

Tämä on rinnakkaistallenne alkuperäisestä artikkelista /  
This is a self-archived version of the original article.

Version: accepted manuscript / Final draft

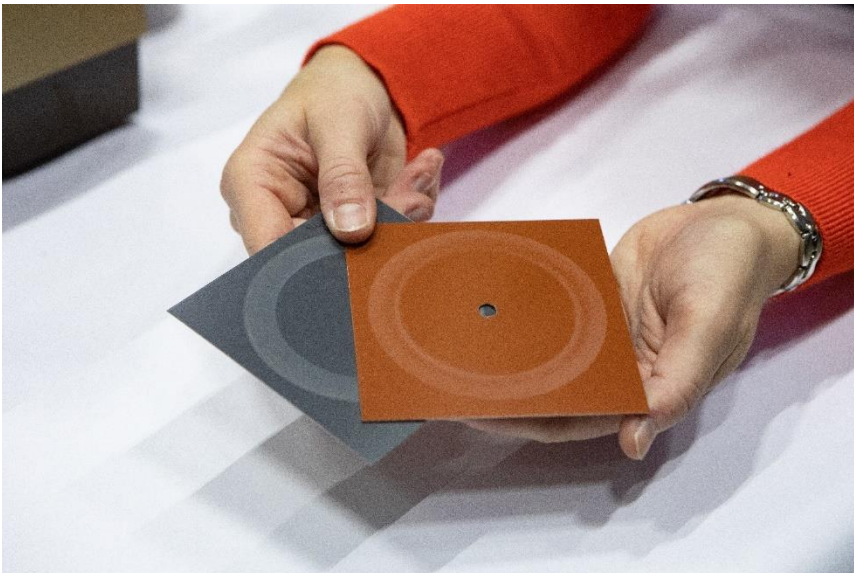
Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä: /

To cite this article please use the original version:

Mäntyneva, J. (2021). Biopohjaisten pinnoitettujen  
ohutlevytuotteiden kulutuskestävyys. *Ohutlevy*, (1), 37-40.

## Biopohjaisten pinnoitettujen ohutlevytuotteiden kulutuskestävyys

*Miksi maalipinnoitteiden kulutuskestävyys on tärkeää? Koko maalipinnan läpäisevä naarmu tai muu kuluminen voi aiheuttaa korroosio-ongelmia, jotka lyhentävät tuotteen käyttöikä. Jos kuluminen on pinnallisempaa, on kyseessä yleensä vain visuaalinen ongelma. Molemmissa tapauksissa tuotteen valmistajalle saattaa kuitenkin tulla kulumisesta johtuvia asiakasreklamaatioita. Kulutuskestävyyttä tutkitaan menetelmillä, joilla pyritään simuloimaan maalipinnoitetun ohutlevytuotteen altistumista kulumiselle elinkaarensa aikana, kuten esimerkiksi puhdistettaessa tai asennuksen aikana tapahtuvassa hankauksessa. Maalipinnoitettua ohutlevyä käytetään materiaalina esimerkiksi rakennusten vesikatoissa, julkisivuissa sekä sadevesijärjestelmissä. Tässä artikkelissa käsitellään biopohjaisten pinnoitteiden kulutuskestävyyden tutkimusta ohutlevytuotteissa ja esitellään tutkimustuloksia.*



*Kuva 1. Hankauskulutustestinäytteitä*

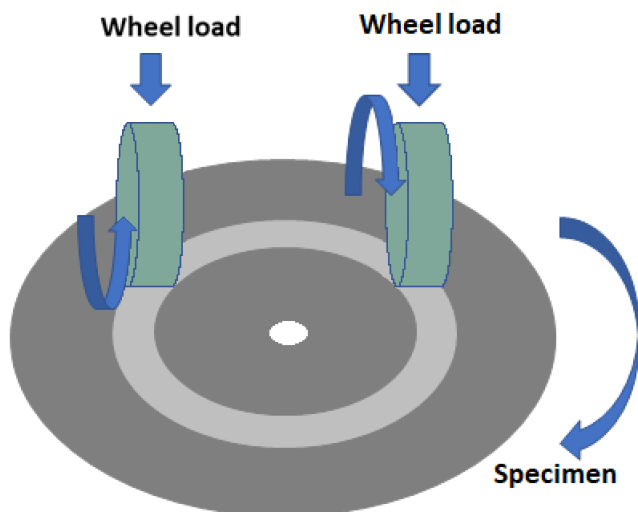
Kulutuskestävyyden tutkiminen on osa ”Biopohjaiset pinnoitetut ohutlevytuotteet” -hanketta, jossa tutkittiin maalipinnoitettuja ohutlevytuotteita, joiden valmistuksessa on käytetty biopohjaisia komponentteja. Hankkeessa selvitettiin, miten bio-osuuden lisääminen maaliin vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin, kuten kulutuskestävyyteen, muovattavuuteen, mekaanisiin ja kitkaominaisuuksiin, huoltomaalattavuuteen sekä pitkäaikaiskestävyyteen. Kulutuskestävyyttä tutkittiin hankausta tuottavalla kulutusmenetelmällä, jolla voidaan simuloida ohutlevytuotteelle normaalisti tehtävää käsittelyä kuten puhdistusta. Ohutlevyt saattavat asennuksen yhteydessä liikkua toisiaan vasten aiheuttaen hankaavaa kulumista.

### Hankauskulutustestaus

Taber-hankauskulutuslaite kehitettiin jo 1930-luvulla kiihdytettyjen kulutustestien tekemiseen. Laitteesta on kehittynyt kulutustestauksen standardi, jota käytetään maailmanlaajuisesti esimerkiksi laadunhallinnassa ja tuotekehityksessä sekä materiaalien ja pinnoitteiden ominaisuuksien tutkimisessa. Tulokset saadaan nopeasti ja testaus on yksinkertaista. Laitte soveltuu hyvin laajan materiaalikirjon tutkimiseen tekstiileistä metalleihin, ja siihen viitataan useissa eri standardeissa, esim EN 13523-16: *Coil coated metals — Test methods — Part 16: Resistance to abrasion*, ASTM D4060: *Standard Test Method*

*for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser, EN ISO 7784-2: Paints and varnishes. Determination of resistance to abrasion. Part 2: Method with abrasive rubber wheels and rotating test specimen. [1]*

Tutkimusmenetelmässä vastakkaisiin suuntiin pyörivät kulutuspyörät kuluttavat näytteen pintaan kuvan 2 mukaisen hankauskuvion. Myös näytelevy alustoineen pyörii akselinsa ympäri, maalipinnoitteiden tapauksessa kierrosnopeudella 60 rpm. Kulutuspyöriä on olemassa materiaaliltaan erilaisia, mutta alumiinioksidi- tai piikarbidipartikkeleista valmistetut kulutuspyörät on todettu maalipinnoitteille parhaiten soveltuviksi. Näytelevy voi olla joko pyöreä tai neliömäinen riippuen siitä, kumman muotoinen materiaalista on helpompi valmistaa. Maalipinnoitettu ohutlevynäyte on kuvan 1 mukainen neliömäinen 100x100 millimetrin kokoinen levy, johon on porattu keskelle reikä näytealustaan kiinnitystä varten.



*Kuva 2. Hankauskulutustestin periaate ja hankauskuvion synty*

### **Hankkeessa käytetyt biomaalatut näyttemateriaalit**

Maalissa yleisesti käytettyjä komponentteja ovat sideaine, liuotin, pigmentit ja lisäaineet. Biomaalilla tarkoitetaan tässä yhteydessä maalia, jossa jokin maalin komponenteista on korvattu ympäristöystävällisemmällä vaihtoehdolla. Esimerkiksi ympäristölle haitallisia liuottimia on voitu korvata osittain tai kokonaan, tai maalin valmistuksessa on käytetty kierrätettyjä komponentteja. Perinteisiin, ei-biopohjaisiin pinnoitteisiin verrattuna, tutkituissa pinnoitteissa merkittävä osa fossiilisesta öljystä on korvattu rypsiöljyllä, joka jääkin pysyväksi osaksi pinnoitetta ja täten ilmaan haihtuu vähemmän haitallisia aineita. Näin on saatu tuotteen hiilijalanjälkeä pienennettyä. [2]

Hankkeessa tutkittavat näytteet jaettiin niin sanottuihin ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven biomaalattuihin ohutlevypinnoitteisiin, joiden välisenä erona on lisätty bio-osuuden määrä tai tyyppi. Toisen sukupolven biomaalatuissa ohutlevyissä on enemmän bio-osuutta kuin ensimmäisen sukupolven tuotteissa, ja kolmannen sukupolven tuotteissa bio-osuutta on edelleen lisätty käyttämällä lisäksi muitakin biokomponentteja. Mukana oli eri sideaineisiin pohjautuvia ja eri sävyisiä pinnoitteita. Erityisesti kulutuskokeessa eri sävyisiä näytteitä ei valitettavasti voida täysin verrata keskenään, sillä erilaiset pigmentit käyttäytyvät kulutuskokeessa eri tavoin. Mustilla näytteillä on aiemmmissakin tutkimuksissa todettu olevan hyvä hankauskulutuksenkesto, johtuen joko pigmenttien laadusta tai määrästä. Jos esimerkiksi mustaa ja valkoista näytettä verrataan keskenään, mustassa pigmenttien määrä on selvästi pienempi kuin valkoisessa, toisaalta siis kulutettavaa sideainetta on suhteessa enemmän. Hiilimustalla

pigmentillä saattaa polymeerien yhteydessä olla kulutuskestävyyttä parantava vaikutus toimiessaan eräänlaisena voiteluaineena. [3]

## Kulutuskestävyyden arviointimenetelmät

Aiemmin maalipinnoitteiden hankauskulutuskestävyyden arvioinnissa on käytetty kahta eri menetelmää: visuaalista arviota siitä, koska pintamaali on kulunut tarpeeksi eli pohjamaaliin saakka, tai painohäviöön perustuvaa menetelmää 250 kulutuskierroksen perusteella laskettuna, mikä ei kuitenkaan kuvaa sellaisen pinnoitteen todellista kulutuskestävyyttä kovinkaan hyvin, joka kestää kulutusta 1000–2500 kierroksen verran, ennen kuin pohjamaali tulee näkyviin. Menetelmää kehitettiin hankkeen puitteissa siten, että tulosten tulkinnasta tulisi vähemmän tekijäriippuvaista ja tuloksena saataisiin selkeä numeroarvo, jonka perusteella maalipinnoitteiden kulutuskestävyyttä pystyttäisiin paremmin arvioimaan ja vertailemaan keskenään. Tämän vuoksi koesarja sisälsi viisi rinnakkaisnäytettä, sillä hajonta oli aiemmissa tutkimuksissa ollut välillä suurta painohäviöitä mitattaessa parin rinnakkaisnäytteen perusteella. Lisäksi näytteitä kulutettiin useamman kierrosmäärän verran (250, 500 ja 1000 kierrosta), sen mukaisesti, mitä kukin pinnoite vähintään kesti kulutusta. Näyte punnittiin ennen kulutusajoa ja sen jälkeen, ja painohäviön perusteella laskettiin Taber Wear Index (TWI), jossa on otettu huomioon painohäviön lisäksi pinnoitteen kuivatiheys ja kulutettu kierrosmäärä. Mitä pienempi indeksi, sitä parempi on pinnoitteen hankauskulutuksenkesto. [1]

---

$$TWI = \frac{\text{painohäviö} \cdot 1000 \text{ kierrosta}}{\text{pinnoitteen kuivatiheys} \cdot \text{kulutettu kierrosmäärä}}$$

Kyseinen menetelmä ei vaadi näytteen jatkuvaa tarkastelua testiajon aikana, mikä on selkeä etu visuaalisen arvion menetelmään nähden. Toki ajon jälkeen on varmistettava, että näyte on vielä punnitukseen kelpaava; toisin sanoen, ettei kuluminen ole vielä edennyt pohjamaaliin. Sen verran visuaalisesti tulkittava ja tekijäriippuvainen on tämä laskentamenetelmäkin.

## Biopohjaisilla pinnoitteilla saavutettuja testituloksia

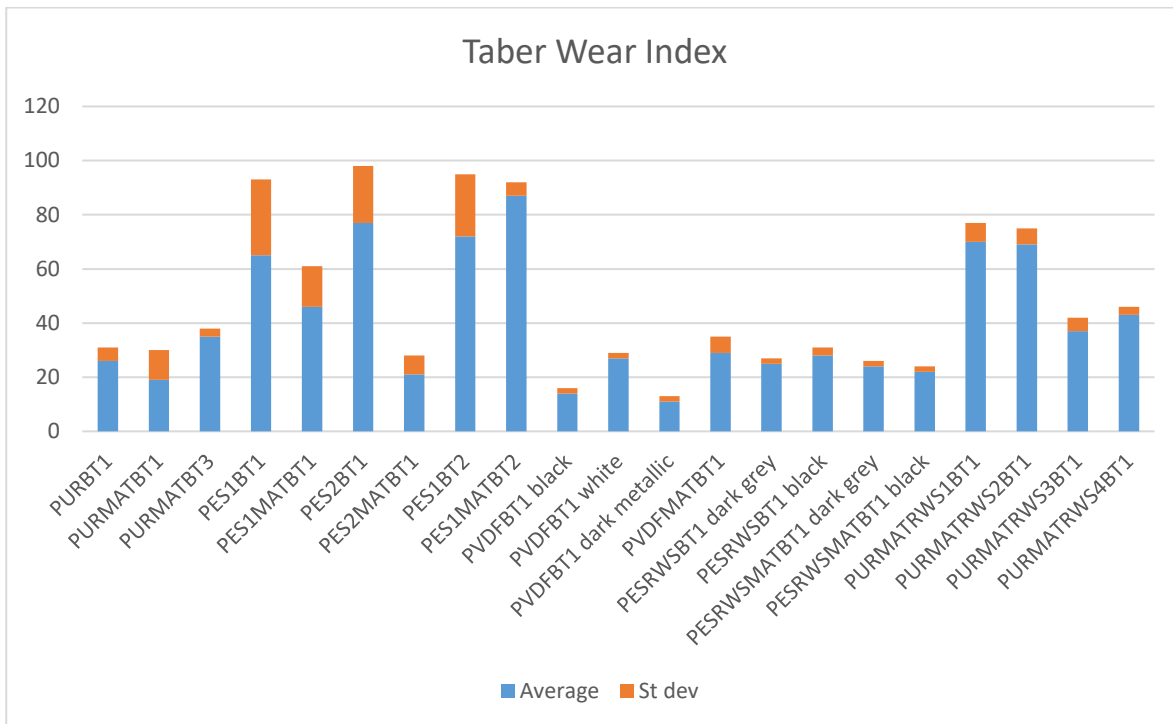
Taulukossa 1 on esitetty kaikkien hankkeessa tutkittujen pinnoitteiden Taber Wear Index (TWI) -arvon viiden rinnakkaisnäytteen keskiarvo, sekä kulutettu kierrosmäärä, jonka perusteella laskenta on tehty. Kierrosmäärä kuvastaa samalla siis myös visuaaliseen arvioon perustuvaa tulkintaa. Kuva 3 esittää laskentamenetelmän tulokset keskihajontoineen. Mitä pienempi tulos, sen parempi kulutuskestävyys.

Laskentamenetelmän mukaan biopohjaisilla PUR- ja PVDF-pohjaisilla pinnoitteilla hankauskulutuskesto oli erinomainen (TWI enintään 35), kuten myös polyesteripohjaisilla sadevesijärjestelmiin käytettävillä pinnoitteilla (PESRWS). Muilla polyesteripohjaisilla pinnoitteilla tuloksissa havaittiin eniten vaihtelua eri pinnoitteiden välillä, ja rinnakkaisnäytteen keskihajonnat olivat myös suurimmat. PUR-pohjaisten sadevesijärjestelmäpinnoitteiden (PURMATRWS) kulutuskestävyydessä havaittiin selkeä ero erityyppisten pinnoitteiden välillä. Visuaalisesti arvioiden toisen tyyppisten PURMATRWS-pinnoitteiden kestävyys oli kuitenkin samalla tasolla (1000 kulutuskierrosta) kuin PESRWS-pinnoitteiden, osittain jopa parempikin, joten selkeitä johtopäätöksiä todellisesta kulutuskestävyydestä ei voida tehdä pelkän laskentamenetelmän perusteella polyesteri -ja PUR-pohjaisten sadevesijärjestelmäpinnoitteiden välillä.

Hankauskulutustesti on vain yksi tapa tutkia kulutuskestävyyttä, mikä on myös hyvä pitää mielessä. Hankkeen pinnoitteet olivat kehitysvaiheen versioita, ja tulosten perusteella pinnoitteiden ominaisuuksia on jo parannettu, ja parannetaan edelleen.

*Taulukko 1. Biopohjaisten maalipinnoitteiden hankauskulutustestitulokset*

<b>Coating</b>	<b>Revolutions</b>	<b>Taber Wear Index</b>
PURBT1	1000	26
PURMATBT1	1000	19
PURMATBT3	500	35
PES1BT1	250	65
PES1MATBT1	1000	46
PES2BT1	250	77
PES2MATBT1	1000	21
PES1BT2	250	72
PES1MATBT2	500	87
PVDFBT1 black	1000	14
PVDFBT1 white	500	27
PVDFBT1 dark metallic	1000	11
PVDFMATBT1	1000	29
PESRWSBT1 dark grey	500	25
PESRWSBT1 black	1000	28
PESRWSMATBT1 dark grey	500	24
PESRWSMATBT1 black	1000	22
PURMATRWS1BT1	250	70
PURMATRWS2BT1	250	69
PURMATRWS3BT1	1000	37
PURMATRWS4BT1	1000	43



Kuva 3. Hankauskulutustestitulokset; keskiarvot ja -hajonnat

Toisen sukupolven (BT2) biopinnoitteiden kulutuksenkestävyydessä ei ollut kovin merkittävää eroa ensimmäisen sukupolven pinnoitteisiin, ottaen huomioon testattujen näytteiden eri sävyt. Kolmannen sukupolven ainoalla koeajetulla pinnoitteella (PURMATBT3) painohäviö oli hieman suurempi ja ajettu kierrosmäärä pienempi kuin erinomaisen kestävyuden omaavalla ensimmäisen sukupolven PUR-pinnoitteella (PURMATBT1). Huomioitavaa on kuitenkin toistaiseksi hyvin pieni otanta kolmannen sukupolven pinnoitteista ja vertailunäytteiden eri sävyt, joten selkeitä johtopäätöksiä ei pystytty tekemään bio-osuuden tyyppin ja lisätyn määrän vaikutuksesta kulutuskestävyyteen. Kiiltävä- ja mattapintaisten polyesteripinnoitteiden välillä oli nähtävissä selkeä trendi, jonka mukaan erityisesti visuaalisesti arvioiden mattapinnoitteilla oli lähes systemaattisesti parempi kulutuskestävyys kuin vastaavilla kiiltävillä pinnoitteilla. Tähän saattaa vaikuttaa myös se, että mattapinnoitteilla kiiltoero ennen testiä ja testin jälkeen ei ole niin suuri kuin kiiltävillä pinnoitteilla, ja kiillon muutos vaikuttaa suoraan visuaaliseen tulkintaan. Näytteiden pinnankarheudet mitattiin hankkeen puitteissa myös, mutta niissä ei havaittu selkeää korrelaatiota kulutuskestävyytuloksiin. Pinnankarheudet korreloivat toki näytteistä mitattujen kiiltoarvojen ja ulkonäön kanssa.

Taber-hankauskulutustesti on maalipinnoitteille käytettynä kohtalaisen tuore tutkimusmenetelmä. Suurin osa hankkeen yhteistyöyrityksen tuotannossa olevista maalipinnoitteista on jo biopohjaisia. Näistä syistä oli haasteellista verrata biopohjaisia pinnoitteita ei-biopohjaisiin, koska Taber-kulutustestituloksia ei-biopohjaisista pinnoitteista on olemassa vain vähän. PVDF-pinnoitteiden kohdalla vertailua oli kuitenkin mahdollista tehdä aiempiin testituloksiin nähden, ja biopohjaisilla PVDF-pinnoitteilla hankauskulutuksenkeston todettiin olevan vähintään samalla tasolla kuin ei-biopohjaisilla PVDF-pinnoitteilla. Vertailu perustuu kuitenkin vain parin rinnakkaisnäytteen tuloksiin ja laskelmiin ainoastaan 250 kulutuskierroksen perusteella. [3]

Hyperspektrikamerakuvausta testattiin hankkeen puitteissa osalle näytteistä, lähinnä vaikeimmin visuaalisesti tulkittavissa oleville harmaille ja metallinsävyisille näytteille, pohjamaalin ollessa myös harmaa. Kuvauksesta saatu hyöty suhteessa vaadittavaan työmäärään nähtiin kuitenkin vähäiseksi. Kameralla saatiin näkyville eroja kulutettujen ja ei-kulutettujen näytteiden välille, mutta hyperspektrikamerakuvausta ei käytännössä voida hyödyntää käynnissä olevalla testilaitteella reaaliajassa, joten sen hyöty testikappaleen visuaalisen arvion tueksi jäi pieneksi.

## Yhteenveto

Biomaalin sideaineella on suurin vaikutus pinnoitteen hankauskulutuskestävyyteen. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa pinnoitepaksuus, väri ja pinnoitteen sisältämät täyteaineet. Eri maalipinnoitteiden hankauskulutuskestävyydessä havaittiin selkeitä eroja, sekä visuaalisesti arvioiden kierrosmäärän perusteella että painohäviöön perustuvalla laskentamenetelmällä. Nämä kaksi menetelmää korreloivat keskenään kohtalaisen hyvin joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta.

Eri sukupolvien biomaalien välistä kulutuskestävyyttä ei täysin pystytty vertailemaan näytteiden eri sävyjen takia, eli toisin sanoen näytteiden välillä oli muitakin muuttujia kuin vain biokomponentin määrä tai tyyppi. Otanta uudempien sukupolvien näytteistä oli myös melko suppea. Tulosten väliset erot eivät kuitenkaan olleet kovin merkittäviä.

Ei-biopohjaisiin pinnoitteisiin verrattuna biopohjaisilla päästiin kulutuskestävyydessä vähintään samalle tasolle, mutta kyseistä vertailua oli mahdollista tehdä vain murto-osalla pinnoitteista.

Tulosten hajonta oli suurella osalla pinnoitteista melko pientä, joten tulevaisuudessa mittauksissa kolmen rinnakkaisnäytteen käyttäminen viiden näytteen sijaan ei oletettavasti muuttaisi tulosten luotettavuutta merkittävästi mutta vähentäisi työmäärää selvästi.

Menetelmän kehittämiseksi entisestään vähemmän tulkinnanvaraiseksi olisi mielenkiintoista yhdistää konenäkötekniikkaa kulutuslaitteen yhteyteen. Parhaimmillaan tällainen järjestelmä pysäyttäisi laitteen tai hälyttäisi, kun pintamaalikerros on kulunut pohjamaaliin asti ja tulokseksi kulutuskestävyydelle saataisiin kulutettu kierrosmäärä. Pohjamaaliin asti kuluttaminen kuvaisi parhaiten pinnoitteen todellista hankauskulutuskestävyyttä.

## Lähteet:

[1] Taber Industries. (2019). Haettu 28.5.2021 osoitteesta: <https://www.taberindustries.com/about-taber>

[2] SSAB. (2020). Haettu 28.5.2021 osoitteesta: <https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/greencoat>

[3] Koivunen, M. (2018). *Determination of the Mechanical Durability of Organic Coil Coatings*. Diplomityö. Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201808142114>

## Yhteystiedot:

Johanna Mäntyneva

Tutkimusinsinööri, HAMK Tech -tutkimusyksikkö

Visakaarre 9, 13100 Hämeenlinna

puh. 050 338 6593

[johanna.mantyneva@hamk.fi](mailto:johanna.mantyneva@hamk.fi)

[www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/](http://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/)