

# 3D-tulosteiden pinnoitus ja pintakäsittelyt

FMT-päivät 2025

21.5.2025

UEF Teknillisen fysiikan laitos

Kimmo Laitinen, Hannu Korhonen, Reijo Lappalainen



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND



Euroopan unionin  
osarahoittama

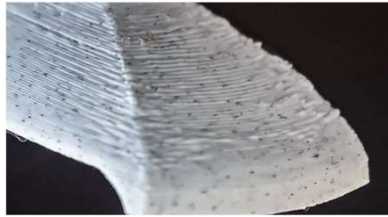


UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND



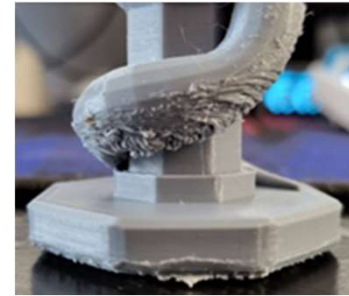
# 3D-tulosteiden pinnanlaadusta

Pinnanlaadun haasteita / tarpeita jälkikäsittelylle:



Pinnan epätasaisuus/karheus

Tulosteen irrotus tulostusalustasta/  
tukirakenteiden poisto



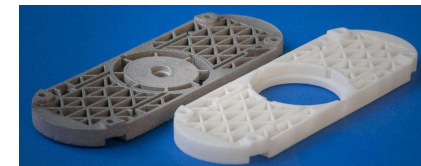
Tulostusvirheet/vääristymät

Pinnan ulkonäön muutos



Koneistuksen tms. työstön tarve

Pinnan toiminnallisuuden  
muutos



Euroopan unionin  
osarahoittama



# 3D-tulosteiden pinnoitus UEF:ssa



Euroopan unionin  
osarahoittama

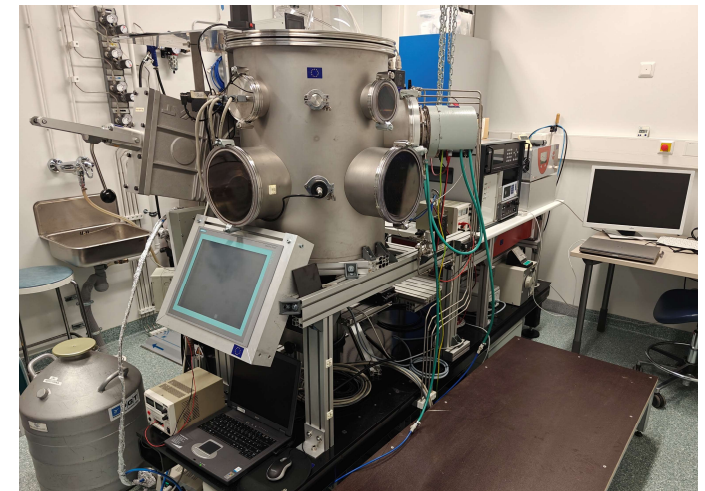
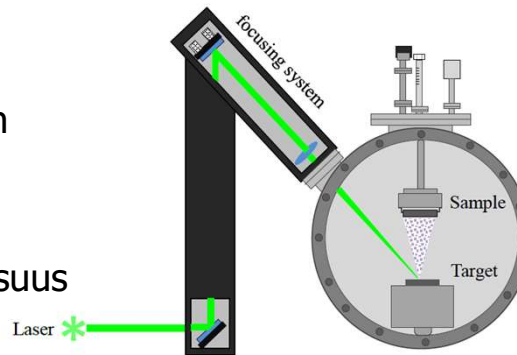


# Lyhytpulssilaserablaatiopinnoitus

Pulssitettu kylmäablaatiomenetelmä, ultra-short pulsed laser deposition (USPLD) -menetelmä. Periaate on höyrystää matalassa lämpötilassa pysyvistä kohtiosta lyhytkestoisen (ps-fs) laserpulssin avulla materiaalia plasmana, joka tyhjiössä osuu suurella lentonopeudella pinnoitettavan kappaleen (näytteen, substratin) pinnalle muodostaen ohutkalvon.

## Etuja:

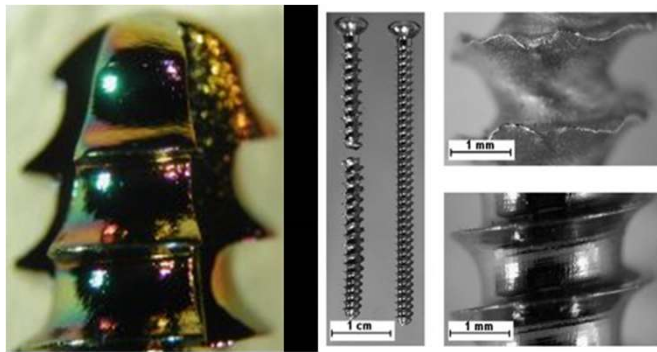
- Tarkasti hallitut monikerros-/seospinnoitteet monenlaisille pinnoite- ja pohjamateriaaleille
- Tausta-aine useimmiten pysyy lähes huoneen lämpötilassa → sopii myös lämpöherkkien polymeerien pinnoitukseen
- Tasalaatuinen pinnoite, tasainen pinnoitepaksuus
- Soveltuvuus monille kohtiomateriaaleille, kohtiomateriaalin helppo vaihdettavuus



Euroopan unionin  
osarahoittama



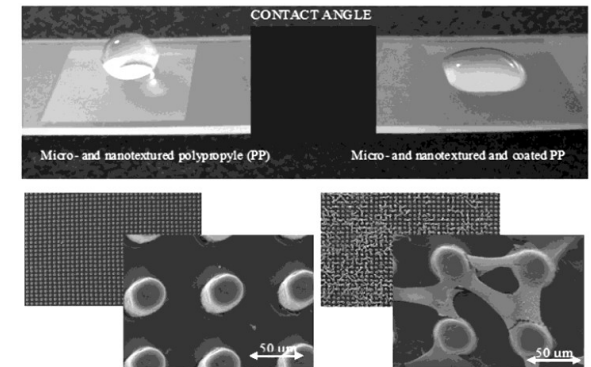
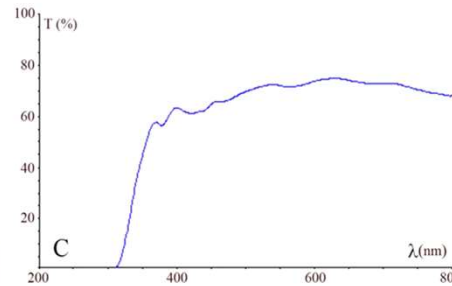
# Aiempia USPLD-pinnoituksia UEF:ssa



The bone screw ( $\varnothing$  3.5 mm) coated with AD by USPLD which had low friction sliding and a reduced torque moment is shown on the left (Koistinen et al. 2005). Inserts for uncoated screws on the middle and the right show examples of shear failures after removal (Koistinen et al. 2003).



Alumina coated prism (A), standard abrasive brushes (B) and transparency of the coated prism after severe wear testing (C) (Lappalainen et al. 2015).



Water drop on polypropylene (PP) surfaces (upper figures). Non wetting PP (left), wetting carbon nitride coated PP (right). There was practically no cellular adhesion and growth on PP (left), and good cell attachment and growth on the coated PP surface (right) (Myllymaa et al. 2009).



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Case: taivutusväsytyssauvojen pinnoitus

- Näytteet 30 x 90 mm taivutusväsytyssauvoja, jotka FMT tulostanut AISI316L-teräksestä WAAM-menetelmällä
- Pinnoite: amorfinen timantti hiilikohtiolla, min. 6 kerrosta
- Pinnoitepaksuus n. 300 nm (arvio)
- Pinnoitus sauvan molemmille puolille
- Tutkimuskysymys: Vaikuttaako pinnoitus sauvojen taivutusväsytykskestävyyteen?

Pintakäsittely ennen USPLD-pinnoitusta	Ra-pinnan- karheus ( $\mu\text{m}$ )
koneistettu&kevyesti hiottu	0.20
koneistettu&kiillotettu	0.16
koneistettu&kuulapuhallettu	3.42
koneistettu&kuulapuhallettu &kiillotettu	1.98

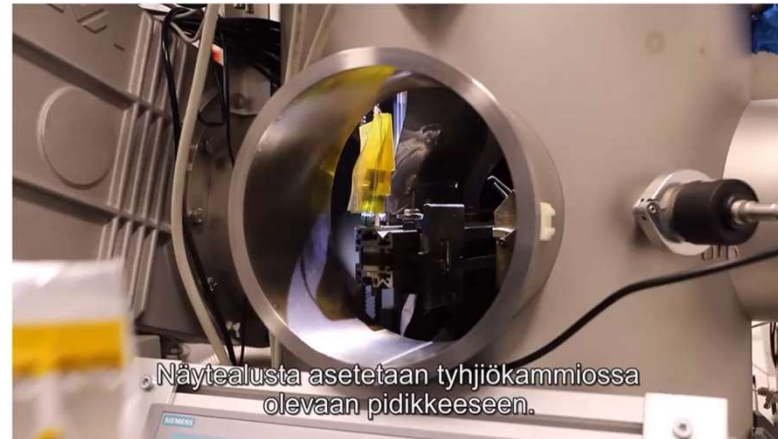


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Pinnoitusprosessin kulku

## 1. Näytteiden asettaminen tyhjiökammioon



Euroopan unionin  
osarahoittama

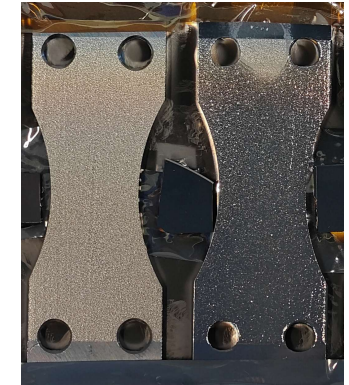


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Alustavia tuloksia

- Ensimmäisissä taivutusväsytesteissä pinnoite ei ole vaikuttanut merkittävästi tuloksiin (pinnoite liian ohut?)
- USPLD-pinnoite toimii suojana ja kulutuksen/kitkan pienentäjänä, vaikka väsymislujuus ei paranisi



Pintakäsittely ennen USPLD-pinnoitusta	Ra-pinnankarheus (µm)	
	ennen pinnoitusta	pinnoituksen jälkeen
koneistettu&kevyesti hiottu	0.20	0.21
koneistettu&kiillotettu	0.16	0.20
koneistettu&kuulapuhallettu	3.42	3.59
koneistettu&kuulapuhallettu &kiillotettu	1.98	2.24

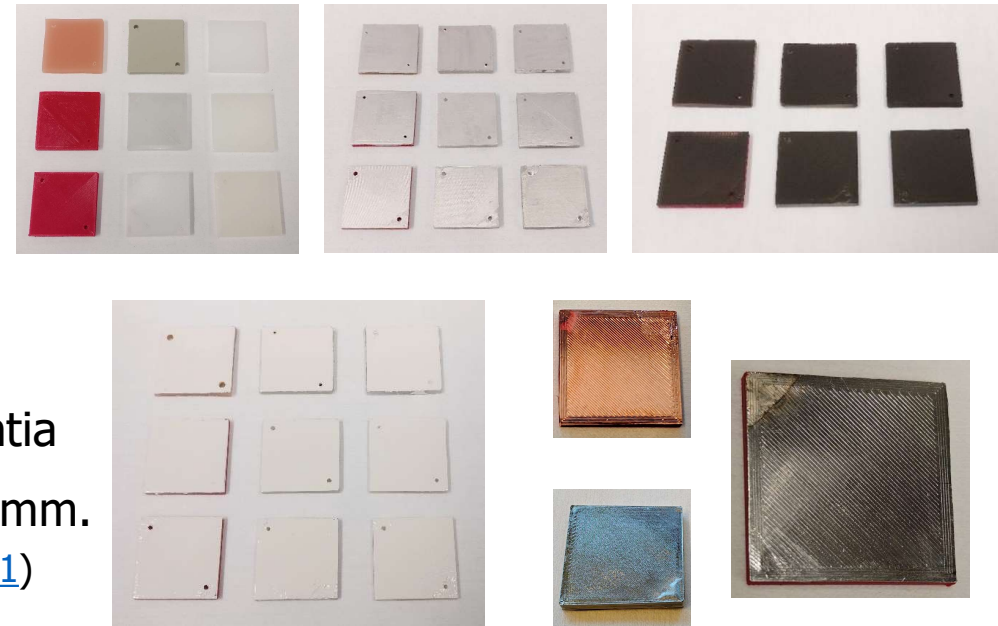


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Case: 3D-tulostettujen polymeerien pinnoitus

- Pohjamateriaaleina 3D-tulostetut PUR, PA ja PP + referenssit levytavarasta
- Pinnoite 1: pohjamaali + keraamipinnoitus
- Pinnoite 2: metallointi (USPLD tai hopeamaali) + sähkökemiallinen Cu+Ni+Cr-pinnoitus
- Esikäsitteilyt ilman haitallisia kemikaaleja
- Yksinkertaistettu prosessi ilman etsausta/aktivointia
- Vastaava metallointiprosessi osoitettu toimivaksi mm. alumiinille/RST:lle (DOI: [10.1016/j.surfcoat.2016.05.031](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.05.031))



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Pinnoitteiden karakterisointi/testaus

## Pinnankarheus

- $R_a$ ,  $R_{t_v}$ ,  $R_z$ , jne.



## Adheesio

- Naarmutustesti
- Kriittiset kuormat eri vauriomodeille



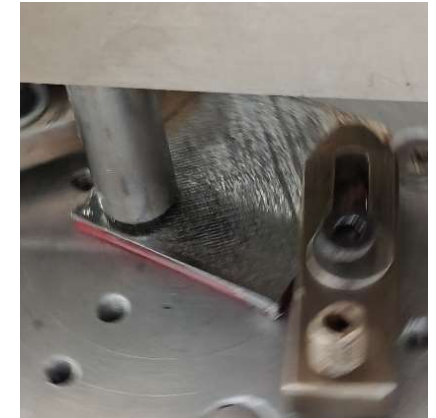
## Adheesio

- Liimatappitesti
- Tartuntalujuus



## Kitka/kuluminen

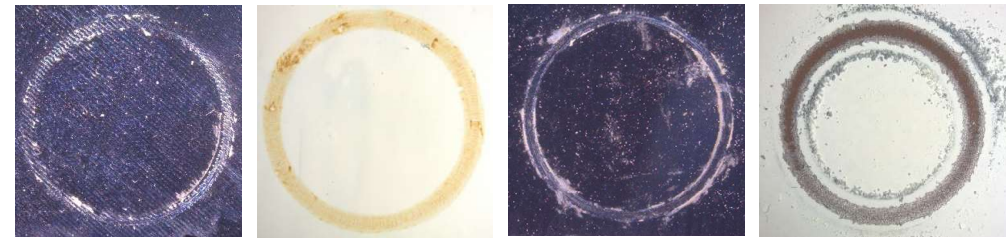
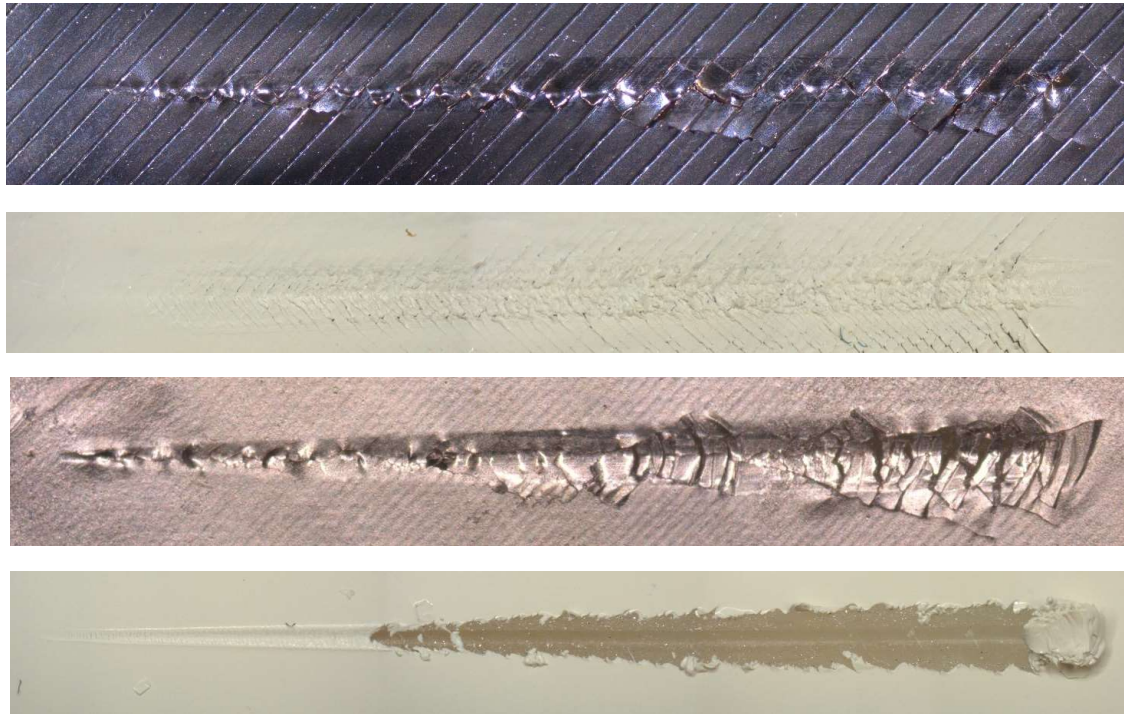
- Pin on disk – tappikulutusko
- Kitkakerroin/ kulumistekijä



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Tuloksia



Rating of substrate-coating combinations (performance in adhesion and wear tests)				
Substrate	Enamel paint	Enamel spray	Conductive silver + Cu+Ni	USPLD Ti+Ni + Cu+Ni+Cr
PUR (plate)	Yellow	Red	Yellow	Yellow
PUR (3D printed 'smooth')	Green	Green	Yellow	White
PUR (3D printed 'rough')	Green	Yellow	Yellow	Yellow
PP (plate)	Red	Red	Yellow	Green
PP (3D printed 'smooth')	Green	Red	Yellow	White
PP (3D printed 'rough')	Green	Green	Red	Red
PA (plate)	Green	Red	Red	Green
PA (3D printed 'smooth')	Yellow	Red	Yellow	White
PA (3D printed 'rough')	Yellow	Red	Red	Green



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Yhteenveto

- USPLD-menetelmä soveltuu hyvälaatuisten ohutkalvojen pinnoittamiseen sekä metalli-, muovi-, että komposiittimateriaaleille.
- USPLD:n avulla saadaan aikaan suojaava pinnoite pidentämään tuotteen pinnan ikää ja parantamaan toimivuutta.
- Metallointi USPLD-pinnoitteella mahdollistaa 3D-tulostetun muovin sähkökemiallisen metallipinnoituksen ilman monimutkaisia esikäsittelyjä tai myrkyllisiä kemikaaleja.
- Myös muut siveltävät/ruiskutettavat pinnoitteet tarttuvat ilman monimutkaisia esikäsittelyjä tiettyihin 3D-tulostettuihin muoveihin, joilla on sopiva pinnankarheus.



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Kiitos!

[uefconnect.uef.fi/tutkimusryhma/biomateriaalitekniologian-tutkimusryhma](https://uefconnect.uef.fi/tutkimusryhma/biomateriaalitekniologian-tutkimusryhma)

Kimmo Laitinen, [kimmo.laitinen@uef.fi](mailto:kimmo.laitinen@uef.fi)



Euroopan unionin  
osarahoittama

