



Suojakalvon tartuntalujuuteen vaikuttavat tekijät

Sandwich-paneelin valmistus Ruukki Construction Oy:ssä

Joonas Luoma

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2020

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

LUOMA, JOONAS:

Suojakalvon tartuntalujuuteen vaikuttavat tekijät
Sandwich-paneelin valmistus Ruukki Construction Oy:ssä

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Marraskuu 2020

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia talvella tuotannossa olevien kylmien teräsohutlevyjen lämmittämiseen investoitavaa lämmitintä. Työssä tutkittiin teräsohutlevyjen lämpötilojen lisäksi muita tartuntalujuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa käsiteltiin myös liimojen toimintaperiaatteita sekä tehtiin tartuntalujuuden mittauksia. Työn toimeksiantajana toimi Ruukki Construction Oy. Ruukki valmistaa Alajärven toimipisteessään Sandwich-paneeleita, joita käytetään muun muassa teollisuusrakennusten julkisivuissa. Paneeli rakentuu kahdesta teräsohutlevystä, joiden väliin on liimattu mineraalivillaeriste. Tuotantoprosessissa teräsohutlevyjen pintaan kiinnitetään suojakalvo suojaamaan levyjen pintaa. Talvella tuotantoon asetettavat teräsohutlevyt saattavat olla kylmiä, minkä oletettiin huonontavan paneelin pintaan kiinnitettävän suojakalvon tartuntalujuutta. Suojakalvon poiston suorittaa asiakas paneelin asennusvaiheessa.

Tutkimuksessa tehtyjen mittausten perusteella todettiin teräsohutlevyjen lämpenevän suojakalvon valmistajan ilmoittamaan optimilämpötilaan riittävän nopeasti ilman erillisiä lämmittämiä. Tämän perusteella todettiin lämmittimiin investoinnin olevan kannattamatonta. Tutkimuksessa todettiin myös suojakalvojen tartuntalujuuden vaihtelevuuden olevan liian suuri, jotta se palvelisi asiakasta tai tuotantoprosessia. Ajan kuluessa ja suotuisissa olosuhteissa suojakalvojen tartuntalujuuden todettiin moninkertaistuvan. Lisäksi levyjarruilla tuotettu suojakalvojen kiristys oli liian voimakas. Voimakas kiristys heikensi kalvojen kiinnittymistä korkeissa lämpötiloissa. Huolellisuus kalvotusprosessissa sekä laitteiden puhtaana pitäminen olivat myös tärkeitä tekijöitä suojakalvon tasaisen tartuntalujuuden mahdollistamiseksi.

Tutkimuksen perusteella suositellaan aktiivisen laatuseurantajärjestelmän perustamista. Laatuseurantajärjestelmästä saatujen tuloksien perusteella suojakalvojen tarramaisuusasteet pystyttäisiin asettamaan optimaalisiksi. Investointeina suositellaan vaihtamaan kalvotuslaitteistoissa olevat levyjarrut magneettijauhejarruiksi.

Asiasanat: paineherkät liimat, suojakalvotus, tartuntalujuus, sandwich-paneeli

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Option of Machine Automation

LUOMA, JOONAS:
Manufacturing Sandwich Panels at Ruukki Construction Oy
Factors Affecting the Adhesive Strength of the Protective Film

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 4 pages
November 2020

The aim of this thesis was to determine whether it is necessary to invest in a heater for steel sheets. In addition to the studying of the temperatures of steel sheets, other factors affecting the adhesive strength were studied in the thesis. The study dealt with the operating principles of adhesives and measurements of adhesion strength were also made. The work was commissioned by Ruukki Construction Oy. Ruukki manufactures Sandwich panels at its plant in Alajärvi. Sandwich panels are used for example, in the facades of industrial buildings. The panel is made of two steel sheets with mineral wool insulation glued in between. A protective film is attached to the surface of the steel sheet during the production process. In winter, steel sheets meant to be filmed might be cold. Cold steel sheets were assumed to impair the adhesion strength of the protective film. The film is removed by the customer during panel installation.

Based on the measurements, it was found that the steel sheet warmed up to the optimum temperature indicated by the protective film's manufacturer fast enough without separate heaters. As result of this study it was found that investing in heaters is unprofitable. It was also found, that over time and under favorable conditions, the adhesive strength of the protective films multiplied. In addition, the tightening of the protective films produced by the disc brakes was too strong. Strong tightening of the film impaired the adhesion at high temperatures.

Based on this study, it is recommended to establish an active quality monitoring system. A quality monitoring system would allow for continuous improvement of methods. In addition, the degree of adhesion of the protective films could be set to the optimum by using the research results obtained from the system. As an investment, it is recommended to replace the disc brakes in the membrane equipment with magnetic powder brakes.

Key words: pressure-sensitive adhesives, protective film, adhesive strength, sandwich-panel

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	SANDWICH-PANEELIN TUOTANTO	6
	2.1 Tuotantoprosessi.....	6
	2.2 Tutkimuksessa käytettävät pinnoitteet	7
3	SUOJAKALVOTUSPROSESSI	9
4	PAINEHERKÄT LIIMAT	13
	4.1 Yleistä	13
	4.2 Toimintaperiaate	13
	4.3 Liimojen ominaisuuksien mittaaminen.....	16
5	MITTAUSMENETELMÄT.....	18
	5.1 Teräsohutlevyn lämpenemisnopeuden mittaus	18
	5.2 Suojakalvon tartuntalujuuden mittaus	19
6	TULOKSET	21
	6.1 Teräsohutlevyn lämpenemisnopeus.....	21
	6.2 Suojakalvon tartuntalujuus tuotannon jälkeen.....	22
7	SUOJAKALVON KIRISTYKSEEN LIITTYVÄT HUOMIOT	23
	7.1 Suojakalvolaitteissa käytetyt kiristysvoimat.....	23
	7.2 Suojakalvon kiristysvoiman vaikutukset	24
8	TEHDYT SEKÄ TULEVAT TOIMENPITEET	27
	8.1 Pyörimisvahtien lisääminen sekä jarrujen uusiminen	27
	8.2 Aktiivisen laatusurantajärjestelmän perustaminen	27
	8.3 Käytettävien suojakalvotyyppien ohjeistuksien päivittäminen	28
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	34
	Liite 1. Suojakalvon tartuntalujuuden testaamisen työohje	34
	Liite 2. Tartuntalujuuksien tulokset.....	36
	Liite 3. Ruukin tuotetestauksessa tehdyt tartuntalujuuden testit	37

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Ruukki Construction Oy:n Alajärven toimipiste. Ruukki Construction on SSAB:n omistama tytäryhtiö. Toimintaa on kymmenessä eri maassa. Ruukki tarjoaa rakentamisen tuotteita sekä palveluita, kuten kattoja ja kuorirakenteita.

Alajärvellä sijaitseva tehdas valmistaa Sandwich-paneeleja. Sandwich-paneeleja käytetään teollisuusrakennuksien julkisivuissa, väliseinissä sekä sisäkatoissa. Paneeli koostuu kahdesta maalipinnoitetusta teräsohutlevystä sekä niiden välissä käytetystä mineraalivillaeristeestä. Sandwich-paneelin valmistuksessa teräsohutlevyn pintaan laminoidaan suojakalvo suojaamaan maalipintaa paneelituotannon, kuljetuksen sekä asennuksen aikaisilta rasituksilta. Asiakas irrottaa kalvon lopullisen asennuksen yhteydessä. Irrotusvaiheessa asiakkaat ovat kokeneet suojakalvojen olevan liian tiukasti kiinni. Toisaalta suojakalvot ovat olleet satunnaisesti heikosti kiinni tuotannon aikana, mikä on johtanut kalvon irtoamiseen kesken paneelin valmistusprosessin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitata suojakalvojen tartuntalujuuksia sekä selvittää mahdollisia kalvotusprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi haluttiin tutkia teräksen lämpötilan vaikutus kalvotusprosessiin. Lämmitys olisi mahdollisesti tarpeellinen talvella, mikäli kelat tulevat tuotantoon ulko-varastosta. Raaka-aineiden lämpötilojen pitäisi olla kalvotusprosessin aikana +10–+30 celsiusasteen välillä. Tutkimus nähtiin tarpeelliseksi, koska kalvojen tartuntalujuuteen vaikuttavat tekijät ovat prosessikohtaisia ja aikaisempia tutkimuksia ei ole tehty.

2 SANDWICH-PANEELIN TUOTANTO

2.1 Tuotantoprosessi

Sandwich-paneeli valmistetaan jatkuvatoimisella tuotantolinjalla. Tuotantoprosessin alkupäässä teräsohutlevyt syötetään linjalle kelalta katkeamattomana levyinä. Levyihin lisätään suojakalvo, minkä jälkeen niihin rullamuovataan uros- sekä naaraspontit.

Tuotantolinjan keskivaiheilla teräsohutlevyt yhdistetään mineraalivillaan liimalla. Yhdistäminen tapahtuu puristimen eli prässin etuosassa. Puristimella tehostetaan teräsohutlevyjen sekä villojen yhteen liimautumista korotetussa lämpötilassa.

Prässistä tulevasta katkeamattomasta paneelistä leikataan automatisoidulla vannesahalla asiakkaan haluamilla mitoilla oikean pituiset paneelit. Katkaistut paneelit siirtyvät rullapöydillä kohti nostinta, joka kasaa paneelit kolleiksi. Kollit pakataan ja siirretään valmistuotevarastoon.

Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty Sandwich-paneelin rakenne. Kuvassa nähdään teräsohutlevyihin sekä villoihin tehdyt uros- sekä naaraspontit. Ponttien avulla saavutetaan tiivis liitos. Ylemmässä paneelissa on esitetty naaraspontti sekä alemmassa paneelissa urosponntti.



KUVA 1. Sandwich paneeli (Ruukki n.d.)

2.2 Tutkimuksessa käytettävät pinnoitteet

Alla olevassa taulukossa on esitetty tutkimuksessa käytetyt raaka-ainevalmistajan pinnoittamat teräsohutlevyt (taulukko 1). Laminaattipinnoite sekä ruostumaton teräs jätettiin käsittelemättä tutkimuksen rajallisen ajankäytön vuoksi.

TAULUKKO 1. Alajärven tehtaalla käytettävät pinnoitteet (Ruukki n.d. muokattu)

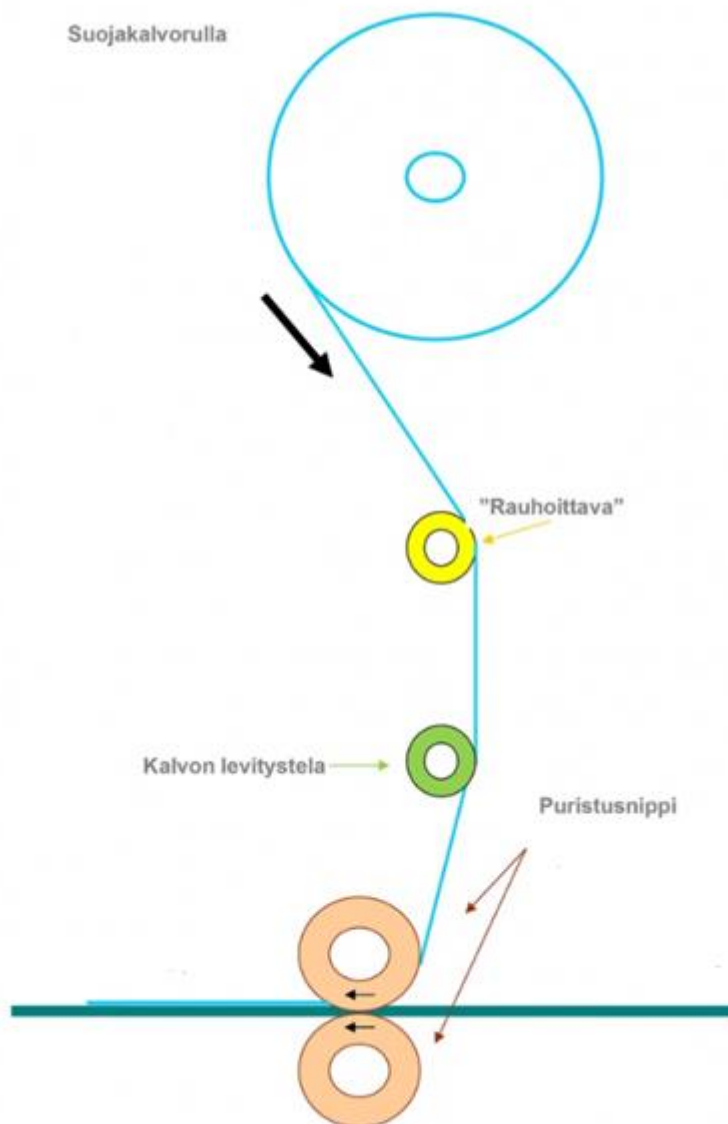
	GreenCoat Hiarc	GreenCoat Hiarc matta	GreenCoat Hiarc Max	GreenCoat Pural BT	Polyesteri
Pinnoitteen nimellispaksuus	27 µm	27 µm	40 µm	50 µm	25 µm
Kiilto	35	4	35 / 4	40	35
Min. taivutussäde	1 x t	1 x t	1 x t	1 x t	3 x t
Naarmunkestävyys	3000 g	3000 g	3500 g	4000 g	2000 g
Matalin muovauslämpötila	-10 °C	-10 °C	-10 °C	-15 °C	0 °C
UV-säteilyn kestävyys	RUV4	RUV4	RUV4	RUV4	RUV2-3
Korroosionkestävyys	RC4	RC4	RC5	RC5	RC3
Lianhylkivyyt	erinomainen	erinomainen	erinomainen	erittäin hyvä	tydyttävä
Korkein käyttölämpötila	+110 °C	+110 °C	+110 °C	+100 °C	+90 °C
Paloluokitus	A1	A1	A1	A2-s1, d0	A1

GreenCoat Hiarc eli polyvinyylideenifluoridi (PVDF) pinnoitetta on mahdollista saada normaalina, mattana sekä Maxina. Matta pinnoitteissa pinnan kiiltoaste on matala sekä pinta on strukturoitu. GreenCoat Hiarc Max pinnoite eroaa normaalista pinnasta pinnoitteen paksummalla vahvuudella. GreenCoat Hiarc pinnoitteiden värit 40, 41, 42, 43, 44 sekä 45 ovat metallinhohtovärejä. GreenCoat Hiarc pinnoitteita käytetään eniten paneelin ulkopinnassa.

GreenCoat Pural pinnoitteella eli strukturoidulla polyuretaanipinnoitteella on hyvät säänkestävyysominaisuudet. Paneeleissa tätä pinnoitetta käytetään kuitenkin vähemmän, kuin GreenCoat Hiarc tai Polyesteri pinnoitteita. Polyesteripinnoitetta käytetään huonompien säänkesto ominaisuuksien vuoksi eniten paneelin sisäpuolen levynä. Metallinhohtovärejä polyesteristä ovat värit 946 sekä 947. Metallinhohtoväreistä käytetään myös termiä metallic.

3 SUOJAKALVOTUSPROSESSI

Suojakalvon laminointi suoritetaan puristamalla suojakalvo teräsohutlevyn pintaan puristusnipillä eli puristusrullilla. Puristusnipissä oleva suojakalvo liimautuu paineen vaikutuksesta teräsohutlevyn pintaan, jolloin suojakalvo lähtee etene- mään linjalla etenevän teräsohutlevyn mukana. Tämän seurauksena suojakalvo- rulla saa pyörimisliikkeensä, jota jarrutetaan kevyesti tasaisen purkautumisen ta- kaamiseksi. Lisäksi jarrutuksella kumotaan suojakalvorullan hitausmomentti lin- jan vauhdin hidastuessa. Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu laminointi- prosessia (kuva 2).



KUVA 2. Suojakalvotusprosessi (Pelloplast n.d. muokattu)

Suojakalvorullan pyörimisen jarrutus suoritetaan yläpuolen kalvotuslaitteistoissa reaaliaikaisesti säädettävillä magneettijauhejarruilla. Alapuolen laitteistoissa jarruina käytetään levyjarruja. Levyjarruja säädetään vain jarrulevyjen kulumisen vuoksi. Alla olevissa kuvissa on esitetty paneelilla käytettävät kalvotuslaitteet (kuva 3 ja 4).



KUVA 3. Yläpuolen suojakalvotuslaitteistot



KUVA 4. Alapuolen suojakalvotuslaitteisto vedettynä sivuun

Suojakalvoina Sandwich-paneelitehtaalla käytetään Pelloplastin toimittamia eri tarramaisuusasteilla olevia suojakalvoja. Suojakalvojen tarramaisuusasteita vaihdellaan teräsohutlevyjen pinnoitteiden mukaan. Vaihtamalla tarramaisuusasteita tartuntalujuus pystytään pitämään optimina pinnoitteiden ominaisuuksista riippumatta. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty käytettävät suojakalvot eri pinnoitteille.

TAULUKKO 2. Käytettävät suojakalvotyypit eri pinnoitteille

Pinnoite	Suojakalvotyyppi
Polyesteri	2050
Polyesteri metallic 946	2123
Hiarc	2050
Hiarc metallic	2050
Hiarc matta	2126
Hiarc matta metallic	2126
Pural	2123
Laminaatti	2123

Suojakalvojen tarramaisuustaso riippuu suojakalvossa käytettävän liiman määrästä ja koostumuksesta. Taulukossa 3 on esitetty suojakalvotyyppien tarramaisuusasteet. Suojakalvojen tuotekoodi kertoo kalvon paksuuden sekä suojakalvossa käytettävän liiman määrän. Kyseiset kaksituhatta sarjan suojakalvot ovat paksuudeltaan 45 mikrometriä. Sata- sekä kymmenluku kertovat suojakalvoissa olevasta tarramaisuusasteesta. Suuremman luvun suojakalvotyyppi on tarramaisempi.

TAULUKKO 3. Pelloplastin suojakalvotyypit (Pelloplast n.d.)

Tuotekoodi	Pintasuojakalvo, UV-suoja	Akryyliiima, tarramaisuus
2003	45µ kirkas	erittäin matala
2050	45µ kirkas	matala
2090	45µ kirkas	medium
2120	45µ kirkas	medium
2122n	45µ kirkas	korkea
2123	45µ kirkas	korkea
2128	45µ kirkas	erittäin korkea
2130	45µ kirkas	erittäin korkea

4 PAINEHERKÄT LIIMAT

4.1 Yleistä

Paineherkät liimat eli PSA-liimat ovat viskoelastisia materiaaleja, jotka tarttuvat lähes kaikkiin pintoihin pienen ulkoisen paineen vaikutuksesta. Kyseisiä liimoja käytetään esimerkiksi suojakalvoissa, tarralapuissa sekä teipeissä. Paineherkkä liima levitetään suojakalvon pintaan valmistusvaiheessa. Suojakalvot on valmistettu esimerkiksi polyeteenistä. (van Herk 2013, 278)

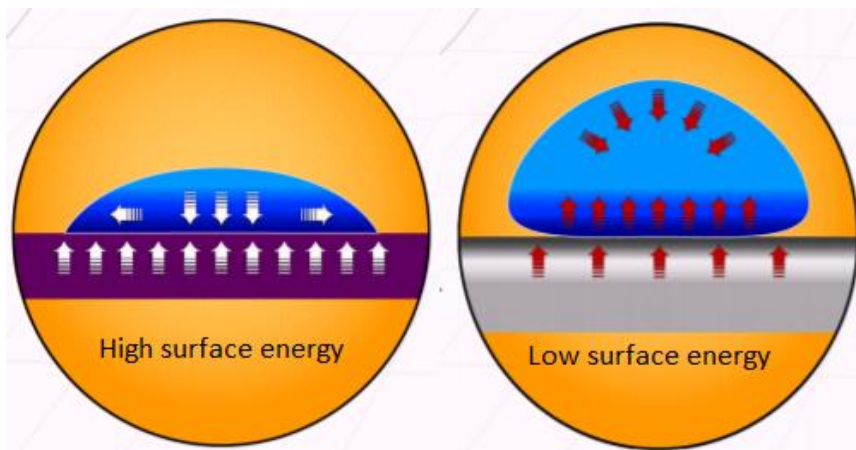
PSA-liimat on suunniteltu sekä pysyviin että väliaikaisiin liimauksiin. Suojakalvoissa käytettävät liimat muodostavat väliaikaisen liimasidoksen. Tämän ansiosta suojakalvo voidaan poistaa kuukausien päästä asennuksesta ilman, että pintaan jäisi liimajäämiä. (Feldstein & Moscalets 2016, iii) PSA-liimat eivät vaadi kovettumisaikaa laminoitaessa. Liiman kuivumisen kemiallinen reaktio on jo tapahtunut suojakalvojen ja teippien valmistusvaiheessa. (3M n.d)

Pelloplastin toimittamissa suojakalvoissa käytetään UV-stabiloituja vesipohjaisia akryyliliimoja. Liimattavien pintojen täytyy olla kuivia, puhtaita sekä öljyttömiä. Raaka-aineiden lämpötilan on oltava suojakalvotusprosessissa +10–+30 celsiusasteen välillä. Kalvo tulisi poistaa viimeistään kuuden kuukauden kuluttua laminoinnista poistolämpötilassa -20–+40 celsiusastetta. (Pelloplast 2017)

4.2 Toimintaperiaate

Liimojen tartunnan perustana on liiman kyky kostuttaa liimattava pinta. Liimojen täytyy virrata liimattavalla pinnalla hyvin, jotta saavutettaisiin mahdollisimman suuri molekyylikontakti. Liiman virtaaminen korostuu karheilla pinnoilla, koska liiman on kostutettava karheudet. Kostutusominaisuuteen vaikuttavat pinnan karheuden lisäksi pintojen pintaenergiat. Liimattavan pinnan korkeampi pintaenergia vetää matalamman pintaenergian liimaa puoleensa, jolloin liima levittyy pinnalle hyvin. Liiman levittymistä mitataan kostutuskulmalla. Ihannetapauksessa kostu-

tuskulma olisi nolla. Liimattavan pinnan pintaenergian lasku aiheuttaa kostutus- kulman kasvua. (Dillard & Pocius 2002, 500, 501) Alla olevassa kuvassa on ha- vainnollistettu kostutusta korkean sekä matalan pintaenergian materiaaleihin (kuva 5).



KUVA 5. Kostutus korkean sekä matalan pintaenergian materiaaleihin (3M 2015, muokattu)

Ruukilla käytettävien pinnoitteiden kokonaispintaenergioille ei ole tarkkoja mit- taustuloksia. Pintaenergian täytyy olla kuitenkin alempi paremmin puhtaana py- syvissä pinnoitteissa. Lähes kaikilla SSAB valmistamilla pinnoitteilla pintaenergia on kuitenkin 30–40 mJ/m² luokkaa. (Väisänen 2020) ”Pintaenergiaan vaikuttavat pääosin pinnoitetyyppi, väri sekä maalin toimittaja” (Sipilä 2020).

Hyvien kostutusominaisuuksien avulla saavutetaan liiman sekä liimattavien pin- tojen läheinen molekyylikontakti. Läheisen molekyylikontaktin vuoksi liiman sekä liimattavan pinnan välille syntyy vetovoimia, jotka muodostavat liimasidoksen. Kaikkien materiaalien rajapintojen välillä esiintyy vetovoimia, joita kutsutaan dis- persiovoimiksi. Joillekin pinnoite-liimayhdistelmille voi kuitenkin ilmetä dispersio- voimia vahvempia vuorovaikutuksia. (Dillard & Pocius 2002, 501)

PSA-liimojen tartuntamekanismit perustuvat pääsääntöisesti dispersiovoimiin. Dispersiovoimien lisäksi pintojen välillä saattaa esiintyä muitakin heikkoja mole- kyylien välisiä vetovoimia. Molekyylien välisiksi heikoiksi sidoksiksi luetaan dis- persiovoimat, dipolidipoli sidokset sekä dipolin indusoima dipolisidos. Kyseiset sidokset syntyvät elektronien jakautumisesta johtuvista sähköisistä varauksista. Molekyylien välillä esiintyvien sidosten voimakkuuteen vaikuttavat molekyylien

koko, muoto ja elektronirakenne (Hannola-Teitto, Jokela, Leskelä, Näsäkkälä, Pohjakallio & Rassi 2005, 60).

Maalipinnoitteiden raaka-aineet sekä lisäaineet vaihtelevat pinnoitteiden sekä värien vaihdellessa. Erilaiset yhdistelmät aiheuttavat erilaisia välittömiä sekä vanhenemisen aikana syntyviä vuorovaikutuksia. Molekyylien välisten heikkojen sidosten lisäksi liimojen sekä pintojen välillä saattaa myös esiintyä mekaanisia sidoksia sekä molekyylien välisiä vahvoja sidoksia. Molekyylien väliseksi vahvoiksi sidoksiksi luetaan ionisidos, kovalenttinen sidos sekä metallisidos (Hannola-Teitto ym. 2005, 60).

Suojakalvojen tartuntalujuus saattaa kasvaa ajan kuluessa. Tartuntalujuuden kasvun mahdollistaa liiman kostutuksen parantuminen viskoosisen virtauksen ansiosta. Paremman kostutuksen lisäksi liimasidokset lisääntyvät. (Dillard & Pocius 2002, 507) Maalipinnoitteissa sekä liimoissa käytettävien raaka-aineiden sekä lisäaineiden paljouden vuoksi suojakalvon toimivuus sekä vanhentuminen on testattava tapauskohtaisesti. Valmistusprosessien monimutkaisuuden vuoksi myös raaka-aineissa voi esiintyä muutoksia. Tämä voi näkyä tartuntalujuuksien vaihteluissa.

Liiman kostutusominaisuuksien sekä sidosten syntymisen lisäksi liiman täytyy itsessään kestää kuormaa. Sisäisen lujuuden kestoa kutsutaan koheesion kestoiksi. Koheesion kesto vaatii liimalta jäykkyyttä. Nestemäinen liima ei kestä kuormitusta, vaan liima hajoaa sisäisesti. (Dillard & Pocius 2002, 502) Hyvä kostutus ja koheesion kesto ovat ristiriidassa toisiinsa. Tämän vuoksi PSA-liimoilla on tärkeää saavuttaa koheesion ja tarttuvuuden tasapaino (van Herk 2013, 273).

Koheesion ja tarttuvuuden tasapainoon vaikutetaan PSA-liimojen lasisiirtymälämpötilalla. Lasisiirtymälämpötila kuvastaa polymeerin lämpökäyttäytymistä. Amorfiset polymeerit ovat kovia sekä hauraita lasisiirtymälämpötilan alapuolella. Lämmitessään lasisiirtymälämpötilan yläpuolelle, polymeerit pehmenevät sekä saavuttavat viskoelastisen käyttäytymisen. (Braun, Cherdron, Rehahn, Ritter & Voit 2004, 119)

Paineherkkien liimojen lasisiirtymälämpötilan on oltava alle käyttölämpötilan. Yleisesti paineherkkiä liimoja käytetään huoneenlämmössä, jolloin lasisiirtymälämpötila on noin 30–70 °C alle huoneenlämmön. Lasisiirtymälämpötilaan vaikutetaan peruspolymeereillä sekä sekoitettavilla lisäaineilla. (Pocius & Chaundhury 2002, 467)

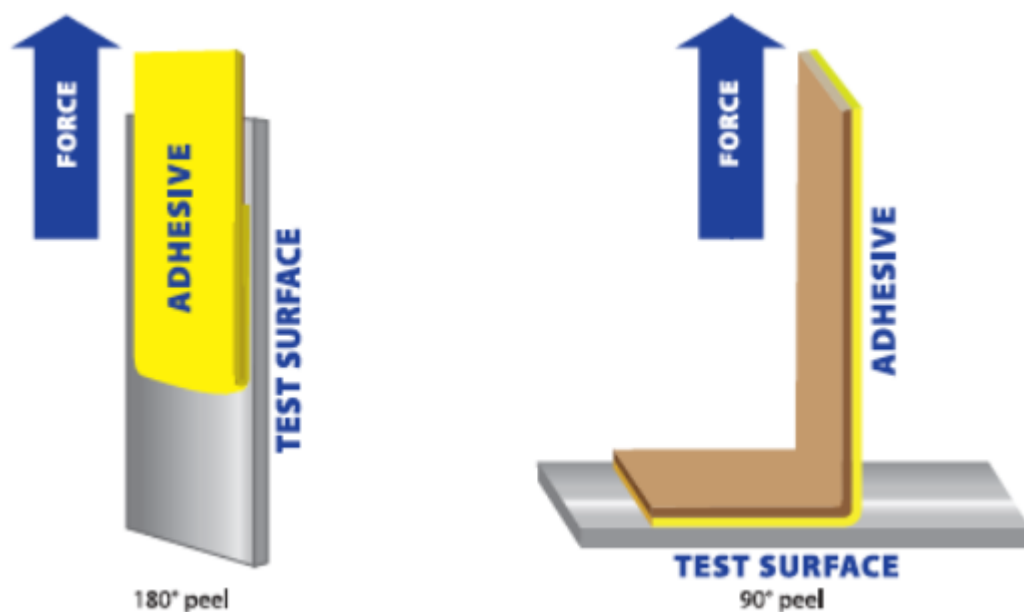
4.3 Liimojen ominaisuuksien mittaaminen

Paineherkkien liimojen ominaisuudet jaetaan tarramaisuuteen, tartuntalujuuteen sekä koheesion kestoon. Koheesion kestolla määritetään myös leikkauslujuuden kesto. (Taghizadeh & Ghasem 2010)

Tarramaisuustestissä mitataan PSA-liimojen kykyä muodostaa välitön sidos. Testattava kappale kostutetaan liimapinnan kanssa, jonka jälkeen kappaleen sekä liimapinnan välisen sidoksen lujuus mitataan vetämällä kappaleet erilleen. Kyseisessä testissä tyypillinen kostutusaika on sekunnin luokkaa. (Dillard & Pocius 2002, 505)

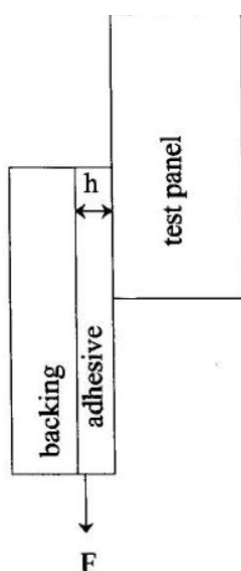
Tartuntalujuutta mitattaessa pyritään varmistumaan kostutuksen sekä sidosten syntyvyyden toimivuudesta. Testissä liimattava kalvo laminoidaan testattavaan pintaan, jonka jälkeen kalvon annetaan vanhentua. Vanhentumisella tarkoitetaan aikaa, jolla varmistutaan sidoksien sekä kostutuksen tasapainottumisesta. Ajan kuluessa kostutus paranee liiman viskoosisen virtauksen sekä liimasidosten lisääntymisen ansiosta. Vanhentumisaika on huomattavasti pidempi kuin tarramaisuustestissä käytetty aika. (Dillard & Pocius 2002, 507)

Suojakalvojen tartuntalujuuden standardien (ASTM D-3330) mukaiset testit suoritetaan laminoimalla suojakalvo ruostumattoman teräksen pintaan. Testit tehdään 23 °C:n lämpötilassa. Suojakalvo asetetaan ruostumattoman teräksen pintaan vakiopaineella, jonka jälkeen se vedetään vakionopeudella irti. Käytettäessä 90 asteen vetokulmaa saavutetaan yleensä hieman parempia tuloksia, kuin 180 asteen kulmaa käyttäessä. (Pocius & Chaundhury 2002, 470) Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu tartuntalujuuden vetotestiä (kuva 6).



KUVA 6. Tartunta lujuuden mittaaminen 90 ja 180 asteen kulmassa. (Presto n.d.)

Liiman sisäistä kuormankestoa mitataan asettamalla staattinen kuorma laminoitun suojakalvon suuntaisesti. Kuorma synnyttää leikkausjännitystä liiman sekä liimattavan pinnan välille. Leikkausjännityksen keston vaikuttaa liiman viskositeetti. (Dillard & Pocius 2002, 511) Alla on esitetty havainnollistava kuva liiman leikkausjännityksen testaamisesta (kuva 7).



KUVA 7. Leikkausjännityksen kestävyden mittaaminen (Dillard & Pocius 2002, 511)

5 MITTAUSMENETELMÄT

5.1 Teräsohutlevyn lämpenemisnopeuden mittaus

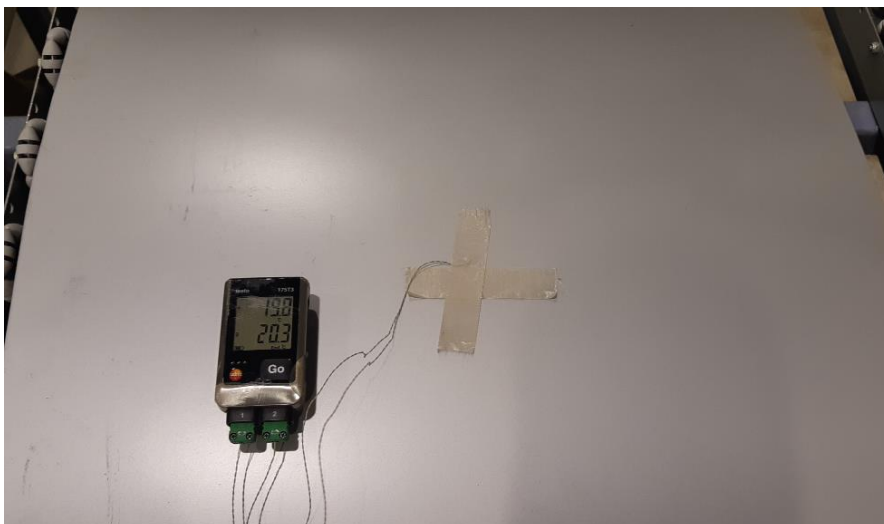
Teräsohutlevyn mahdollista suojakalvotuslämpötilaa talvella selvitetiin mittamalla teräksen lämpenemisnopeus. Testit suoritettiin simuloimalla tilannetta, jolloin kylmä teräsohutlevykela asetettaisiin tuotantoon. Mittaukseen pyrittiin valitsemaan vähiten lämpöenergiaa vastaanottava pinta.

Emissiivisyyskerroin kertoo pinnan kyvystä vastaanottaa säteilyä. Mitä pienempi kerroin on, sitä vähemmän pinta vastaanottaa säteilyä. (Inkinen & Tuohi. 2006. 419). Ruukilta saatujen kertoimien perusteella testattavaksi pinnoitteeksi valittiin pienimmän emissiivisyyskerroimen omaava Creencoat Hiarc sävy 40. Kyseisen pinnoitteen emissiivisyyskerroimeksi ilmoitettiin 0,67.

Testiä varten teräsohutlevystä leikattiin irti noin 0,25 m² kokoinen palanen. Tasapaksuisen levyn pinta-alan muuttuessa tarvittava lämpöteho sekä lämpöenergian vastaanottokyky muuttuvat samassa suhteessa. Tämän vuoksi todellinen teräsohutlevynauha pitäisi lämmitä yhtä nopeasti, mikäli ympäristön eli hallin lämpötila pysyy vakiona. Hallia lämmitetään talvella noin +17 celsiusasteiseksi säteilylämmittimillä. Levyn paksuudeksi valittiin yleisesti paksuin käytettävä teräsohutlevy. Kyseisen levyn paksuus oli 0,6 mm.

Testissä teräsohutlevyn pintaan asetettiin lämpöanturit. Antureiden asentamisen jälkeen teräsohutlevy asetettiin pakastimeen jäähtymään. Jäähtymisen jälkeen levy nostettiin huoneeseen lämpenemään. Pakastimen lämpötila oli noin -20 celsiusastetta sekä huoneen lämpötila oli noin +17 celsiusastetta. Mittaukset suoritettiin kolme kertaa.

Lämpötilamittarina toimi Testo 175T3 lämpömittari, joka tallensi muistiinsa teräsohutlevyn sekä ympäristön lämpötilan 10 sekunnin välein 10 minuutin ajan. Lämpötilamittarin tuloksia sekä asetuksia käsiteltiin Testo Comfort software basic 5.0 tietokonesovelluksen avulla. Alla on esitetty havainnollistava kuva mittauksesta (kuva 8).

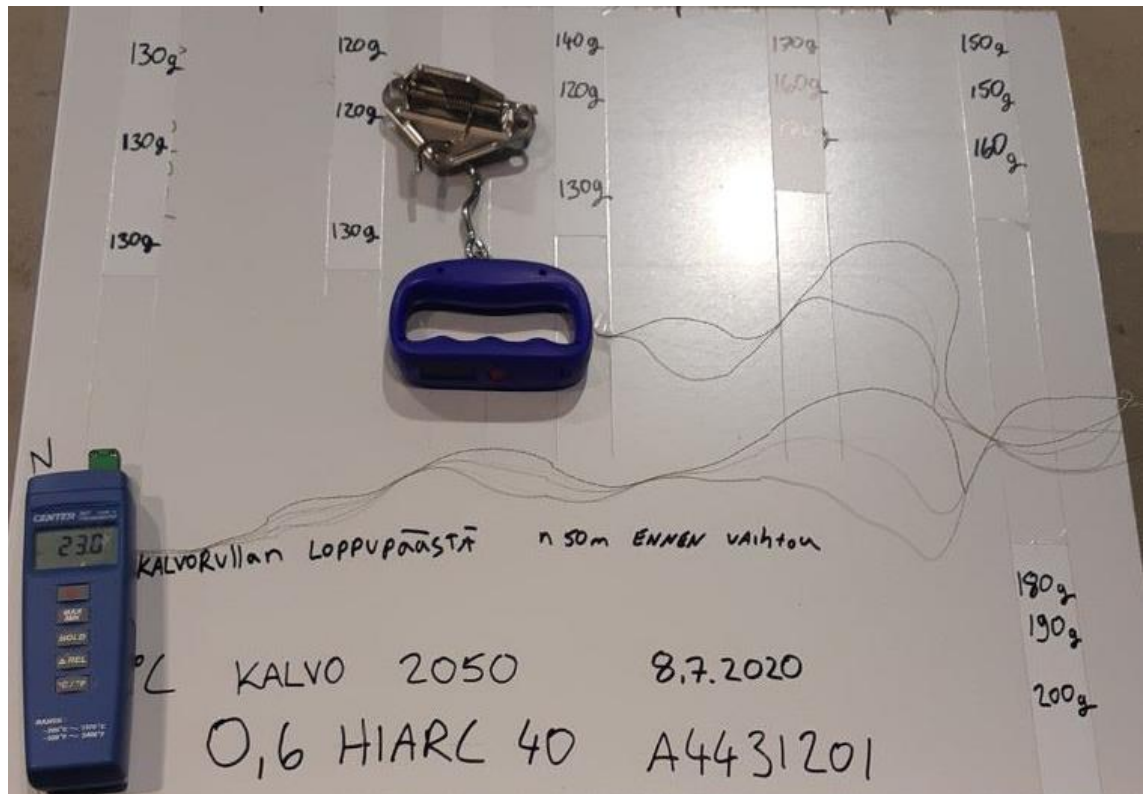


KUVA 8. Teräsohutlevyn lämpenemisnopeuden mittaus

5.2 Suojakalvon tartuntalujuuden mittaus

Suojakalvon tartuntalujuutta teräsohutlevyihin mitattiin vetotesteillä. Tutkittaviksi pinnoitteiksi valittiin satunnaisotannalla Polyesteri, CreenCoat Hiarc, CreenCoat Hiarc metallic sekä CreenCoat Hiarc matta. Suojakalvoina käytettiin kalvotusohjeiden mukaisia kalvoja, lukuun ottamatta Polyesterin sävyä 946.

Vetotestit suoritettiin Ruukilla tehtyjen työohjeiden mukaisesti. Työohje on esitetty liitteessä 1. Testissä vedettiin digitaalivaa'alla 3 cm leveitä suojakalvosoiroja tasisella nopeudella. Mittauksia suoritettiin paneelin koko leveydeltä tuotannon jälkeen. Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu vetotestiä asettamalla kalvosoiro digitaalivaa'assa kiinni olevaan pihtiin (kuva 9).



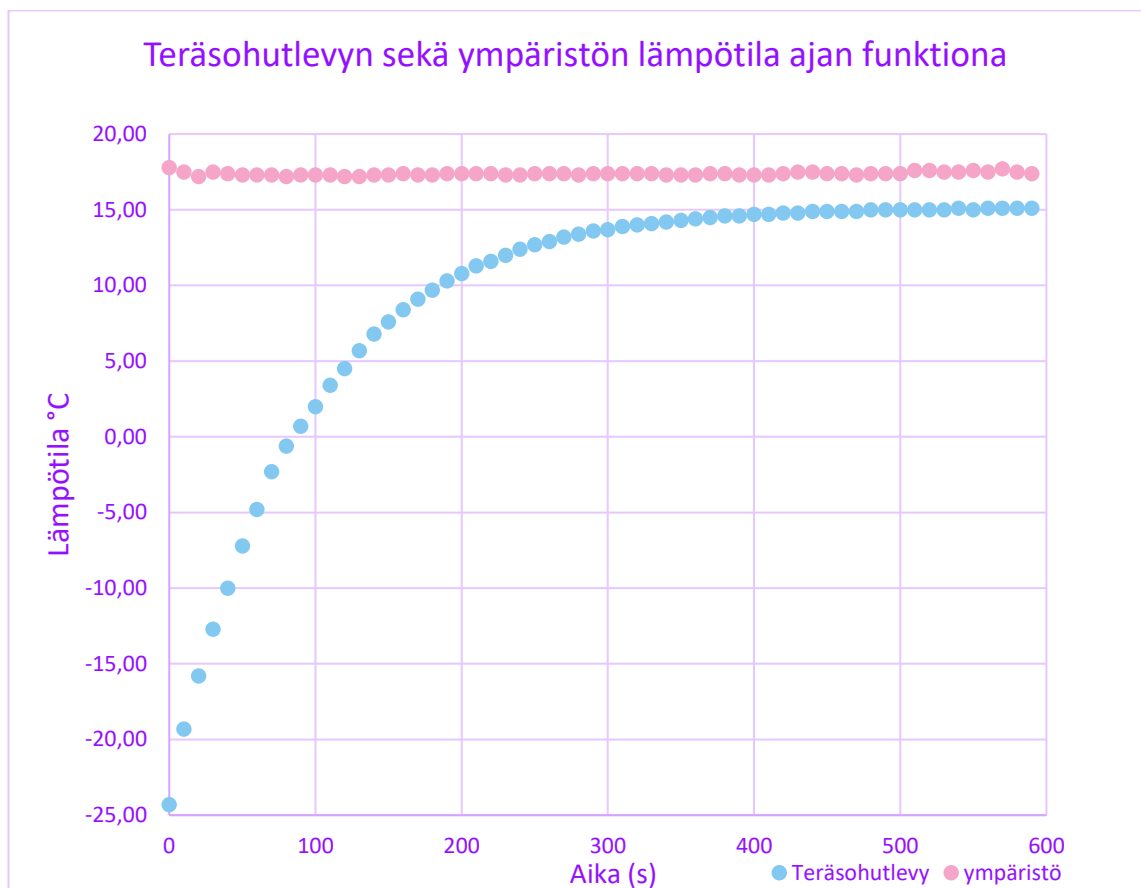
KUVA 9. Suojakalvon vetotestiä havainnollistava kuva

Suojakalvon tartuntalujuuden tavoitearvoja ei ole määritelty tarkasti. Tartuntalujuuden mittauksen työohjeessa (liite 1) ilmoitettiin sileille pinnoille sopivaksi tartuntalujuudeksi 100 g – 300 g / 30 mm sekä mattatuotteille ja metallic pinnoitteille 250 g – 400 g / 30 mm. Ohjeessa ilmoitettiin suojakalvon olevan hankala poistaa, mikäli tulokset ylittävät 500 g / 30 mm.

6 TULOKSET

6.1 Teräsohutlevyn lämpenemisnopeus

Mittauksissa todettiin teräsohutlevyn lämpenevän nopeasti. Kolmen mittausker-
ran tuloksissa ei havaittu merkittäviä eroja keskenään. Alla olevassa kuviossa 1
on esitetty tutkimuksessa käytetyn teräsohutlevyn lämpeneminen suhteessa ai-
kaan.



KUVIO 1. Teräsohutlevyn sekä ympäristön lämpötila ajan funktiona

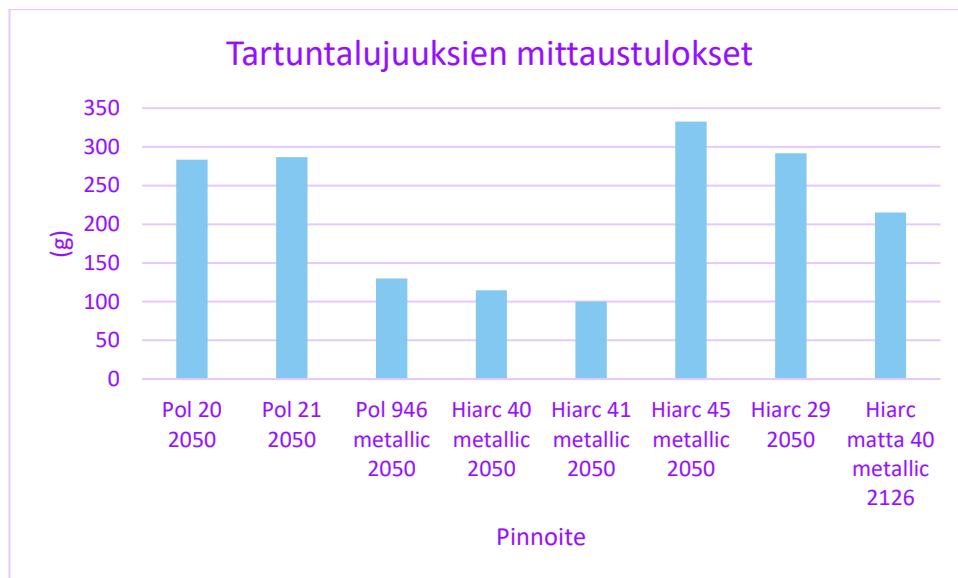
Suojakalvovalmistaja ilmoittaa alhaisimmaksi kalvotus lämpötilaksi +10 celsius-
astetta. Tämän vuoksi mittaustulosten perusteella laskettiin alhaisin teräsohute-
levykelan lämpötila, jolla teräsohutlevy ehtisi lämmetä +10 celsiusasteiseksi. Tuo-
tantonopeutena käytettiin linjan maksiminopeutta. Syöttöpisteet sijaitsevat eri
etäisyydellä suojakalvolaitteistoista, joten tulokset eroavat syöttöpisteiden mukai-
sesti. Tulokset ovat esitetty alla olevassa taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Alhaisimmat teräsohutlevyn lämpötilat, joilla levyt voidaan asettaa tuotantoon +10 celsiusasteen suojakalvotus lämpötilan saavuttamiseksi.

Yläkela 1	Yläkela 2	Alakela 1	Alakela 2
-19 °C	-7,2 °C	0,7 °C	5,7 °C

6.2 Suojakalvon tartuntalujuus tuotannon jälkeen

Tartuntalujuuksien mittaustuloksien keskiarvoista tehtiin diagrammi, joka on esitetty alla olevassa kuviossa 2. Pinnoitteiden nimien alapuolelle on merkitty pinnoitteen sävy / väri sekä käytetty suojakalvo. Osa paneeleista oli vanhentunut päivän ennen mittausta, jolloin vanhenemista oli jo saattanut syntyä. Päivämäärät sekä tarkemmat mittaustulokset on esitetty liitteessä 2.



KUVIO 2 Tartuntalujuuksien mittaustulokset

Tartuntalujuuksien tuloksista nähdään metallic pinnoitteissa olevan huonoin tartuntalujuus lukuun ottamatta CreenCoat Hiarc sävyä 45. Sävyjen erot selittyvät erilaisilla pinnan ominaisuuksilla. Sävyllä 45 on sileämpi pinta kuin esimerkiksi sävyllä 40. Opinnäytetyön aikana tehtyjen havaintojen ja tutkimuksien perusteella havaittiin suojakalvotuksessa syntyvien laatu puutteiden painottuvan niihin metallinhohtopinnoitteisiin, joilla saatiin alhaisimpia tartuntalujuuden mittaustuloksia.

7 SUOJAKALVON KIRISTYKSEEN LIITTYVÄT HUOMIOT

7.1 Suojakalvolaitteissa käytetyt kiristysvoimat

Yläpuolen kalvotuslaitteiden säädettävien magneettijauhejarrujen ansiosta kalvon kiristysvoimaa säädetään momenttilain mukaan. Halutun kiristysvoiman ja muuttuvan kalvorullan halkaisijan mukaan lasketaan reaaliaikaisesti jarruilta tarvittava momentti. Magneettijauhejarrut pystyvät tuottamaan haluttua momenttia, niihin säädettävän syöttöjännitteen mukaisesti.

Tuotannossa jarruilta pyydetään asetusarvona 30–50 N:n kiristysvoimaa. Todellinen kiristysvoima on kuitenkin tällöin suurempi suojakalvon rullalta purkautumiseen tarvittavan voiman vuoksi. Suojakalvon todellista kiristysvoimaa testattiin vetämällä suojakalvoa digitaalivaa’alla. Pelloplastin 2050 tuotekoodilla olevalta kalvolta saatiin 15 N käyttöliittymän asetusarvoa suurempi kiristysvoima. Tällöin kiristysvoiman asetusarvon ollessa 30 N todellinen kiristysvoima on 45 N.

Alapuolen suojakalvolaitteistoissa suojakalvon kiristysvoimaa säädetään levyjarruilla. Levyjarruilla tuotettu momentti pysyy vakiona suojakalvorullan halkaisijan muuttuessa. Tämän vuoksi kiristysvoima suurenee rullan pienentyessä. Täyden halkaisijaltaan 450 mm olevan suojakalvorullan kiristysvoima selvitettiin vetämällä suojakalvoa digitaalivaa’alla. Saadun kiristysvoiman avulla laskettiin levyjarrujen tuottama vääntömomentti. Vääntömomentin avulla laskettiin pieneen suojakalvorullaan kohdistuva kiristysvoima. Tulokset ovat esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Alapuolen kalvotuslaitteiden levyjarrujen antama kiristysvoima

Suojakalvorullan halkaisija	Jarrujen vääntömomentti	Kiristysvoima
450 mm	11.25 Nm	50 N
100 mm	11.25 Nm	225 N

7.2 Suojakalvon kiristysvoiman vaikutukset

Suojakalvon kiristys aiheuttaa liimaliitokseen leikkausjännitystä. Tämän vuoksi liian kireällä sekä matalalla tarramaisuusasteella oleva suojakalvo saattaa irrota teräslevyn pinnasta. Uunissa tapahtuvan lämpötilan nousun vuoksi liima menettää koheesion kestoaan. Koheesion keston madaltumisen vuoksi kalvo irtoaa helpoiten uunin ja sahauksen jälkeen. Esimerkkejä nähtiin kesäkuussa 2020, kun suojakalvo keriytyi irti uunin jälkeen kesken tuotannon. Alla olevassa kuvassa on esitetty varastoinnin aikana vetäytynyt suojakalvo (kuva 10).



KUVA 10. Elementin päästä vetäytynyt suojakalvo

Leikkausjännityksen lisäksi suojakalvorullan jarrutuksella saatu kiristysvoima, aiheuttaa kalvoon venymää. Venymällä pystytään tasaamaan suojakalvorullassa olevia raaka-aine heittoa. Venymän suuruuteen vaikuttaa kiristysvoiman lisäksi suojakalvon viskoelastisuus.

Jännitys ja venymä ovat suoraan verrannollisia toisiinsa normaalijännityksillä, joilla ei ylitetä kappaleen myötörajaa. Kappaleen myötörajan ylittyessä kappaleeseen syntyy pysyviä muodonmuutoksia. (Inkinen & Tuohi 2006, 287). Pysyvät muodonmuutokset suojakalvoissa käytetyissä polyeteeneissä alkavat syntymään 9 MPa normaalijännitystä korkeammilla jännityksillä (Hough & Dolbey 1995, 80).

Alla olevassa laskussa on esitetty tarvittava kiristysvoima, jolla saavutettaisiin jännityksessä pysyvän muodonmuutoksen raja. Laskussa käytettiin normaalijännityksen kaavaa.

$$F = \sigma \cdot A = 9 \text{ MPa} \cdot 1190 \text{ mm} \cdot 0.045 \text{ mm} = 482 \text{ N}$$

Tarvittavaksi kiristysvoimaksi saatiin noin 480 N. Suojakalvotuksessa kiristysvoimana käytetään kyseistä arvoa pienempiä arvoja, joten kiristyksellä ei välttämättä saavuteta pysyviä muodonmuutoksen rajoja. Muoveilla elastinen alue on kuitenkin hyvin pieni sekä raja-arvot vaihtelevat lämpötilan mukaan. Tämän vuoksi pysyviä muodonmuutoksia kalvoon syntyy todennäköisesti puristimessa, jossa suojakalvo altistetaan korkeaan lämpötilaan.

Alla olevassa taulukossa 6 on ilmoitettu suojakalvon venymä metrin matkalla. Laskut suoritettiin käyttäen pituudenmuutoksen kaavaa. Voimina käytettiin suojakalvoon jarrutuksesta aiheutuvia kiristysvoimia. Todellisen kimmokertoimen puuttuessa kirjallisuudessa esitettyjen kimmokertoimien hajonnasta poimittiin laskujen kimmokertoimiksi 0.12 GPa. sekä 0.3 GPa. Tuloksien voidaan olettaa olevan suuntaa antavia.

TAULUKKO 6. Suojakalvon venymä metrin matkalta eri kiristysvoimilla.

Kimmokerroin	0.12GPa	0.3 GPa
Kiristysvoima	Venymä	Venymä
50N	7.8 mm	3.1 mm
100N	15.6 mm	6.2 mm
200N	31.1 mm	12.5 mm

Alhaisimman kiristysvoiman määrittää suojakalvorullan hitausmomentti, joka vastustaa kalvorullan pyörimisnopeuden muutosta. Hitausmomentti esiintyy vauhdin hidastumisen lisäksi vauhdin kasvussa. Suojakalvorullan hitausmomentin vaikutus laskettiin käyttäen kiihtyvyytenä linjan keskimääräistä kiihtyvyyttä- ja hidastumisnopeutta. Hitausmomentin tulokseksi saatiin täydellä rullalla 6 N. Suojakalvorullan pienin kiristysvoima täytyisi olla hieman hitausmomenttia suurempi. Pienimpänä kiristysvoimana tuotannossa voitaisiin käyttää 10 N.

8 TEHDYT SEKÄ TULEVAT TOIMENPITEET

8.1 Pyörimisvahtien lisääminen sekä jarrujen uusiminen

Yläpuolen uusista suojakalvolaitteistoista puuttuivat pyörimisvahdit. Puuttuvat pyörimisvahdit johtivat tilanteisiin, joissa kiireiset operaattorit eivät huomanneet suojakalvon loppumista. Kyseisistä tilanteista ilmeni kehitysidea pyörimisvahtien asennuksesta. Pyörimisvahdit asennettiin sekä niihin lisättiin hälytyksen lisäksi linjan pysäytystoiminto suojakalvon loppumisesta.

Työssä todettiin myös kiinteiden levyjarrujen aiheuttavan liian suuren suojakalvon kirstyksen pienellä rullalla. Tämän vuoksi tulevaisuudessa suositellaan vaihtamaan alapuolen kalvotuslaitteiden levyjarrut magneettijauhejarruiksi.

8.2 Aktiivisen laatusurantajärjestelmän perustaminen

Suojakalvotuksen laadunseurantaan suositellaan perustettavaksi aktiivinen laatusurantajärjestelmä. Mikäli laatusurantajärjestelmä perustettaisiin, saataisiin tartuntalujuuksista sekä ongelmista parempaa kokonaiskuvaa. Nykyisellä toimintamallilla suojakalvoille ei tehdä tartuntalujuuksien mittauksia juuri lainkaan eikä poikkeustilanteita kirjata ylös.

Laajojen tartuntalujuuksien mittaustulosten perusteella sekä poikkeustilanteiden kirjaamisella pystyttäisiin analysoimaan tarvittavat toimenpiteet. Lisäksi laajoilla tartuntatuloksien mittauksilla pystyttäisiin pitämään ohjeistukset käytettävistä suojakalvotyypeistä ajan tasalla. Muutokset sekä mahdolliset toimenpiteet kirjattaisiin perusteluineen ylös.

8.3 Käytettävien suojakalvotyyppien ohjeistuksien päivittäminen

Tällä hetkellä käytettävien suojakalvojen tarramaisuus muuttuu suuresti siirtymällä suojakalvotyyppistä 2050 suojakalvotyyppiin 2123. Havaintojen mukaan suojakalvotyyppi 2123 on tällä hetkellä ylimitoitettu jokaiseen käytettävään pinnotteeseen. Lisäksi suojakalvotyyppien 2123 sekä 2126 välillä on niin pieni porras, että toinen niistä suositellaan poistettavaksi valikoimasta.

Nykyisten mittaustulosten vähäisyyden takia on kuitenkin vaikeaa päivittää käytettäviä suojakalvotyyppisiä. Tämä tukee laatuseurantajärjestelmän perustamista.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Teräsohutlevykelat varastoidaan pääsääntöisesti sisätiloissa. Lisäksi ulkona varastoidut kelat pystytään useimmiten siirtämään lämpimään halliin lämpenemään useita päiviä ennen tuotantoa. Kelalla oleva teräsohutlevy ei kuitenkaan lämpene yhtä nopeasti, kuin tuotannossa kelalta auki oleva levy. Kelalla lämpeneminen varastoinnin aikana on kuitenkin merkittävä.

Tutkimuksen perusteella todetaan, ettei teräsohutlevyjen lämmittimiin investointi ole tarpeellista. Mittauksista saadut tulokset eivät kuitenkaan ole täysin luotettavia, koska mittauksia ei voitu suorittaa todellisessa ympäristössä massiivisella teräsohutlevynauhalla. Tuloksien voidaan kuitenkin olettaa olevan suuntaa antavia. Mikäli tulevaisuudessa lämmittimiä suunniteltaisiin uudelleen, olisi tärkeä tietää teräsohutlevyjen todellinen lämpötila tuotannon alussa sekä kalvotusprosessissa. Lisäksi lämpenemisen aikana ilmasta levyn pintaan mahdollisesti tiivistyvän kosteuden syntymistä sekä haihtumista olisi syytä tutkia. Tuotannosta saatujen havaintojen perusteella kosteuden ei havaittu huonontavan tartuntalujuutta. Kosteus reagoi kuitenkin liiman kanssa, minkä vuoksi levyn pintaan saattaa jäädä liimajäämiä kalvoa poistettaessa. Edellä mainittujen mittauksien sekä tutkimuksien perusteella voitaisiin todeta luotettavammin lämmittimien tarpeellisuus.

Liitteessä 3 esitetystä taulukosta on Ruukilla tehtyjä suojakalvon tartuntalujuuden testejä. Pihalla vanhentuneiden paneelien tulokset ovat jopa yli kaksinkertaisia verrattuna tuotannon jälkeisiin tuloksiin. Vanhenemisen vuoksi suojakalvojen tartuntalujuus tuotannon jälkeen suositellaan pidettäväksi alle 200 g / 30 mm. Paneelien vanhenemiseen vaikuttavat teräsohutlevyn pinnoitteiden sekä suojakalvojen yhdistelmät. Karheiden pintojen yhdistelmissä kostutuksen on mahdollista parantua enemmän verrattuna sileisiin pintoihin. Pihalla säilytettyjen paneelien pakkauksissa olosuhteet saattavat muuttua suotuisiksi tartuntalujuuden voimakkaaseen kasvuun. Pakkauksessa kohonnut lämpötila, UV-säteily sekä kalvoon kohdistuva paine nostavat tartuntalujuutta. Lisäksi tartuntasidokset saattavat lisääntyä sekä voimistua.

Suojakalvojen tartuntalujuus saattaa vaihdella maalin koostumuksen sekä maalin toimittajien vaihtelun takia. Esimerkiksi talvella 2019–2020 oli todettu tuotannon sekä Pelloplastilla tehtyjen mittauksien perusteella, ettei Polyesteri 946:een sovellu enää suojakalvotyyppi 2050. Käytettäväksi tyypiksi vaihdettiin 2123. Tässä tutkimuksessa kyseiseen pinnoitteeseen soveltui uudelleen suojakalvotyyppi 2050. Raaka-aineissa olevien vaihteluiden vuoksi tartuntalujuuksia ei suositella mitoitettavaksi alle 150 g / 30 mm.

Mittaustulosten sekä tuotannossa tapahtuneiden havaintojen perusteella todettiin suojakalvojen tavoitellun tarrauslujuuden olevan noin 150 g – 200 g / 30 mm. Metallinhohtopinnoitteet jäivät keskimäärin hieman tämän arvon alapuolelle. Mat-tapinnoitteissa pinnankarheus on suurempi muihin pinnoitteisiin verrattaessa. Tämän vuoksi CreenCoat Hiarc matta sävyn 40 tulos oli muiden tuloksien keskiarvon paikkeilla, vaikka siinä käytettiin suuremman tarramaisuustason kalvoa. Vanhenemisen takia tapahtuvan tartuntalujuuden kasvun vuoksi suojakalvotyyppiä ei saisi ylimitoittaa.

Laatuseurantajärjestelmän perustamisen myötä saavutettaisiin jatkuvan parantamisen järjestelmä. Tartuntalujuuden mittaaminen on nopea toimenpide, joten se voitaisiin lisätä esimerkiksi CE-testaajan toimenkuvaan. Saatuja mittaustietoja sekä havaintoja analysoimalla voitaisiin löytää syyt havaituille ongelmille. Lisäksi pinnoitteille olisi helpompi säätää oikeanlaiset suojakalvotyyppit. Järjestelmään olisi tärkeää raportoida tehdyt toimenpiteet sekä perustelut toimenpiteiden suorittamiseksi.

Suojakalvon tartuntalujuuksissa saatiin tutkimuksien aikana heikompia tuloksia paneelin urospuolelta. Likaantuneet puristusrullat saattoivat olla syy urospuolella oleviin heikompiin tuloksiin. Riittävän paineen puuttuessa paineherkkien liimojen tarramaisuusominaisuudet vähenevät huonon kostutuksen vuoksi. Tämän vuoksi puristusrullat täytyy puhdistaa jokaisen suojakalvorullan vaihdon yhteydessä. Paineen lisäksi puristusrullien kovuudella on vaikutusta kostutusominaisuuksiin.

Suojakalvotuksessa syntyneet ongelmat olivat ennen usein lähtöisin teippaamattomista kalvonjatkoista tai tuplakalvotuksista. Tiedon lisääntyessä kyseiset ongelmat esiintyvät enää inhimillisten virheiden vuoksi. Liian suuri kiristysvoima on

saattanut edesauttaa suojakalvon irtoamisia lämpötilan noustessa sekä sahauksen yhteydessä. Levyjarruilla tuotettu suojakalvon kiristys kasvaa liian suureksi suojakalvonrullan pienentyessä. Tämän vuoksi on syytä investoida magneettijauhejarrut alapuolen laitteistoihin.

Työn alkuperäinen tarkoitus oli suunnitella teräsohutlevyjen lämmittimet. Niitä ei kuitenkaan nähty tarpeellisiksi, joten työssä siirryttiin tutkimaan muita tartuntalujuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksesta tuli haasteellinen, koska tarvittava osaaminen kääntyi konetekniikan puolelta kemiaan. Tämän vuoksi pinnoitteiden raaka-aineita ei lähdetty tutkimaan tarkemmin. Tarkemmalla tutkimuksella olisi päästy parempaan ymmärrykseen sidoksien syntymisistä. Tutkimuksessa päästiin kuitenkin tavoitteisiin sekä löydettiin keinoja, joilla tulevia ongelmia voitaisiin välttää.

LÄHTEET

Braun, D., Cherdrón, H., Rehahn, M., Ritter, H. & Voit, B. 2004. Polymer synthesis: Theory and Practice. 4 painos. Germany: Springer

Chaundhury, M. & Pocius, A. V. 2002 Adhesion science and engineering 2: surfaces, chemistry & applications. Amsterdam: Elsevier.

Dillard, D. A. & Pocius, A. V. 2002 Adhesion science and engineering 1: The mechanics of adhesion. Amsterdam: Elsevier.

Feldstein, M. M. & Moscalets, A. P., 2016. Innovations in Pressure-sensitive Adhesive Products. Shawbury, England: Smithers Rapra.

Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2005. Neon 2: Kemia mikromaailma. Helsinki: Edita.

Dolbey, R. & Hough, M. 1995. The Plastics Compendium: Key Properties and Sources. Shawbury: Rapra

3M 2015. Innovations in bonding to low surface energy surfaces. <https://multi-media.3m.com/mws/media/7555260/innovations-in-bonding-to-low-surface-energy-white-paper.pdf>

Inkinen, P. & Tuohi, J. 2006. Momentti 1: Insinöörifysiikka. Keuruu: Otava

Pelloplast 2017. Product specification.

Pelloplast n.d. Suojakalvon laminointi suojattavaan pintaan. Luettu 4.9.2020 http://www.pelloplast.fi/wp-content/uploads/Pelloplast_suojakalvonlaminointi.nippaus.pdf

Pelloplast n.d. Suojakalvotyypit. Luettu 4.9.2020. <http://www.pelloplast.fi/suojausratkaisut/pintasuojakalvot/suojakalvotyypit/>)

Presto n.d. Conduct tape adhesion test using automated testing machine. Luettu 20.9.2020 <https://www.prestogroup.com/blog/conduct-tape-adhesion-test-using-automated-test-machine/>

Ruukki n.d. Jatkuva toiminen maalipinnoitus. Luettu 18.9.2020

Ruukki n.d. Sandwich panel SPA E ulkoseinään. Tuotetiedot. Luettu 20.9.2020 <https://www.ruukki.com/fin/building-envelopes/products/wall-structures/sandwich-panels-for-external-walls/sandwich-panel-detail/sandwich-panel-spa-e-for-external-wall#ominaisuudet>

Sipilä, R. 2020. Sähköpostiviesti. Luettu 1.10.2020.

Taghizadeh, S. M. & Ghasemi, D. 2010. Rheological and adhesion properties of acrylic pressure-sensitive adhesives. Luettu 30.8.2020 <https://onlinelibrary-wiley-com.libproxy.tuni.fi/doi/full/10.1002/app.33153#fig4>

van Herk, A. M. 2013. Chemistry and Technology of Emulsion Polymerization. New York: John Wiley & Sons, incorporated.

Väisänen, P. Erikoistunut asiantuntija. 2020. Sähköpostiviesti. Luettu 1.10.2020

3M n.d. Teipeissä käytettävät paineherkät liima-aineet eli PSA-liimat (Pressure Sensitive Adhesives). Luettu 4.9.2020 https://www.3msuomi.fi/3M/fi_FI/bonding-and-assembly-ndc/resources/science-of-adhesion/common-chemistry-psa-tapes/

LIITTEET

Liite 1. Suojakalvon tartuntalujuuden testaamisen työohje

1 (2)



18.09.2013
J. Niemi

TYÖOHJE SUOJAKALVON TARTUNTALUJUUDEN TESTAAMISEEN

Tee mattopuukolla viillot suojakalvoon 30 mm tai vaihtoehtosesti 60mm leveän tulos kerrotaan 0,5. Viivoitinta apuna käyttäen noin 500 mm matkalta sen molemmilta reunoilta (Kuva 1.). Tee lopuksi vielä päihin viillot poikittain. Käytä 60mm leveyttä jos tarttuvuus on <150g



Kuva 1. Viillojen tekeminen suojakalvoon.

Seuraavaksi revi suojakalvoa alulle niin paljon, että saat kierrettyä sitä putken ympärille muutamman kierroksen varmistaen että kalvo pysyy putken ympärillä (Kuva 2.). Muista laittaa digitaalipuntari päälle klipsin sekä putken ollessa (Kuva 3.) kourussa ennen tätä vaihetta, että kalibrointi tapahtuisi oikein. Tämän jälkeen kiinnitä klipsi putkeen kiinni kuten kuvassa 2 on esitetty.



Kuva 2. Suojakalvon kiinnittäminen putken ympärille ja klipsi putkeen.

(Jatkuu)

RUUKKI

Ruukki Construction

18.09.2013

J. Niemi



Kuva 3. Digitaalipuntarin kalibrointi.

Tämän jälkeen kiinnitä digitaalipuntari klipsiin koukusta ja vedä tasaisen rauhallisesti pystysuunnassa seuraten samalla lukuarvoa (Kuva 4.). On tärkeää suorittaa aina samalla tavalla tulosten vertailukelpoisuuden vuoksi. Sopivat mittausarvot ovat:

- sileät tuotteet 100-300g,
- mattatuotteet ja metallikit 250-400g ja
- arvon mennessä yli 500g on kalvo hankala poistaa



Kuva 4. Suojakalvon tartuntalujuuden testaaminen.

Liite 2. Tartuntalujuuksien tulokset

Tuotanto Pvm	Testaus Pvm	Pinnoite	Kalvo	Tulos (g)	Kohta
31.8.2020	31.8.2020	Pol 21	2050	270-260	Uros
31.8.2020	31.8.2020	Pol 21	2050	220-280	Keskeltä
31.8.2020	31.8.2020	Pol 21	2050	340-350	Naaras
28.7.2020	29.7.2020	Hiarc 41	2050	80-90	Uros
28.7.2020	29.7.2020	Hiarc 41	2050	110-120	Keskeltä
28.7.2020	29.7.2020	Hiarc 41	2050	100	Naaras
23.7.2020	24.7.2020	Hiarc 29	2050	260-350	Uros
23.7.2020	24.7.2020	Hiarc 29	2050	260-310	Keskeltä
23.7.2020	24.7.2020	Hiarc 29	2050	250-320	Naaras
8.7.2020	8.7.2020	Pol 946	2050	100-120	Uros
8.7.2020	8.7.2020	Pol 946	2050	140-150	Keskeltä
8.7.2020	8.7.2020	Pol 946	2050	140	Naaras
7.7.2020	8.7.2020	Hiarc 40	2050	80-100	Uros
7.7.2020	8.7.2020	Hiarc 40	2050	130-170	Keskeltä
7.7.2020	8.7.2020	Hiarc 40	2050	130	Naaras
8.7.2020	8.7.2020	Pol 20	2050	270	Uros
8.7.2020	8.7.2020	Pol 20	2050	280	Keskeltä
8.7.2020	8.7.2020	Pol 20	2050	300	Naaras
13.7.2020	13.7.2020	Hiarc 45	2050	360-370	Uros
13.7.2020	13.7.2020	Hiarc 45	2050	290-310	Keskeltä
6.8.2020	6.8.2020	Hiarcmatta 40	2126	200-230	Uros
6.8.2020	6.8.2020	Hiarcmatta 40	2126	200-230	Keskeltä
6.8.2020	6.8.2020	Hiarcmatta 40	2126	200-230	Naaras
7.7.2020	7.7.2020	Hiarc 40	2050	40-80	Uros
7.7.2020	7.7.2020	Hiarc 40	2050	130-170	Keskeltä

Liite 3. Ruukin tuotetestauksessa tehdyt tartuntalujuuden testit

PVÄ	MITTAUSKOHTA	PINNOITE YP	TULOS (g) ALAJÄRVI	TULOS (g) ALAJÄRVI n.3kk sisällä	TULOS (g) ALAJÄRVI n.3kk ulkona	KALVO
24.7.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MC HIARC RR20 FILM	350	350	610	2090
24.7.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MC HIARC RR20 FILM	290	380	560	2090
24.7.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MC HIARC RR20 FILM	280	280	560	2090
24.7.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MC HIARC RR20 FILM	340	260	580	2090
24.7.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MC HIARC RR20 FILM	330	380	560	2090
28.7.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	50	170	290	2122n
28.7.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	180	290	280	2122n
28.7.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	160	310	350	2122n
28.7.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	150	240	280	2122n
28.7.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	150	280	320	2122n
28.7.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARC RR40 FILM	70	270	340	2122n
5.8.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	280	410	610	2090
5.8.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	300	330	540	2090
5.8.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	300	400	690	2090
5.8.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	280	350	560	2090
5.8.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	260	300	540	2090
5.8.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 POL RR20 FILM	250	320	680	2090
19.8.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	120	140	560	2130
19.8.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	150	150	430	2130
19.8.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	150	130	570	2130
19.8.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	200	140	380	2130
19.8.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	160	140	370	2130
19.8.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275MB PURMAT RR32	210	120	380	2130
22.9.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	230	260	370	2090
22.9.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	210	280	440	2090
22.9.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	240	250	350	2090
22.9.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	210	280	290	2090
22.9.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	220	240	380	2090
22.9.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 PUR RR11	240	270	400	2090
6.10.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	160	210	270	2126
6.10.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	170	190	230	2126
6.10.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	210	240	150	2126
6.10.2014	UROS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	170	230	220	2126
6.10.2014	KESKELTÄ	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	140	190	140	2126
6.10.2014	NAARAS	CC 0,6x1250 S280GD+Z275 HIARCMA RR40 FILM	150	230	230	2126