

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:

Oksanen, V. (2020). Biopohjaisten pinnoitettujen  
ohutlevytuotteiden muovauskitkakokeet. Ohutlevy, (1), 26-30.

## Biopohjaisten pinnoitettujen ohutlevytuotteiden muovauskitkakokeet

Ville Oksanen

*Maalipinnoitettujen ohutlevytuotteiden, kuten kattopeltien, sandwich-paneelien ja sadevesijärjestelmien, valmistusprosesseissa pinnoitetun ohutlevyraaka-aineen muovauskäyttäytyminen on erittäin keskeistä. Muovauskäyttäytymiseen vaikuttavat sekä pohjamateriaalina käytettävä sinkkipinnoitettu teräs että maalipinnoitekokonaisuus. Pinnoitteen muovauskäyttäytymisen selvittämiseksi voidaan tutkia esimerkiksi sen kitkakäyttäytymistä, kestävyyttä erilaisissa muovaustilanteissa sekä testaamalla eri tavoin muovattujen kappaleiden kestävyyttä olosuhtealtistuskokeissa. Tässä artikkelissa esitellään havaintoja Biopohjaiset pinnoitetut ohutlevytuotteet -hankkeen (Bioppo) muovauskitkakokeista.*

Bioppo-hankkeessa tutkittiin biopohjaisia raaka-aineita sisältävien ohutlevymaalipinnoitteiden ominaisuuksia monipuolisesti. Muovauskitkaa tutkittiin kahdella menetelmällä: bending-under-tension-laitteella (BUT), joka simuloi vetojännityksen alaisen ohutlevyn kitkaa taivutuskontaktissa sylinterimäistä muovaustyökalua vasten vedettäessä, sekä flat-to-flat-laitteella (F2F), jolla kuvataan pidätinkitkaa vedettäessä näytettä puristettuna kahden tasomaisen pidätintyökalun väliin. Kitkamittaustulosten lisäksi tarkasteltiin kitkakoeäytteen pinnoitteiden muutoksia silmämääräisellä arviolla ja kiiltomittauksilla. Muovauskitkakokoiden olosuhteet eivät olleet suoraan vastaavia kuin valmistuslinjojen levynmuovauksessa. Valmistusolosuhteita ankarampien koeolosuhteiden ansiosta pinnoitteiden kestävyyttä päästiin vertailemaan.

Hankkeen kitkakokeiden tavoitteena oli tuottaa vertailevaa aineistoa pinnoitteiden kehitysversioiden muovauskitkakäyttäytymisen välillä sekä selvittää muovauskitkan ja käytännön levynmuovauksen yhteyksiä. Lisäksi BUT- ja F2F-menetelmillä saatujen kitkakerrointulosten välille pyrittiin löytämään matemaattinen korrelaatio. Menetelmien välinen korrelaatio mahdollistaisi paljon aikaa ja tilaa vaativan BUT-menetelmän käytön vähentämisen tai korvaamisen kokonaan tehokkaammalla F2F-menetelmällä.

### Bending-under-tension-menetelmä (BUT)

Bending-under-tension-menetelmän periaate on esitetty kuvassa 1 [1]. Ohutlevymateriaalista leikattua soiroa vedetään sylinterimäisen muovaustyökalupinnan yli vakionopeudella  $v_1$ . Vetoa vastustaa vakio pidätinvoima  $F_2$ . Menetelmässä näytteen leveys on työkalun sylinteripinnan leveyttä pienempi. Mittaamalla pidätinvoimaa  $F_2$  ja vetoa  $F_1$  voidaan arvioida kitkakerroin ja projektiopintapaine sekä näytteen vetojännitys molemmin puolin muovaustyökalua.

BUT-kokeessa on kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa testataan näytteen taivutus-oikaisuvoima  $F_B$  käyttäen laakeroitua, pyörivää muovaustyökalua. Tällöin näytteen ja työkalun suhteellinen liike koostuu vierimisestä ja näytteen venymän aiheuttamasta osittaisesta liukumasta. Taivutusoikaisuvoima arvioidaan veto- ja pidätinvoimien erotuksena.

Kokeen toisessa vaiheessa käytetään pyörimätöntä muovaustyökalua, jolloin näytteen ja työkalun suhteellinen liike on puhtaasti liukukontakti. Kitkakertoimen arviointiin on esitetty useita kaavoja [2]. Yleisimmin käytetty veto- ja pidätinvoimien mittaukseen perustuva kaava kitkakertoimelle on:

$$\mu = \frac{1}{\theta} \cdot \frac{R + \frac{t_0}{2}}{R} \cdot \ln\left(\frac{F_1 - F_B}{F_2}\right)$$

missä:

$\theta$  on nimellisen kontaktisektorin kulma ( $\theta = \pi/2$ ),

R on muovaustyökalun säde,

$t_0$  on näytemateriaalin nimellispaksuus,

$F_1$  on vetävä voima,

$F_2$  on pidätinvoima

$F_B$  on pyörivällä työkalulla arvioitu taivutus-oikaisuvoima ( $F_B = F_1^* - F_2^*$ )

Kontaktin pintapainetta voi arvioida projektiopintapaineena:

$$P = \frac{F_1 + F_2}{2RW}$$

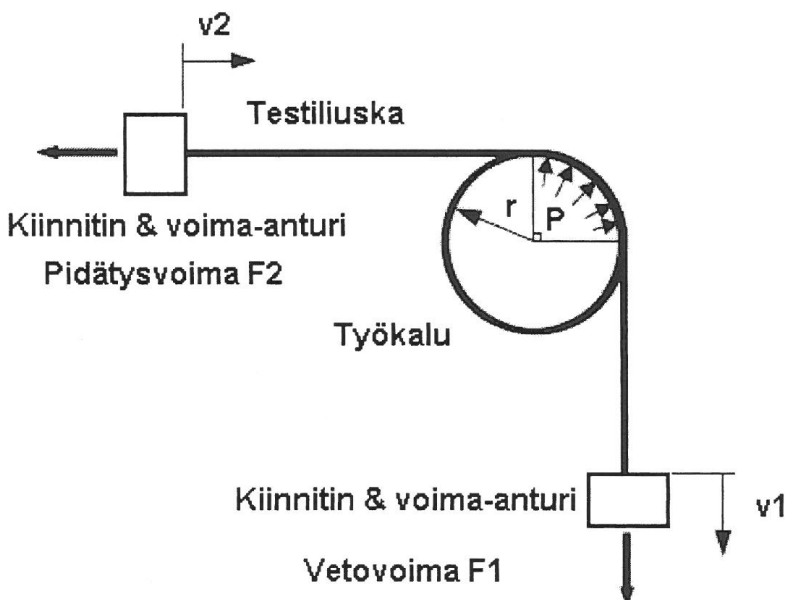
missä W on näytesoiron nimellinen leveys.

Projektiopaineessa näytteeseen vaikuttavat voimat on yksinkertaisesti laskettu yhteen ja jaettu näytteen ja työkalun kontaktin nimellisellä projektiopinta-alalla. Todellisuudessa pintapaine jakautuu epätasaisesti, kuten myös leikkausjännitys ja näytteen venymä kontaktissa. Pintapainejakaumassa on piikit kontaktisektorin alku- ja loppuvaiheilla. Pintapaineen ja kitkakertoimen arviointitavoista BUT-kokeessa voi lukea lisää esimerkiksi Follen ja Schaefferin [2] artikkelista. Bioppo-hankkeessa pintapaineet arvioitiin projektiopaineena.

HAMK Techin BUT-laitteen suunnittelu on toteutettu opinnäytetöinä [3, 1]. Laitteessa vetävää päätä ohjataan sähkömoottorilla ja pidätinvoima tuotetaan hydraulisyylinterillä. Mittauslaitteistolla mitataan veto- ja pidätinvoimia sekä vetävän ja pidättävän pään näytteenpitimen paikkaa.

Bioppo-hankkeessa näytemateriaaleille suoritettiin kattava BUT-koesarja. Kaikki näytemateriaalit testattiin käyttäen kahta muovaustyökalun sädettä, 5 mm ja 40 mm, sekä kahta pidätinvoimatasoa, jotka vastasivat suurin piirtein 25% ja 75% näytemateriaalin myötörajasta. Vetonopeus  $v_1$  oli 50 mm/s. Näytesoiron pituus oli 1 m ja leveys 50 mm. Näytteiden pituusakseli oli ohutlevyrainan leveysakselin suuntainen. Kokeissa ei käytetty muovauslisäaineita.

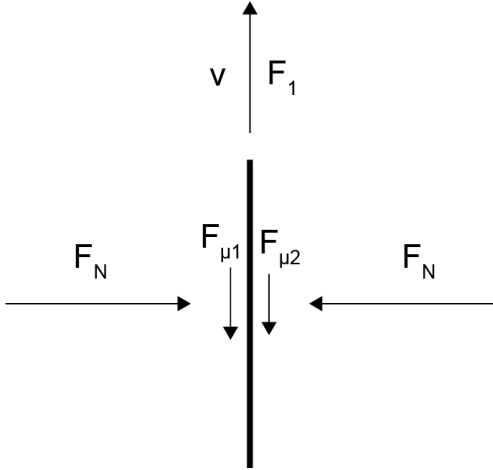
Koedatasta määritettiin liikekitkakerroin ja projektiopintapaine keskiarvona vetävän näytteenpitimen siirtymämatkalta, jolla vetonopeus  $v_1$  ja pidätinvoima  $F_2$  pysyivät suurin piirtein vakiona halutuilla tasoilla. Määrittämiseen käytettiin aina 150 mm pituiselta siirtymämatkalta saatua dataa.



Kuva 1. Bending-under-tension-menetelmän periaate. [1]

## Flat-to-flat-menetelmä (F2F)

Flat-to-flat-menetelmässä ohutlevyä, joka on puristettuna kahden tasomaisen pidätintyökalun väliin, vedetään vakionopeudella liikekitkakertoimen määrittämiseksi. Menetelmän periaate on esitetty kuvassa 2. Näytesoirossa voi olla vastakkaisilla pinnoilla eri pinnoitteet, jolloin puolilla vaikuttavat kitkavoimat voivat erota toisistaan merkittävästi.



Kuva 2. Flat-to-flat-menetelmän periaate.

Kitkakerroin ja nimellinen pintapaine arvioidaan kaavoilla:

$$\mu = \frac{\Sigma F_{\mu}}{2F_N} = \frac{F_1}{2F_N}$$

$$P = \frac{F_N}{A}$$

missä:

$\Sigma F_{\mu}$  on kitkavoimien summa

$F_1$  on vetävä voima

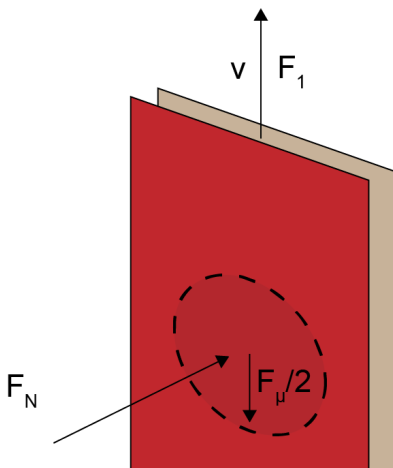
$F_N$  on normaalivoima

$A$  on yksittäisen pidätintyökalun pinta-ala

HAMK Techin F2F-laite on toteutettu vetokoelaitteeseen liitettävä lisäosana. Näytteen vetämiseen ja vetävän voiman sekä siirtymän mittaamiseen käytetään vetokoelaitetta, ja puristus näytteen ja pidätintyökalujen välille tuotetaan käsipumpulla säädettävällä hydraulisylinterillä. Normaalivoimaa mitataan erillisellä voimasellillä. Pidätintyökalujen tasopinta on pyöreä, ja yksittäisen työkalun pinta-ala on noin 280 mm<sup>2</sup>.

Bioppo-hankkeessa F2F-kokeet suoritettiin kaikille näytteille nimellisillä pintapainetasoilla 1 MPa, 7 MPa ja 13 MPa. Vetonopeus oli 10 mm/s, joka on käytetyn vetokoelaitteen enimmäissiirtymänopeus. Kokeissa ei käytetty muovauslisäaineita.

Näytteenä käytettiin kahta leveydeltään 30 mm ja pituudeltaan 350 mm soiroa, jotka asennettiin laitteeseen taustapuolelta vastakkain, jolloin molemmat pidätintyökalupinnat olivat kontaktissa saman pinnoitepuolen kanssa, ja kitka jakautuu nimellisesti tasan puolien välillä. Näin saatiin mitattua pinnoitekohtainen kitkakerroin. Kuva 3 havainnollistaa koejärjestelyä käytettäessä kahta näytesoiroa. Mittauksissa on mahdollista käyttää myös yksittäistä näytesoiroa, jolloin tuloksena saadaan kahden erilaisen kontaktiparin systeemitkakerroin. Tällainen kitkakerroin ei välttämättä vastaa keskiarvoa, joka saataisiin, jos molempien pinnoitepuolien kitkakertoimet mitattaisiin erikseen. Näytteen vetomatka kokeessa oli 190 mm. Koetulokset laskettiin siirtymämatkalta 20...170 mm.



Kuva 3. Kahdella näytesoirolla suoritettavan F2F-kokeen periaate.

### Pinnoitteiden muutosten tarkastelu

Kitkakokeiden jälkeen näytteiden kontaktissa olleiden pintojen muutoksia arvioitiin silmämääräisesti ja kiiltomittauksilla. Tarkastelut suoritettiin pääasiassa usean päivän kuluttua kitkamittauksista. Joillekin näytteille tarkastelut suoritettiin pian koeajojen jälkeen ja uudelleen usean vuorokauden kuluttua, koska haluttiin seurata, ovatko pinnan muutokset palautuvia.

Kiiltomittausten vertailuarvoina käytettiin koskemattoman näytepinnan kiiltomittaustuloksia. Testatuilta kitkakoepinnoilta mitattiin kiiltolukema ja laskettiin kiillon muutossuhde GR%, eli kokeen jälkeen mitatun ja ennen koetta mitatun kiillon suhde.

Visuaalinen arviointi tehtiin yhden henkilön eli artikkelin kirjoittajan suorittamana silmämääräisenä tarkasteluna. Arvioinnit suoritettiin hyvässä, värilämpötilaltaan 4500 K valaistuksessa. Pinnoitteiden pintamuutoksista tehtiin muistiinpanot ja havaitut vauriotyypit luokiteltiin silmämääräisesti.

Pinnan muutokset arvioitiin visuaalisesti asteikolla 0...5 huomioimatta pintavaurioiden tyyppiä. Asteikolla 0 tarkoittaa, että näytteessä ei havaittu silminnähtäviä muutoksia. Arvo 1 vastasi hädin tuskin nähtävissä olevia vaurioita tai muutoksia ja arvo 5 erittäin ankaria pinnoitevaurioita. Kullakin parametrikombinaatiolla testatut näytteet saivat numeroarvostelun. Eri koeparametreilla saaduista numeroarvoista laskettiin keskiarvo pinnoitemateriaalille, ja keskiarvon perusteella pinnoitemateriaalille annettiin arvosana pinnoitemateriaalin kestävyydelle muovauskitkakoeolosuhteissa. Arvosanan *erinomainen* saivat näytteet, joiden keskiarvo oli enintään 1, ja arvosanan *hyvä* näytteet, joiden keskiarvo enintään 2. Mikäli keskiarvo oli yli 2, arvosana oli *tyydyttävä*. *Tulee huomioida, että muovauskitkakoeolosuhteet poikkesivat tuotanto-olosuhteista, eikä pinnoitteen vaurioitumisesta muovauskitkakokeissa voi suoraan päätellä, ettei pinnoite kestäisi tuotantokäytössä, vaan asiasta tulee varmistua käytännön koeajoilla.*

### Biopohjaiset pinnoitteet

Hankkeessa tutkituissa pinnoitteissa fossiilisia ainesosia oli korvattu uusiutuvista lähteistä saatavilla komponenteilla. Pinnoitteiden fossiilisia öljypohjaisia sideainepolymeerejä oli korvattu rypsipohjaisilla polymeereillä. [4] Näytemateriaalit luokiteltiin hankkeen ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven näytteisiin. Ensimmäisen sukupolven näytteet (merkintä BT1) sisälsivät tietyn osuuden biopohjaisia komponentteja. Toisessa sukupolvessa (BT2) näiden biopohjaisten komponenttien osuutta oli kasvatettu. Kolmannen sukupolven näytteissä (BT3) oli otettu lisäksi käyttöön uusia biopohjaisia komponentteja. [5] Hankkeen näytteisiin lukeutui erilaisiin sovelluksiin tarkoitettuja ja kemialliselta perustaltaan erilaisia pinnoitteita. Näytteissä oli käytetty useita eri pinnoitevärejä. Tämä vaikeutti joissain määrin pinnoitevaurioiden silmämääräistä arviointia.

## Tulokset

Muovauskitkakokeiden tuloksena saatiin kitka- ja pintamuutosdataa kaikista hankkeesta tutkituista kahdestakymmenestä neljästä pinnoitteesta. Taulukossa 1 on esitetty valikoituja keskiarvotuloksia. BUT-kokeista on esitetty kitkakerrointen keskiarvot muovaustyökalun säteillä 5 mm ja 40 mm nimellisellä pidätinvoimalla, joka vastaa 25 % materiaalin myötörajasta sekä kiillon muutossuhteiden keskiarvot muovaustyökalun säteellä 5 mm ja 25% myötörajasta vastaavalla pidätinvoimalla. F2F-testien osalta on esitetty kitkakerrointen keskiarvot kolmella nimellisellä pintapaineella 1 MPa, 7 MPa ja 13 MPa, kiillon muutossuhde nimellisellä pintapaineella 7 MPa sekä kaikkien kolmen kuormitustason pintavaurioarvioiden keskiarvon perusteella annettu arvosana.

Taulukko 1. Muovauskitkakokeiden valikoituja tuloksia.

Pinnoite	Kitkakerroin $\mu$					Kiillon muutos [GR% <sub>60°</sub> ]		F2F pinta- vaurio- arvosana
	BUT R=40mm F <sub>2~25%</sub> R <sub>p0.2</sub>	BUT R=5mm F <sub>2~25%</sub> R <sub>p0.2</sub>	F2F P=1MPa	F2F P=7MPa	F2F P=13MPa	BUT R=5mm F <sub>2~25%</sub> R <sub>p0.2</sub>	F2F P=7MPa	
PURBT1	0.27	0.20	0.19	0.21	0.20	87 %	87 %	Tyyd.
PURMATBT1	0.29	0.19	0.21	0.20	0.19	102 %	108 %	Eri.
PURMATBT3	0.44	0.32	0.38	0.32	0.27	97 %	96 %	Eri.
PES1BT1	0.27	0.14	0.14	0.13	0.12	90 %	100 %	Eri.
PES1MATBT1	0.23	0.05	0.15	0.13	0.13	91 %	103 %	Eri.
PES2BT1	0.17	0.11	0.15	0.11	0.11	95 %	99 %	Eri.
PES2MATBT1	0.16	0.06	0.16	0.12	0.11	98 %	109 %	Eri.
PES1BT2	-	0.12	0.14	0.13	0.12	-	100 %	Eri.
PES1MATBT2	0.30	0.09	0.18	0.17	0.16	-	113 %	Hyvä
PESRWSBT1	0.21	0.23	0.29	0.25	0.23	93 %	97 %	Hyvä
PESRWSBT1	0.18	0.24	0.23	0.21	0.18	88 %	102 %	Tyyd.
PESRWSMATBT1	0.17	0.24	0.21	0.17	0.15	-	99 %	Hyvä
PESRWSMATBT1	0.16	0.30	0.21	0.22	0.18	-	108 %	Tyyd.
PURMATRWS1BT1	0.23	0.29	0.21	0.18	0.16	92 %	103 %	Hyvä
PURMATRWS2BT1	0.25	0.33	0.22	0.18	0.17	79 %	106 %	Hyvä
PURMATRWS3BT1	0.23	0.17	0.19	0.17	0.15	106 %	109 %	Eri.
PURMATRWS4BT1	0.28	0.26	0.16	0.17	0.15	105 %	110 %	Eri.
BACKERREF	0.43	0.49	0.22	0.26	-	-	131 %	Tyyd.
BACKERBT1	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	-	106 %	Eri.
BACKERMATBT1	0.20	0.17	0.13	0.14	0.13	-	109 %	Eri.

### Näytetunnisteiden selitteet:

PUR polyuretaanisideaine

PES polyesterisideaine

RWS sadevesijärjestelmiin tarkoitettu tuote

BACKER taustapuolen pinnoite

MAT himmeä pinnoite (muut normaalikiiltoisia)

BT1 hankkeen ensimmäisen sukupolven näytteet

BT2 hankkeen toisen sukupolven näytteet

BT3 hankkeen kolmannen sukupolven näytteet

Kitkakertoimia ei sinällään voi arvottaa hyväksi tai huonoiksi. Kitkakerroin ei myöskään ole pinnoitemateriaalin ominaisuus, vaan systeemiominaisuus, johon vaikuttavat kaikki kontaktissa mukana olevat materiaalit ja aineet sekä monet muut vaikuttavat tekijät kuten pintojen laatu, kontaktiolosuhteet, ympäristöolosuhteet ja epäpuhtaudet. Tietyissä olosuhteissa mitattua kitkakerrointa voidaan kuitenkin hyödyntää materiaalin kitkakäyttötymisen ennakointiin koejärjestelystä poikkeavissa olosuhteista. Kitkakerroindataa voidaan hyödyntää mallinuksessa, ja arvottaa tuotannosta tai valmistuslinjakokeissa saatujen tulosten perusteella. Bioppo-hankkeen puitteissa sadevesijärjestelmien valmistuksessa käytettävien RWS-pinnoitteiden tuotantolinjatesteissä havaittiin tiettyjä yhteyksiä erityisesti F2F-tulosten kanssa. Kun vertailussa huomioitiin lisäksi pintavaurioarvostelut, yhteys linjakokeiden ja muovauskitkakoehavaintojen välillä oli suhteellisen selkeä.

BUT- ja F2F-kokeiden kitkatuloksia tarkastelemalla havaittiin, että useimmissa tapauksissa näytteiden väliset suhteelliset erot kitkakertoimissa olivat samansuuntaisia menetelmästä ja parametreista riippumatta. Toisin sanoen näytteillä, joilla oli suhteellisen suuri kitkakerronin BUT-testissä, oli usein korkea kitkakerronin myös F2F-testeissä. Tähän havaittiin kuitenkin myös poikkeuksia.

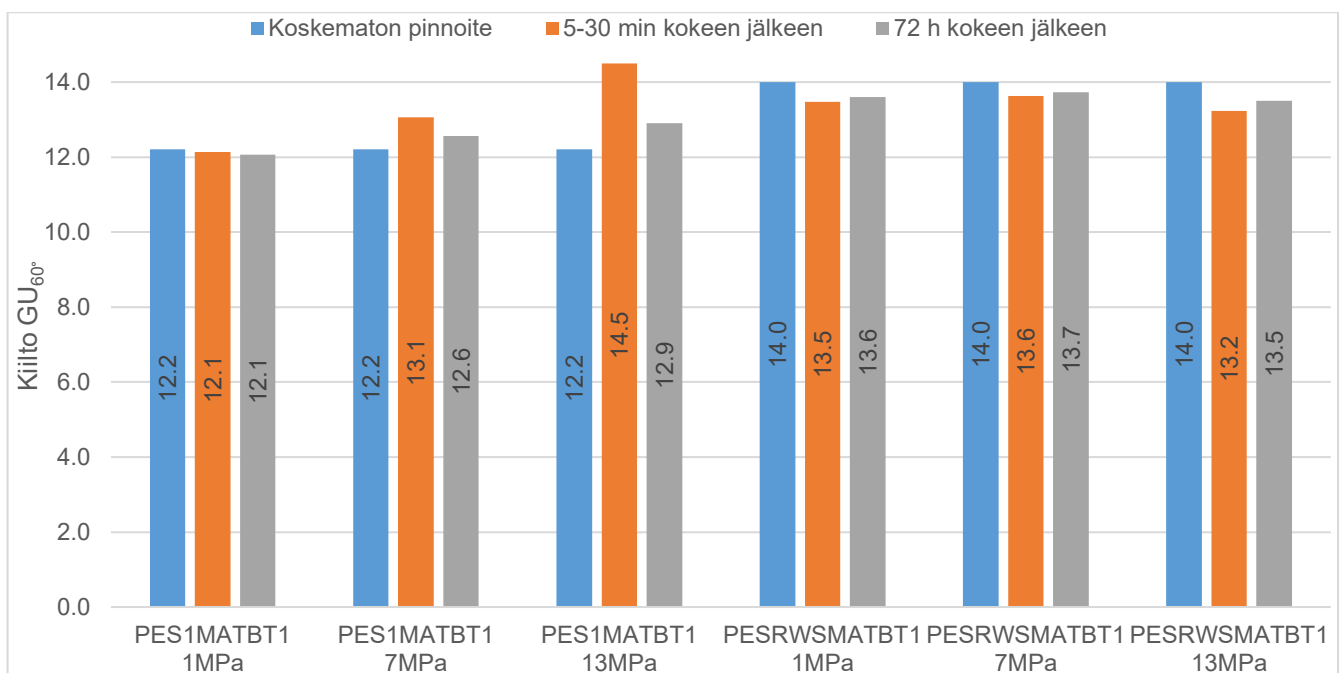
BUT- ja F2F-kokeiden kitkakeroitustulosten välille pyrittiin löytämään yksinkertainen matemaattinen korrelaatio. Korrelaatiota etsittiin yksinkertaisella tavalla etsimällä menetelmien väliltä parametripareja, joilla kitkakeroitusten välinen suhde olisi suurin piirtein vakio millä tahansa pinnoitemateriaalilla. Korrelaatioita ei havaittu tällä menetelmällä. Myöskään pienemmille, samankaltaisten pinnoitteiden ryhmille ei löydetty korrelaatiota. [6]

Kitkakoetulosten vertailuissa eri sukupolvien pinnoitteiden välillä havaittiin eroja sekä kitkakertoimissa että pintamuutoksissa. Polyuretaanipohjaisten mattapinnoitteiden PURMATBT1 ja PURMATBT3 välillä oli selkeä ero kitkakertoimessa. Kolmannen sukupolven kokeellisen PURMATBT3-pinnoitteen kitkakerronin lukeutui hankkeessa tutkittujen näytteiden korkeimpiin, ja sen kiilto väheni kitkakokeissa, kun taas ensimmäisen sukupolven pinnoitteen kiilto lisääntyi.

Polyesteripohjaisten pinnoitteiden 2. sukupolven normaalikiiltainen näyte PES1BT2 osoitti kautta linjan samantasoisia tuloksia kuin sen kaksi 1. sukupolven verrokkia PES1BT1 ja PES2BT1. Sen sijaan polyesteripohjaisen toisen sukupolven mattapinnoitteen PES1MATBT2 kitkakertoimet olivat kautta linjan korkeampia ja kestävyys heikompi kuin 1. sukupolven verrokkien PES1MATBT1 ja PES2MATBT1.

Taustamaalien kitkakokeissa havaittiin erityisen suuria eroja. Referenssinä käytetyn taustamaalin kitkakerronin oli erittäin korkea ja pinnoitteen kestävyys F2F-testien olosuhteissa huomattavasti heikompi kuin kokeellisten taustapinnoitteiden BACKERBT1 ja BACKERMATBT1.

Visuaalisissa tarkasteluissa havaittiin, että kokeissa useisiin pinnoitteisiin aiheutui kokeissa pysyviä vaurioita sekä kiillon muutoksia. Silmämääräisissä tarkasteluissa huomattiin kiillon usein palautuvan ajan kanssa kohti alkuperäistä arvoa. Kuvassa 4 on esitetty kahden testatun pinnoitteen keskiarvot koskemattomasta pinnasta sekä 5...30 minuutin sisällä F2F-testin jälkeen ja noin 72 h testin jälkeen tehdyistä kiiltomittauksista. Mittaustulokset todistavat silmämääräiset havainnot kiillon palautumisesta.



Kuva 4. Kahden näyttemateriaalin F2F-kokeiden kontaktipintojen kiillonmuutoksen palautumisen seurannan tulokset.



## Yhteenveto

Bioppo-hankkeen muovauskitkakokeissa tutkittiin biopohjaisten ohutlevypinnoitteiden kitkakäyttäytymistä ja kestävyyttä muovauskitkakoeolosuhteissa bending-under-tension- ja flat-to-flat-menetelmillä. Kattavaa tulosaineistoa 24 pinnoitteesta voidaan hyödyntää pinnoitekehityksessä sekä pinnoitteiden tuotantolinjasuorituskyvyn arvioinnissa.

Hankkeessa otettiin uutena lisäyksenä kitkakoetulosten rinnalle kaksi koepintojen arvioinnin välinettä: kiiltomittaukset ja pintavaurioiden arvosteluasteikko. Erityisesti pintavaurioiden visuaalinen arviointi on voitu jo todeta hyväksi lisäksi kitkakerrointen rinnalle, kun halutaan ennakoida pinnoitteen käyttäytymistä tuotantolinjalla.

Kiiltomittauksissa havaittiin, että pinnoitteen kiilto muuttuu muovauskitkakokeissa usein niissä määrin, että muutos on havaittavissa silmin. Huomattiin myös, että muovatun pinnan kiilto palautui ajan kuluessa usein kohti alkuperäistä arvoa. Kiillon palautumista on syytä tutkia edelleen, jotta voidaan selvittää pinnoitetyyppikohtaisesti, kuinka suuri kiillonmuutos muovauksen jälkeen saa olla, jotta kiillon voidaan odottaa palaavaan ajan kuluessa tasolle, josta kiillonmuutosta ei havaita silmin.

Hankkeen muovauskitkamittausten yhteydessä pyrittiin löytämään BUT- ja F2F-menetelmien kitkakerrointulosten välille yksinkertaisella matemaattisella korrelaatiota. Korrelaatiota ei löydetty käytetyllä menetelmällä, mutta yrityksestä ei ole syytä luopua, vaan korrelaation hakemisessa tulee käyttää kehittyneempiä menetelmiä, joissa tulee huomioida muun muassa pohjamateriaalien mekaaninen käyttäytyminen sekä kontakti-ilmiöitä, kuten pintapaineen ja leikkausjännityksen jakaumat.

## Lähteet:

- [1] Mäkitalo, J. Teräsohutlevyn kitkaominaisuudet muovauksessa. Kandidaatintyö. Materiaali- ja pintakäsittelytekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. 2005. 60 s.
- [2] Folle, L., Schaeffer, L. Evaluation of contact pressure in bending under tension test by a pressure sensitive film. Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology 2016(6), pp. 201-214. <http://dx.doi.org/10.4236/jsemat.2016.64018>
- [3] Lindberg, T. Muovauskitkakoelaitteiston suunnittelu. Kandidaatintyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutus ohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Hyväksytty 18.3.2003. 46 s.
- [4] SSAB Europe Oy. GreenCoat-tuotteiden verkkosivu. Viitattu 28.5.2021. <https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/greencoat>
- [5] Koivunen, M. *Determination of the Mechanical Durability of Organic Coil Coatings*. Diplomityö. Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Hyväksytty 28.2.2018. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201808142114>
- [6] Oksanen, V. Muovauskitkamenetelmien vertailu. Vihreä ja digitaalinen terästeknologia -webinaari. 26.5.2021. Viitattu 24.6.2021. [https://hameenamk-my.sharepoint.com/:b:/r/personal/tvuorio\\_hamk\\_fi/Documents/webinaariesitykset20210526/Bioppo\\_Muovauskitkamenetelmien\\_vertailu\\_Oksanen.pdf?csf=1&web=1&e=WfoSky](https://hameenamk-my.sharepoint.com/:b:/r/personal/tvuorio_hamk_fi/Documents/webinaariesitykset20210526/Bioppo_Muovauskitkamenetelmien_vertailu_Oksanen.pdf?csf=1&web=1&e=WfoSky)

## Yhteystiedot:

Ville Oksanen  
Tutkimusinsinööri, HAMK Tech -tutkimusyksikkö  
Visakaarre 9, 13100 Hämeenlinna  
puh. 050 344 6130  
ville.oksanen@hamk.fi  
[www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/](http://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/)