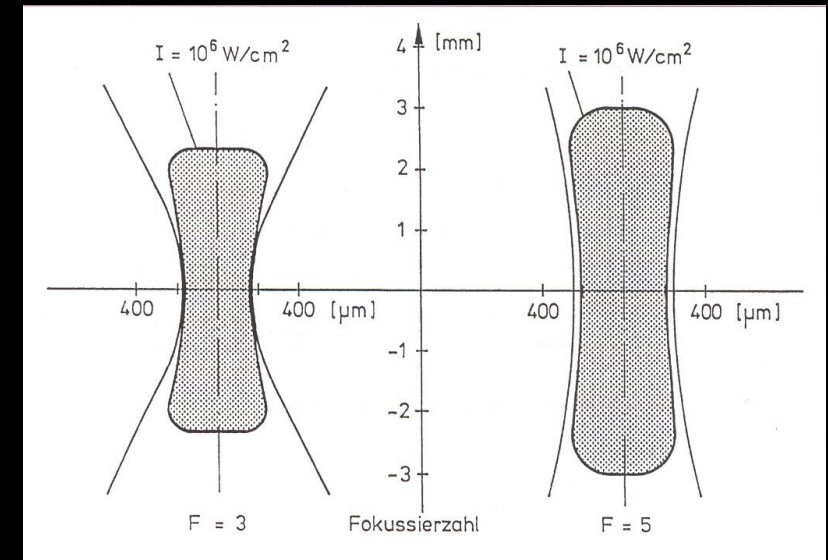
- » Laserhitsin tunkeutumisvyvyys pienenee, kun hitsausnopeus kasvaa, kun käytetään vakioitehoa.
- » Kun hitsataan vakio energiansyötöllä, suuremmalla nopeudella (ja teholla) tehty hitsi on kapeampi kuin pienemmällä nopeudella hitsattu hitsi.



Euroopan unionin
osarahoittama

POLTTOPISTEEN SIJAINTI

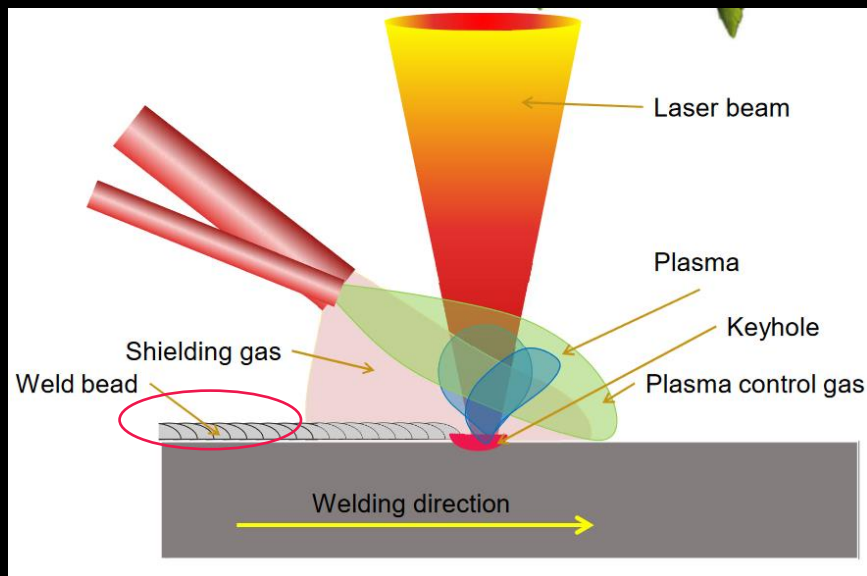
- Polttopisteellä on optimaalinen sijainti, joka on yleensä lähellä työkappaleen yläpintaa
- Avaimenreiän muodostus vaatii tietyn vähimmäistehotiheyden (10^6 W/cm^2), johon polttopisteen teho ja koko vaikuttavat.
- Mitä pidempi säteen vyötärö, esimerkiksi alue, jolla on suurin tehotiheys lähellä fokusta, sitä parempi polttopisteen sijainnin toleranssi.



Euroopan unionin
osarahoittama

PROSESSIPARAMETRIT: KAASUSUOJAUS

Laserhitsin sula suojataan yleensä hapettumiselta johtamalla suojakaasua hitsaussuuttimesta koaksiaalisesti lasersäteen kanssa. Suuri tehotiheys aiheuttaa plasman muodostumista kaikilla aallonpituuksilla.



- » Plasma voidaan poistaa/painaa avaimenreiän yläpuolelta niin sanotulla suojakaasulla/plasmakontrollikaasulla.
- » Suojakaasulla ei saa olla suurta virtausnopeutta, eikä sitä saa suunnata avaimenreiän sisään, vaan sen ympärille
- » Yleiset suojakaasut: Ar, He, N₂ ja niiden seokset
- » Sulasuojaus: Suuttimen suojakaasu suojaa laserhitsaussulaa hapettumiselta.
- » Toiminto: Ohjauskaasun, tyypillisesti heliumin, käyttö plasman poistamiseen avaimenreiän yläpuolelta.
- » Juuripuolen suojaus: Käytetään tavanomaisia tekniikoita, jos juurisuojausta tarvitaan.



Euroopan unionin
osarahoittama

MATERIAALIN PARAMETRIT

- Materiaalin paksuus
- Työkappaleen pinnan laatu
- Liitoksen ilmarako, uran pinnan laatu
- Materiaalin ominaisuudet:
lämmönjohtavuus, heijastavuus,
halkeiluherkkyys eri olosuhteissa

- **Austeniittiset ruostumattomat teräkset**

Erittäin hyvin laserhitsattavissa

Parempi pistekorrosionkestävyys kuin perinteisillä menetelmillä

Jäykät rakenteet → mahdollinen kuumahalkeiluongelma

- **Ferriittiset ruostumattomat teräkset**

Alhainen hiili- ja kromipitoisuus → hyvä laserhitsattavuus

Liitoksen lujuus on hieman pienempi kuin perusmateriaalin, mutta ei pienempi kuin perinteisillä menetelmillä

- **Martensiittiset ruostumattomat teräkset**

Korkea hiilipitoisuus → hauras ja kova hitsaus ja HAZ

Lämpökäsittely helpottaa tilannetta



**Euroopan unionin
osarahoittama**



MATERIAALIN PARAMETRIT

- » Hitsausalueen pinnan viimeistelyn on täytettävä tietyt kriteerit.
- » Tyypilliset konepajat eivät ole tottuneet valmistelemaan pintoja laserhitsausta varten.
- » Viistotus ei sovellu laserhitsaukseen.
- » Lisämateriaalia ei lisätä liitospintojen välisten rakojen täyttämiseksi.
- » Pinnankarheus ei saa olla liian korkea.



Euroopan unionin
osarahoittama



LASERTURVALLISUUS



Euroopan unionin
osarahoittama

LASEREIDEN TURVALLISUUSLUOKITUS

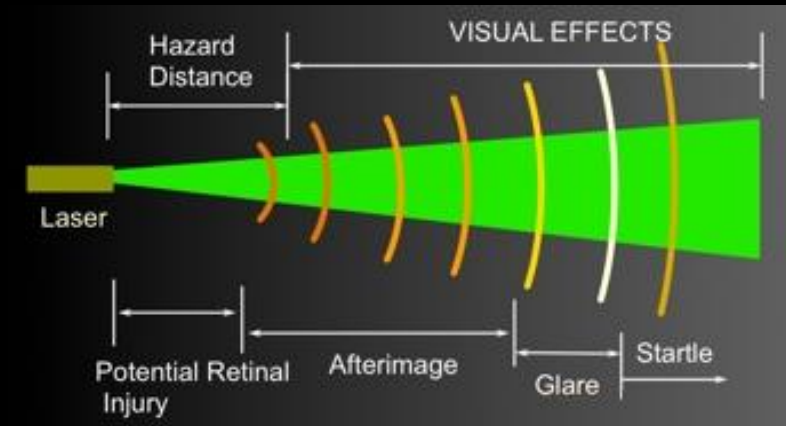
Class	Characteristics
Class 1 (low power)	eye-safe under all operating conditions
Class 1M (low power)	safe for viewing directly with the naked eye but may be hazardous to view with the aid of optical instruments
Class 2 (low power)	Safe for accidental viewing under all operating conditions However, may not be safe for longer than 0.25 seconds exposure
Class 2M (low power)	Safe for accidental viewing with the naked eye May be hazardous to view with the aid of optical instruments
Class 3R (medium power)	Potentially hazardous
Class 3B (medium-high power)	Radiation in this class is very likely to be dangerous However, viewing of the diffuse reflection is safe.
Class 4 (high power)	Radiation in this class is very dangerous and viewing of the diffuse reflection may be dangerous!



**Euroopan unionin
osarahoitama**

LASERIN TURVALLISUUS

- » Teollisuuslaserin säteellä on suuri energiatiheys ja se on usein näkymätön paljaalla silmällä
- » Säde voi aiheuttaa erilaisia vahinkoja osuessaan suoraan esineeseen, ja jopa heijastuessaan se voi usein olla vaarallista kymmenien metrien päässä
- » Vaaran mahdollinen taso:
 - » Luokka 4: Altistuminen heijastuneelle säteelle on vaarallista silmälle
 - » Luokka 3: Säteilyaltistus on silmälle vaarallista
 - » Luokka 2: 0,25 sekunnin altistus on vaarallista silmälle
 - » Luokka 1: Tämän luokan laserit ovat yleensä turvallisia



**Euroopan unionin
osarahoittama**

LASER-TURVALLISUUSRISKIT

- Teollisessa ympäristössä lasereihin liittyvät riskit voidaan jakaa:
 - Säteelle altistumiseen liittyvät vaarat (lämpö- ja valokemialliset vaikutukset kudoksiin)
 - Muut kuin valokeilaan liittyvät vaarat
- Laserit tuottavat voimakkaan, erittäin suunnatun valonsäteen, joka:
 - voidaan ohjata, heijastaa tai kohdistaa kohteeseen
 - imeytyy esineeseen jollain tasolla
 - nostaa imeytymisen jälkeen kohteen lämpötilaa ja muuttaa sen ominaisuuksia (mahdollisesti vahingoittaa sitä)

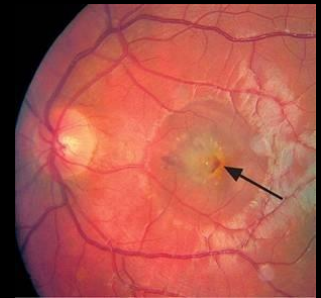
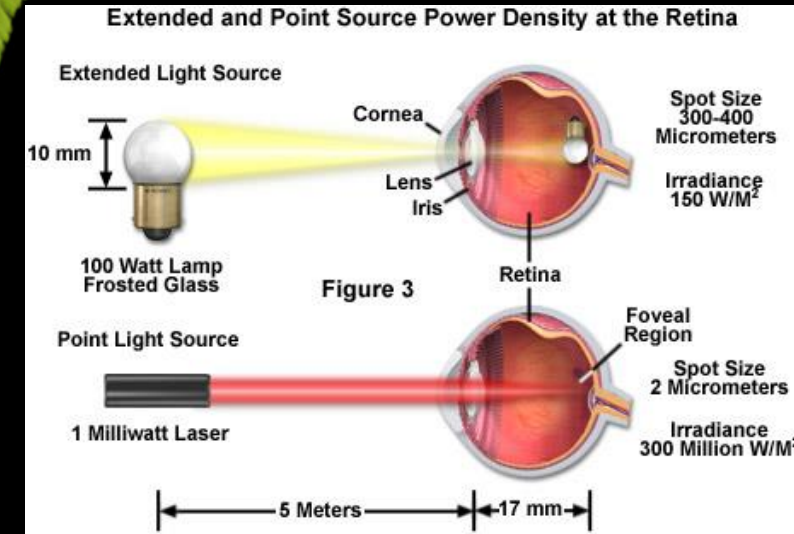
Näitä ominaisuuksia voidaan soveltaa laserkirurgiaan ja materiaalinkäsittelyyn.



Euroopan unionin
osarahoittama

SÄTEEN VAARAT: SILMÄT

- Silmät ovat ihmiskehon herkimmät osat lasersäteen aiheuttamille vaurioille, koska silmän optiikka kohdistaa silmään osuvan lasersäteen silmän verkkokalvolle
- Lasersäteet voivat aiheuttaa vakavia silmävammoja niiden suuren intensiteetin ja fokusoidun luonteen vuoksi
- Suuritehoisten lasereiden säde ei yleensä näy ihmissilmälle, ja se voi heijastua vaarallisesti pinnoilta.
- Myös heijastunut säde on erittäin vaarallinen ihmisen silmälle.
- Säteily voi absorboitua silmän eri osiin (riippuu aallonpituudesta)
- Pahimmassa tapauksessa näkö voi kadota kokonaan



Silmävaurio



**Euroopan unionin
osarahoittama**

SÄTEEN VAARAT: IHO

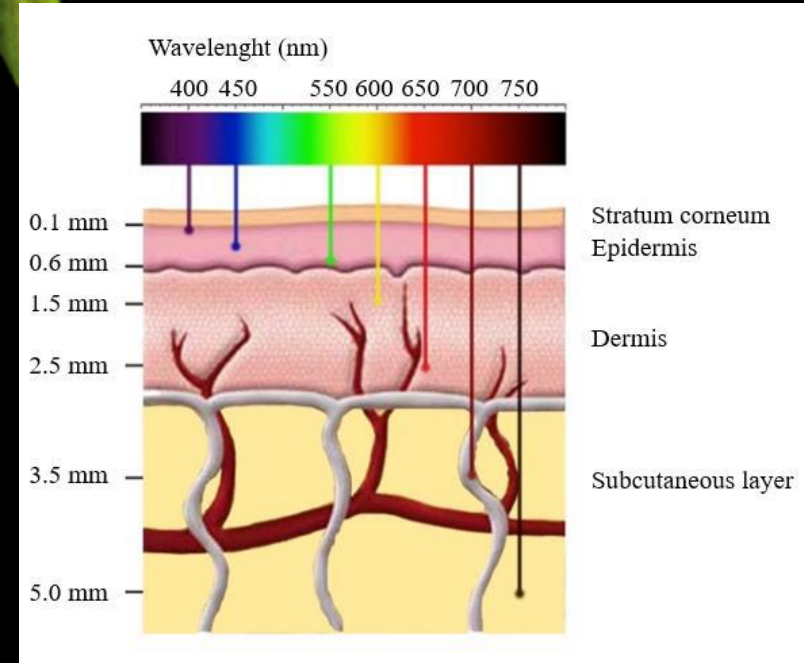
- » Luokan 4 lasersäde aiheuttaa eriasteisia palovammoja, arpia ja ihon pigmentaatiota
- » Ihovaurioita voi esiintyä jopa heijastuneella säteellä
- » Pitkäaikainen altistuminen voi johtaa ihon palovammoihin tai materiaalien ja laitteiden vaurioitumiseen.



Teollisen lasersäteen heijastus



250 W CO₂: Makkaran laserleikkaus nopeudella 25 mm/s
*Ei eroa paljoakaan sormesta



https://www.researchgate.net/publication/236114524_Comparative_Study_of_1064-nm_Laser-Induced_Skin_Burn_and_Thermal_Skin_Burn



**Euroopan unionin
osarahoittama**

MUUT KUIN SÄTEEN AIHEUTTAMAT VAARAT

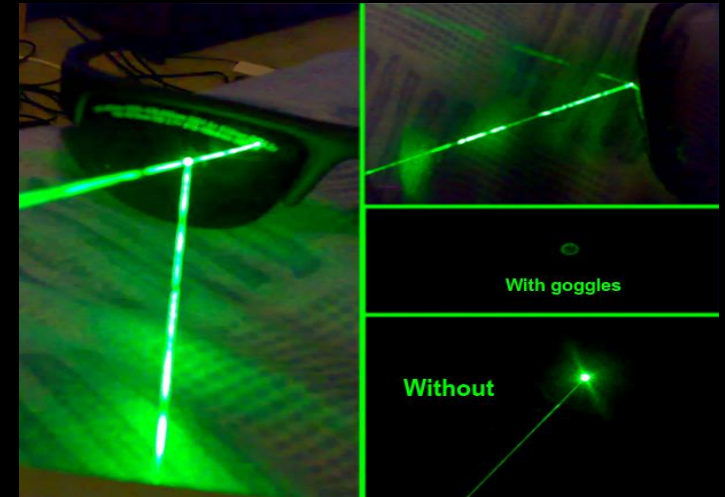
- » Sähkö: suurjännitteiset tuotantolaitteet
- » Palo ja räjähdys: pääasiassa luokan IV laserjärjestelmillä ja pölyllä
- » Kemikaalit/hengityselimet: höyryt
- » Paineistetut kaasut
- » Melu: voi ylittää turvalliset rajat (yli 80 dB)
- » Ergonominen: inhimilliset tekijät, valaistus, visuaaliset häiriötekijät



**Euroopan unionin
osarahoittama**

TURVATOIMENPITEET JA VAROTOIMET

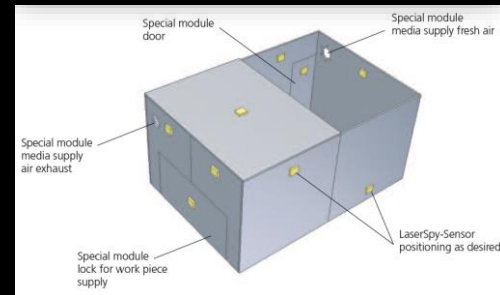
- » Kaikkien alueella olevien tulisi olla tietoisia riskeistä (turvallisuuskoulutus)
- » Jokaisella huoneessa olevalla tulisi olla asianmukaiset suojalasit
- » Ei kelloja tai koruja (saattaa aiheuttaa heijastavan tason)
- » Lasersuojalasit:
 - » On suunniteltava tietylle aallonpituudelle
 - » On oltava ehjät
 - » Täytyy istua täydellisesti kasvoille.



Euroopan unionin
osarahoittama

RISKIEN EHKÄISY: TYÖPISTE

- » Suojakotelo: seinien on kestävä altistuminen kohtuudella ennakoitavissa yhden vian olosuhteissa
- » Käyttöpaneelit ja lukitukset
- » Etälukitus
- » Manuaalinen nollaus
 - » Luokka 4: päästöjen mahdollistaminen päästökatkoksen jälkeen
- » Näppäinten hallinta
 - » Luokissa 3B ja 4 on oltava avainkäyttöinen pääohjaus
- » Varoitus lasersäteilystä
- » Vilkkuva "emission on" -signaali



**Euroopan unionin
osarahoittama**

