

Återvinning av förbrukade lakan till Prepreg

Katarina Lindström

- Undersökning i att genom nålning mekaniskt binda polymerfibrer i väv och nålnings påverkan på färdig komposit.

Abstract

Recycling of used sheets to Prepreg

-A study in creating a mechanical bond between polymer fiber and woven sheet by needling and the effect of needling on the finished composite.

This thesis is a study in the possibility of recovering discarded sheets from Textilia, a Facility Management company. The objective of this study has been to manufacture prepregs in a novel way by the use of needling. The sheets, contrary to most other textile waste resources, are a continuous resource of consistent quality, and therefore make a great opportunity to manufacture a product out of this. This would also have the effect of avoiding further dumping on landfills or incineration as well as making use of resources.

A staple fiber of bi-component polyester was added to the fabric by needling, the same kind of needling used in nonwoven manufacturing. Barbed needles brought bi-component fibers down through the sheet and a mechanical bond was thus created between the fabric and bi-component. This way the woven textile becomes a carrier of the bi-component and the two can then be compression molded into a composite. However, needling causes breakage in the yarn of which the woven sheets are made of. Tests were conducted for investigating the mechanical properties of the fabric alone, as well as the final composite. An important result was that needling caused a significant decrease in the fabric's tensile strength, while it showed only minor impact on the composite's mechanical properties. With changes in needling depth and needling density the weakening of the fabric is expected to be lower and the final composite show even less impact from needling.

Key words

Prepreg, composite, fiber composite, textile waste, recycling, bicomponent, needling, nonwoven.

Sammanfattning

Undersökning har gjorts av möjligheten att återvinna uttjänta lakan från textilserviceföretaget Textilia till tillverkning av prepreg. Då dessa lakan, till skillnad mot mycket annat textilavfall, utgör en kontinuerlig resurs av relativt konsekvent kvalitet, finns stora möjligheter att tillverka en produkt av detta. Detta skulle även innebära att förbränning av lakan undviks samt att ett bättre utnyttjande av resurser åstadkoms.

Stapelfiber av bi-komponent i polyester har tillförts väven genom nålning, samma typ av nålning som används vid non-woven-tillverkning. Genom att nålarna har fört bi-komponentfibrer ner genom lakansväven har en mekanisk bindning skapats mellan väv och bi-komponent. Väven blir således en bärare av bi-komponenten och dessa har sedan värmpressats ihop till ett kompositmaterial. Dock orsakar nålningen brott i vävens trådsystem. Tester har genomförts för undersökning av mekaniska egenskaper hos ensam väv och färdig komposit. Ett tydligt resultat var att nålning signifikant försämrade vävens dragstyrka men hos färdig komposit gjorde nålning endast mindre påverkan på mekaniska egenskaper. Med förändringar i nålningsdjup och nålningsdensitet tros försvagning av väv bli lägre och färdig komposit påverkas än mindre.

Nyckelord

Prepreg, komposit, fiberkomposit, textilavfall, återvinning, bi-komponent, nålning, non-woven.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Metod att tillverka komposit av förbrukade lakan från sjukhus har undersökts. Lakanen kasseras på grund av fläckar eller hål, ofta mindre fel, och utgör en kontinuerlig resurs av relativt konsekvent kvalitet.

Genom att binda samman lakansväv med smältbara polyesterfibrer konstruerades en förimpregnerad komposit, en så kallad prepreg. En mekanisk bindning åstadkoms med nålning, en teknik som annars används till att binda samman fibrer i non-woven. Nålningen går till så att nålar med hullingar går ner genom ett fiberflor och för då med sig fibrer ner genom floret. Detta gör att flor blir mer kompakt och binds samman. Då prepregen inte utsätts för värme bevaras vävens flexibilitet. Denna kan senare härddas med värme och bildar tillsammans med polyestern ett styvt kompositmaterial.

Tester av vävars och kompositers mekaniska egenskaper har gjorts med och utan nålning. Medan vävens dragstyrka och styvhet försämrades avsevärt av nålningen påverkades färdig komposit mindre. Under förutsättning att färdigt material skall härddas dras slutsatsen att sammanbindning av väv och polyesterfibrer kan utföras genom nålning.

Förord

Detta arbete är en kandidatuppsats omfattande 15 högskolepoäng inom textilteknologi vid Textilhögskolan i Borås. Uppdraget har getts av Anders Persson, Universitetslektor vid Textilhögskolan, och har för avsikt att ta reda på hur nålning av väv påverkar komposit tillverkad av densamma. Arbetet har utförts vid Textilhögskolan, polymerlabb vid Ingenjörshögskolan i Borås samt hos Swerea IVF i Mölndal.

Handledare under arbetet har varit Anders Persson. Mycket hjälp och vägledning i polymerlabbet har getts av Sunil Kumar Ramamoorthy, doktorstuderande vid Ingenjörshögskolan.

Ett stort tack vill jag rikta till Anders för stöd genom hela arbetet. Ett stort tack även till Sunil som har varit till ovärderlig hjälp genom många steg. Jag vill också tacka Mårten Alkhagen, Senior Forskare vid Swerea IVF, för värdefull hjälp vid nålning, Magnus Lundin, Universitetslektor vid Ingenjörshögskolan, för stöd vid analys med laminatteori samt Siw Eriksson, doktorstuderande vid Textilhögskolan, för stöd genom processen.

Borås 7 juni 2013

Katarina Lindström

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INTRODUKTION	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Problemformulering	2
1.4 Avgränsningar	2
2. LITTERATURÖVERSIKT	3
2.1 Återvinna fibrer till komposit	3
2.2 Fiberkomposit	3
2.2.1 Bi-komponent	3
2.2.2 Prepreg	4
2.3 Nålning	4
3. METOD	6
3.1 Tester av väv	6
3.1.1 Areavikt	6
3.1.2 Volymfraktion varp/väft	6
3.1.3 Snedhetstest	7
3.1.4 Dragtest	7
3.2 Tillverkning av komposit	8
3.2.1 Väv	8
3.2.2 Bi-komponentfiber	8
3.2.3 Nålning	9
3.2.4 Värmepressning	9
3.2.5 Laserskärning provkroppar	10
3.3 Kompositvarianter	11
3.3.1 Varp 90°	11
3.3.2 Två/fyra lager väv	11
3.3.3 Onålad/nålad väv med non-woven	11
3.3.4 Bi-komponent 300/520 g/m ²	11
3.3.5 Olika lakansvävar	11
3.3.6 Nålning i väft-riktning	11
3.4 Dragtest komposit	12
3.4.1 Densitet	12
3.5 Analys av resultat	12
3.5.1 ANOVA	12
3.5.2 Komposit	13
4. RESULTAT	14
4.1 Väv	14
4.1.1 Areavikt	14
4.1.2 Mekaniska egenskaper	14
4.1.3 Volymfraktion	15
4.1.4 Snedhetstest	15
4.1.5 Påverkan av nålning	15
4.2 Komposit	16
4.2.1 Grundutförande	16
4.2.2 Varp 0°/90°	18
4.2.3 300 respektive 520 g/m ² bi-komponent	19
4.2.4 Två/fyra lager väv	20
4.2.5 Onålad/nålad väv	21
4.2.6 Olika vävar	22
4.2.7 Nålning i varp/väft-riktning	23

4.2.8 Laminatteori	23
5. DISKUSSION	24
5.1 Tillverkning av prepreg.....	24
5.2 Karakterisering.....	24
5.3 Resultatens tillförlitlighet	25
5.4 Vidare forskning.....	26
6. SLUTSATS	26
7. KÄLLOR	27
8. BILAGOR	29
Bilaga 1 – Teknisk specifikation bi-komponent.....	29
Bilaga 2 – Exempel på resultat från dragtest väv.....	30
Bilaga 3 – Exempel på variansanalys dragtest väv.....	31
Bilaga 4 – Exempel på resultat dragtest komposit	32

1. INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Textilia är ett textilserviceföretag som förser kunder inom hälsa och sjukvård samt hotell och restaurang med rena textilier och tar hand om använda. Den största varugruppen är lakan som det under 2012 levererades nästan 4 miljoner av. Med cirka 350 000 lakan i systemet fick 30 000 lakan kasseras under 2012 på grund av nedfläckning eller hål, ofta mindre fel. Dessa lämnas idag till förbränning.¹ Med en tydlig miljöprofilering letar Textilia efter sätt att minska textilavfallet för att ta hand om resurser på ett effektivt sätt (Textilia u.å.). Lakansväven som Textilia använder är tillverkad i tuskaft av fiberblandningen 50/50 bomull/polyester. Som Wang (2010) redogör för är textilavfall inte bara ett ekonomiskt hot såväl som miljöhot utan också ett slöseri med resurser. Zou, Reddy och Yang (2011) påpekar även att polyester är en värdefull polymer tillverkad av en icke förnyelsebar råvara.

Wang (2010) menar vidare att det behövs en utbyggd insamling av textilavfall med tillräcklig och konsekvent kvalitet till ett rimligt pris för att kunna återvinna fibrer. Då avfallet från Textilia är en kontinuerlig och enhetlig resurs finns stor möjlighet att använda detta till nya produkter. Vill man använda materialet igen kräver återanvändning minsta energiförbrukning men ofta krävs någon slags process – mekanisk, kemisk eller biologisk – när man återvinner avfall till produkter (Wang 2010).

Eftersom lakanen är tillverkade av fiberblandningen polyester/bomull finns det inte möjligheter att återvinna dem enligt Cradle-to-cradle-tänk i dagsläget, då detta kräver att olika material blandas på ett sätt så att de går att dela upp var för sig (McDonough & Braungart 2002). Vid återvinning av fibrerna genom att strimla väven går man miste om vävkonstruktionens egenskaper och riskerar att förkorta fibrerna alltför mycket. Behåller man däremot vävens konstruktion behåller man också en större del av lakanens förädlingsvärde. Kan man dessutom öka värdet på väven görs en up-cycling av materialet och en produkt skapas med högre värde än utgångsmaterialet (Fletcher 2008).

Tillförs ytterligare smältbart material till lakansväven kan ett komposit-material skapas med nya användningsområden. Designar man dessutom en produkt där formen inte är helt bestämd öppnar man för fler användningsområden. Möjligheten att skapa en komposit-råvara där kunden värmpressar till önskad form ökar värdet på textilavfallet och öppnar möjligheter för nya användningsområden. Då det enklaste alternativet är att tillföra en polymer i non-woven-form är det intressant att undersöka en metod där väv och polymer sammanförs till en enhet, så kallad prepreg, med enkel hantering och flera möjliga användningsområden. Prepreg är en förkortning av *pre-impregnated* och definieras av Long (red. 2005, s. 460) som en komposit där fibrer är förenade med ohärdat eller delvis härdat matrismaterial.

Genom att tillföra en bi-komponent i polyester ges matris och extra armering till slutlig komposit. Med bi-komponent i non-woven-form tillförs också högre isotropi till slutlig produkt. Fördel med matris i termoplast till skillnad mot härdplast är dess snabba härdning vilket förenklar tillverkningsprocessen (Damberg red. 2001, s. 41).

Wang (2010) menar att för att ta tillvara på dagens textilavfall behövs en mångfald av kommersiella processer för att tillverka många olika varor. Att ta fram ett sätt att återanvända lakan kan därför ses som en lösning av många.

¹ Eva Bohman, Textilchef Textilia, mailintervju 21-05-2013.

1.2 Syfte

Undersöka möjligheten att skapa en mellanprodukt för enkel och snabb varmpressning av kompositer bestående av termoplastiska stapelfibrer som nålas fast i kasserade lakan av bomull polyesterblandning. En sådan mellanprodukt kallas prepreg.

1.3 Problemformulering

För industriell tillverkning krävs jämnt resultat varför väven bör ha jämn kvalitet. En tidig farhåga var att stora variationer i lakanens mekaniska egenskaper existerade, detta på grund av ojämn slitning över dess yta orsakad av behandlingar vid tvättning, så som mangling. Detta skulle då ge upphov till kvalitets- och egenskapsvariationer i den färdiga kompositen. En annan möjlighet är att endast bomullsfibrerna har slitits och att polyesterfibrerna är intakta. Då polyester har högre styrka än bomull skulle inte draghållfastheten skilja sig signifikant över ytan trots att slitning av till exempel mittenparti har förekommit. Däremot skulle andra egenskaper skilja sig, som areavikt. Vidare märktes viss variation mellan olika lakan, vilket skulle kunna orsaka variation i egenskaper mellan kompositer tillverkade i de olika kvalitéerna.

Skulle det visa sig att stora skillnader existerar mellan vävar behöver eventuellt produktionen styras och produkter indelas efter vilken typ av lakan som kommer in. Kan man förutse hur kompositens mekaniska egenskaper kommer vara utifrån lakanets dragstyrka hjälper detta produktionsflödet och förståelsen för hur kompositen får sina mekaniska egenskaper.

Det finns idag inga kunskaper kring hur väv påverkas av nålning. Det är vidare inte självklart att även om nålning försämrar vävens egenskaper att detta påverkar färdigpressad komposit i stor utsträckning.

1.4 Avgränsningar

Användningsområde för kompositen kommer inte att beaktas i arbetet, fokus ligger på processframtagning för prepreg. Detta innebär att färdig komposit kommer att undersökas och beskrivas utifrån jämförelse med andra varianter av samma material.

Närmare analys av vävens garner för sig kommer inte att göras, då det är hur de fungerar tillsammans som är intressant för detta ändamål. Inte heller undersöks hur väven behöver förberedas inför prepregtillverkning i någon större utsträckning.

Då det inte finns möjlighet att testa nålning med olika sorters nålar kommer inte nålens utförande att beräknas som faktor och endast analys av en typ av nåls inverkan kommer att göras. Inte heller finns möjlighet att testa vissa faktorer vid nålning, så som kardning, nålningsdensitet eller nålningsdjup. Vidare kommer inte heller faktorer vid varmpressning av komposit att undersökas utan alla kompositer tillverkas med samma inställningar.

2. LITTERATURÖVERSIKT

Informationssökning gjordes i följande databaser; Polymer Library, World Textiles, Textile Technology Complete, Scopus, Springer Link, Wiley Online Scholar, Science Direct samt Google Scholar. Sökord som användes var composite, bicomponent, reuse, prepreg, non-woven och needling.

2.1 Återvinna fibrer till komposit

I artikeln *Reusing polyester/cotton blend fabrics for composites* beskrivs hur textilier av bomull/polyester-blandning formpressas för återvinning, med och utan tillsatser. Man menar att man vill ha kvar bomullen då den blir som en armering åt polyestern när den smälts. Då polyester har en smältpunkt på 260-270°C förstörs bomullsfibrerna vid formpressningen och dess goda egenskaper går förlorade. För att undvika detta sänktes polyesterns smältpunkt med mjukgörande tillsatser. (Zou, Reddy & Yang 2011)

Återvunna polymerer har tidigare använts som matris i kompositerna med glasfiber som armering. (Wang 2010) Lou, Lin och Su (2005) har återvunnit polyester och polypropen till ljudabsorbenter genom att finfördela fibrerna och sedan formpressat en blandning av de båda. De har använt sig av textilavfall direkt från fabriker och menar att det är ett sätt att använda resurser på ett effektivare sätt.

2.2 Fiberkomposit

Som Wang (1999) beskriver består en fiberkomposit av fibrer inbäddade i en matris, som ofta är polymerbaserad. Matrisens uppgift är att skydda och binda samman fibrerna (Damberg red. 2001, s. 19). I jämförelse med traditionella material är fiberkompositerna ofta tåliga, lättviktiga och har bra mekaniska egenskaper. Ofta tillverkas de genom laminering av lager med enkelriktad fiberorientering (Wang 1999). Damberg (red.) (2001, s. 11) menar att den anisotropi som då uppstår kan vara en tillgång om den utnyttjas rätt vid produktframtagning. Man kan då ändra riktning på laster och förvandla till exempel en draglast till vridning.

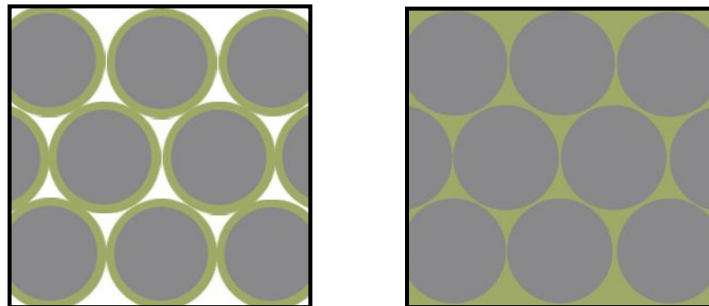
Vid vissa applikationer när non-woven används förstärks strukturen med väv för att minska töjning, exemplet som tas upp av Lou, Lin och Su (2005) är textil för förstärkning av skor. Materialet bestod av olika polyestrar, varav en med låg smältpunkt (110°C). Här lades väven mellan lager av non-woven för att sedan kalandreras under värme till en komposit.

2011 patenterades en metod där non-woven nålas ner i ett termoplastiskt bindeskikt (Zafiroglu 2011). Kompositen som bildas värms sedan under lågt och jämnt tryck för att ta bort termiska spänningar och skapa en slät yta. Metoden är tänkt att användas till bärbara textilier, särskilt vid skapandet av konstgjort läder och ska ersätta användandet av harts som non-woven impregneras i inom vissa användningsområden.

2.2.1 Bi-komponent

Först att testa självarmerade kompositerna var Capiati och Porter (1975). De tog fram en metod att tillverka komposit bestående av olika varianter av samma polymer med olika morfologier. De olika morfologierna resulterade i olika smältpunkter för de olika komponenterna. Den variant med längre och mer välordnade kedjor bildar stabilare kristaller vilket leder till högre smältpunkt. De använde då polyetylen som polymer men menade att resultaten går att applicera på andra delkristallina termoplaster.

Självarmerande polymerkompositer togs fram för att undvika användandet av glasfibrer som armering. Zhang och Peijs (2010) använde sig av bi-komponent av polyester för tillverkning av enkelriktad komposit. Bi-komponenten bestod av olika polyestrar i kärna och hölje där ytterhöljet hade smältpunkt på 210°C och kärna 251°C. Genom att endast ytterhöljet på fibern smälts finns kärnan kvar i sin fiberform och agerar därigenom som armering åt matris av yttermaterial. Se figur 1.



Figur 1 Bi-komponent i genomskärning före och efter värmepress. (Zhang & Peijs 2010).

Vid värmepressning pressas fibrerna ihop och kärnfibern omsluts av ytterhöljets matris utan luftfickor. (Zhang & Peijs 2010)

2.2.2 Prepreg

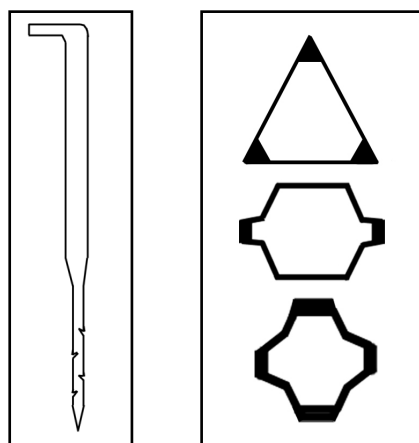
Som redan nämnts definieras prepreg som förimpregnerad komposit där matrismaterialet inte har härdats helt (Long (red.) 2005, s. 460). Tsotsis (2009) menar att de främsta kompositmaterialen som produceras idag – alltså 2009 – tillverkas av prepreg. Potter (2002) menar att ha en väv som bas förenklar tillverkningen till färdig komposit då hanteringen av prepregen blir enklare. Dock försvårar vävens konstruktion värmepressning av komplicerade former då veck kan bildas.

2.3 Nålning

Vid nålning av non-woven används nålar med hullingar som för ner fibrer vertikalt genom materialet och på så sätt binder ihop fibrerna mekaniskt (Tanchis 2008, s. 121). Det är en metod som uppfanns för att binda ihop fibrer som inte kan filta sig naturligt som ull, kallas ibland på engelska för *needle felting* (Anand, Brunnschweiler, Swarbrick & Russell 2007, s. 223). Denna metod kräver inte tillsats av bindemedel som vid kemisk bindning eller komplettering av tråd som vid stitch bonding (Tanchis 2008, ss. 108-160).

Hur djupt nålarna går ner i materialet avgör hur många hullingar på nålen som används och hur mycket de inverkar, vilket påverkar strukturen på textilen. Djupet på nålningen definieras som avståndet som nålen når nedanför den övre plattan. Försök där nålning gjorts med nålar utan hullingar har visat att nålen ensam också inverkar på textilens struktur samtidigt som nålar med nio hullingar förstör strukturen vid djupare nålning. (Hearle & Purdy 1974) Hearle & Purdy (1974) fann att bäst draghållfasthet fås med nål med färre hullingar med större nålningsdjup. Dock kan det krävas fler hullingar vid nålning av tjockare material.

Genom nålning av ett fiberflor håller fibrerna ihop vilket ökar styrkan hos textilen. Vid ökning av nålningsdensitet ökar textilens styrka till ett maximum har uppnåtts, då styrkan avtar med mer nålning. Detta beror främst på den åverkan på fibrerna som nålarna har. (Miao 2004)



Figur 2 Schematisk bild över nål med hullingar och exempel på tvärsnitt av nål där ytterkanter med markering visar placering av hullingar. (Anand et al. 2007, ss. 228-229)

Figur 2 visar en vanligt förekommande form på nål samt tre olika tvärsnitt av nål. Enligt den undersökning som gjordes av Watanabe et al. (2004) där man jämförde penetrationskraften hos olika nålar är det inte önskvärt att transportera för många fibrer ner i florets tjocklek, då för många fibrer orienterade nedåt åstadkommer en non-woven med sämre mekaniska egenskaper.

Genom att lägga fiberflor av olika färger ovanpå varandra har Miao (2004) tagit fram en metod att mäta hur många fibrer som går igenom till nedre ytan. Resultaten visade att ökad nålning per ytenhet gav mer fibertransport totalt sett medan fibertransporten per nålning var lägre. När djupet som nålarna går igenom floret ökades, ökade fibertransport då fler hullingar på nålarna gick igenom floret. Nålarnas utformning hade också inverkan på effektivitet av fibertransport. Med större hullingar på en tjockare nål ökade fibertransporten och det ansågs att hullingarna längst ut på nålen inverkade mest. (Miao 2004)

Lee & Kang (1998) jämförde komposit med matris av polyesterharts och armering av glasfibrer, både som non-woven och väv. Vid de försök som gjordes ökade dragstyrka i maskinriktningen med ökad nålning tack vare effektivare överföring av last med fler fibrer i slumpvis riktning. På grund av fler fibrers riktning ner i materialet sänktes E-modulen i maskinriktning vid ökad nålning. I tvärs riktning ökade både dragstyrka och E-modul med ökad nålning. Den komposit som armerades med non-woven med hög nålningsdensitet visade högre grad av isotropi än kompositen armerad med väv. Detta tack vare fibrernas slumpmässiga ordning i non-woven. Lee & Kang (1998) fann vidare att medan dragstyrka ökade med högre nålningsdensitet så sänktes E-modul och böjningsstyvhet. Detta troligen på grund av de skador på fibrerna som orsakas av nålning och sämre längsgående orientering av fibrerna. (Lee & Kang 1998)

Kuo, Su & Tsai (2007) har undersökt vilka faktorer vid nålning av non-woven som har signifikant inverkan på produktens kvalitet. De fann att hastighet på korsläggare, nålningsdjup och nålningsdensitet hade signifikant inverkan på produkt. Med hastighet på korsläggare menas i förlängningen tjockleken på fiberfloret.

3. METOD

Genom att undersöka vävens och kompositens egenskaper var för sig skapades en helhetsbild över materialen och dess samverkan med varandra. Endast kvantitativa data togs fram. Metoder att analysera resultat togs fram genom litteratursökning.

3.1 Tester av väv

Återvunna lakan har försetts av Textilia. De har tidigare använts i sjukhus och har kasserats på grund av fläckar eller hål. Vävkonstruktionen är tuskaft i fiberblandning polyester/bomull som enligt Textilia har viktfördelningen 50/50.



Figur 3 Lakan från Textilia.

Lakanen undersöktes för att ta fram dess mekaniska egenskaper, se eventuella variationer över yta på grund av ojämna slitning eller mekanisk påverkan vid tvättning och även hur stor variationen är mellan olika lakan.

Testning av skillnader mellan olika vävar har gjorts på vävar som ansetts representera urvalet. Då testerna gjordes på ett sådant sätt som förstör lakanen har tillgången av lakan till viss del styrt antalet replikationer.

3.1.1 Areavikt

Då polyester är starkare än bomull kan bomullen ha slitits bort under användning utan att det gör utslag i ett dragtest. Areavikten kontrolleras på olika delar av lakan för att undersöka detta. Areavikt togs även fram på alla vävar som användes till komposit-tillverkning för hjälp vid analys av resultat.

Vikt per kvadratmeter togs fram genom att väga en kvadratdecimeter som skars ut med Fabric Sample Cutter. Fem replikationer gjordes och medelvärde samt standardavvikelse räknades ut.

3.1.2 Volymfraktion varp/vävt

Vid uträkningar av kompositens mekaniska egenskaper med hjälp av "rule of mixtures" krävs information om varje komponents volymfraktion. Väven ses som ett laminat av två delar, varp och vävt. E-modulerna av varje trådsystem gäller endast i respektive riktning, varför andel av volym används till att ta fram den totala E-modulen i viss riktning för kompositen.

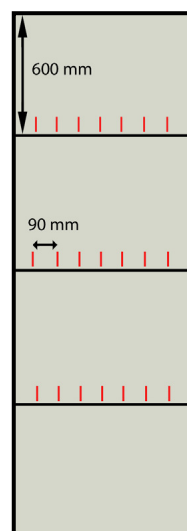
För att räkna ut hur stor del av vävens vikt som bestod av varp respektive vävt skars en kvadratdecimeter ut med Fabric Sample Cutter. Provbiter plockades sedan isär så att varptrådar och väftrådar separerades. Trådarna vägdes sedan för sig och respektive

viktfraction räknades ut. Då densitet antogs vara samma i varp och väft kunde volymfraktioner av komposit tas fram med hjälp av vävens tjocklek.

3.1.3 Snedhetstest

Då vävarna tidigare har använts som lakan har det vid tvättning och mangling dragits åt olika håll och en skevhet i trådsystemen kan antas ha skapats. Detta visade sig även stämma när provbitar skulle tas ut, då tråddriktningen tydligt slingrade sig över väven. Snedhet hos väven testades för att få en uppfattning om i vilken omfattning detta existerade.

Utgångspunkt togs i standard SIS 65 00 66. Mätning gjordes av tre olika lakan på tre olika inslagstrådar med 600 mm mellan varje. På varje inslagstråd togs sju mätpunkter fram med 90 mm avstånd. Se figur 4. Varje lakan revs itu mitt på i varprikningen och ena halvan användes sedan för att utföra mätningarna. Då det inte gick att följa en inslagstråd med blotta ögat revs lakanet även i väftriktning. Vid varje mätpunkt revs lakanen isär och de yttersta fyra väftrådarna plockades bort. Den femte användes sedan för att utföra mätningarna. Då stadkanten på lakanen var uppenbart krokig kollades väftråden mot både stadkant och varptråd. Linjalen lades vinkelrät mot stadkant respektive varptråd så att den tangerade inslagstråden vid minst en mätpunkt, alla mätpunkter som då tangerade linjalen fick värdet 0. Vid övriga mätpunkter mättes avståndet från linjal till inslagstråd i närmaste millimeter.



Figur 4 Schematisk bild över mätpunkter vid snedhetstest.



Figur 5 Mesdan Lab Strength Tester.

3.1.4 Dragtest

Dragtest genomfördes på Mesdan Lab Strength Tester utrustad med en 5 kN lastcell och mekaniska klämmor enligt standarden SS-EN ISO 13934-2. Värdet på brottöjning och brottkraft togs ut och brottspänning togs fram med hjälp av brottkraft och mått på tvärsnittsarean. E-modul räknades ut från rådata och med hjälp av tvärsnittsarean.

Inledande tester gjordes på två olika lakan för att se variationer dem emellan och på olika delar av lakanet. Testbitar togs ut från två olika lakan på två delar och i två riktningar. Provkroppar togs ut från mitten och nära kant på lakanet samt i varp- respektive väftriktning. Detta resulterade i ett faktorförsök, 2^3 , med totalt åtta variationer. Variansanalys utfördes för att se vilka faktorer som gjorde signifikant skillnad på dragstyrka.

Nålningens påverkan på väven testades genom att låta väven nålas ensam utan bi-komponent och sedan dragtesta denna och jämföra med onålad väv. Dessa testades i både varp- och

väfriktning enligt standard. Variansanalys utfördes sedan för att undersöka om nålning hade signifikant påverkan på resultat. Medelvärde, standardavvikelse och procentuell skillnad före och efter nålning togs fram.

Vidare utfördes dragprov på alla vävar som användes till komposit-tillverkning. Detta för att få underlag till vidare analys av kompositerna.

3.2 Tillverkning av komposit

3.2.1 Väv

Vissa förberedelser krävdes för att anpassa lakansväv till nålningsprocess. För att skapa ett så isotropt material som möjligt klipptes delar av väven bort, som stadkant på långsidor och fällor på lakanens kortsidor. Fällor klipps bort före tillverkningsprocessen, i samma moment som lakan sys ihop.

Då maskinbredd vid kardning och nålning var 50 cm klipptes lakan i remsor med denna bredd. Dessa syddes sedan ihop på kortändarna för att skapa en kontinuerlig process. Vid sömnad matas maskinen med väv lagd räta mot räta. Sömmen sys sedan igenom de båda lagren med lös trådspänning och samtidigt klipps utstickande tygbit av. Därmed klipps sydda sömsmånar av på lakanen i samma steg och ingen extra process krävs för detta.



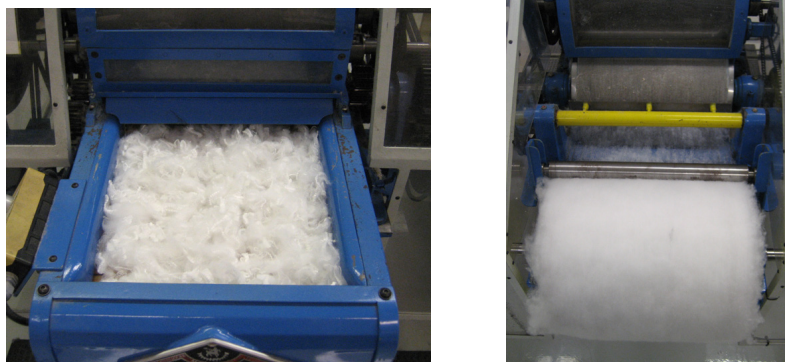
Figur 6 Färdig söm vid sammanfogning av lakan.

3.2.2 Bi-komponentfiber

Bi-komponenten tillhandahölls av Fiberpartner ApS i Vejle, Danmark. Fibern är en stapelfiber i längden 51 mm och tjocklek 4 denier. Fibern har ett runt tvärsnitt med kärna av konventionell polyester och hölje i co-polyester med låg smältpunkt. Co-polyesterns smältpunkt ligger på 110°C medan polyestern i kärnan antas ha liknande smältpunkt som vanlig polyester, det vill säga kring 265°C. (Albertsson, Edlund & Odelius 2011) De mekaniska egenskaper som ges av tillverkare är Tenacity 3,4 g/d och brottöjning 48 %. Se bilaga 1 för tillverkarens specifikation. Vid tester utförda av Sunil Kumar Ramamoorthy på bi-komponent efter värmepressning har dess mekaniska egenskaper tagits fram. E-modul i fibrernas riktning beräknades då till 6 GPa, brottspänning till 135 MPa och brottöjning till 21 %.² Detta värde på E-modul kommer att användas vid beräkningar av laminatteori. E-modul på en vanlig polyesterfiber ligger på runt 10 GPa. (Goodfellow u.å.)

Öppning av fibrer gjordes på separat karda. Kardningen skedde här batch-vis och fibrer vägdes först för att erhålla önskad areavikt. Efter kardning samlades fibrerna upp på bom med redan känd area på 0,4 m².

² Sunil Kumar Ramamoorthy, Forskarstuderande Ingenjörshögskolan i Borås. 2013-05-24.



Figur 7 Bi-komponent-fibrer före och efter första kardning.

3.2.3 Nålning

Produktion av prepreg utfördes vid Swerea IVF i Mölndal. Väv och bi-komponent fördes samman i en kontinuerlig process. Bi-komponent kardades först till ett kontinuerligt flor som transporterades upp på ett band som sedan korslägger floret ner på väv. Väv och vikt flor transporteras sedan tillsammans till nålstol. Vid kardningen orienteras fibrerna i maskinriktningen. Vid vikningen av floret ändras fiberriktningen då det viks ”över sig själv” och maskinriktning vrids 90°. Den slutliga fiberriktningen av bi-komponenten blir då i vävens väft-riktning med viss förskjutning åt diagonalen. Se figur 11 där fiberriktningar visas i förhållande till varandra. Observera att bi-komponents fiberriktning är ungefärlig och att viss slumpmässig ordning också förekommer.

Nålar som användes vid nålning av väv och flor var i triangulär form med ett hörn riktat framåt i maskinriktning. På alla tre hörn fanns hullingar, nålningen skedde på nålningsdjupet 10 mm och resultatet blev cirka 33 nålnedslag per cm².

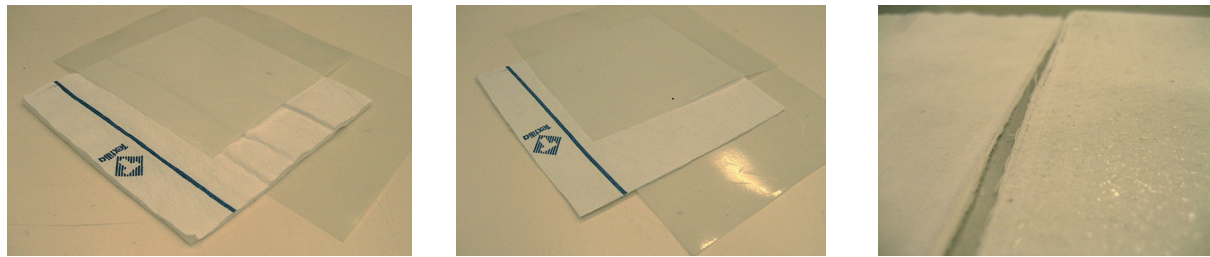


Figur 8 Delar av processflöde vid nålning. Flor före och efter andra kardning. Väv förs in i korsläggare där flor viks ner på väv ovanifrån.

3.2.4 Värmepressning

Väv och prepreg förbereddes genom att klippas till i bitar med storleken 20*20 cm. Dessa lades dubbla med väv utåt vilket resulterade i en komposit med dubbla skikt väv och bi-komponent. Dessa vägdes sedan inför varje pressning för att kontrollera andelen väv/bi-komponent. Då areavikten på väven var känd sedan innan kunde andelen bi-komponent räknas ut på varje prepreg-bit. Grundförhållandet väv/bi-komponent var 50/50.

Värmpressningen gjordes under samma förhållanden och inställningar. Formpressningen gjordes under 50 kN och 150°C i 5 minuter. För att inte bi-komponent skulle fastna på värmpress lades komposit mellan skyddsplast, se bild nedan.



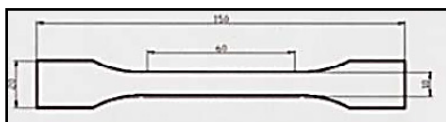
Figur 9 Prepreg och färdig komposit. Till höger syns yta på färdig komposit.

Trycket under pressningen tillför vidhäftning mellan väv och bi-komponent samt minskad porositet i komposit. För att fullt utnyttja styrkan hos fibrerna i väven krävs att matrisen har god vidhäftning i väven (Hull 1981, s. 36). Luftfickor i ett kompositmaterial kan skapa porositet som leder till kvalitetsvariationer och sämre mekaniska egenskaper (Wakeman & Månson 2005, s. 203).

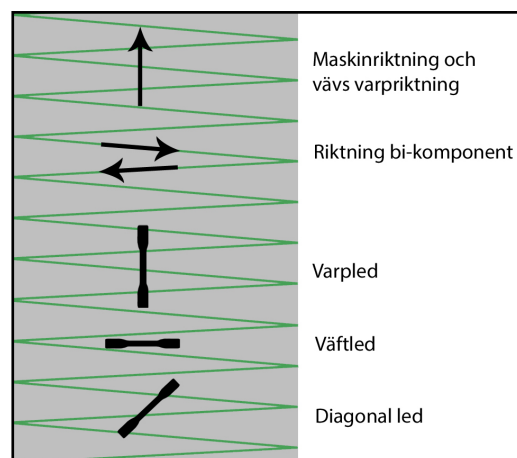
Genom att förändra viktfordelningen mellan väv och bi-komponent erhålls olika mekaniska egenskaper. Dock är det av intresse ur miljösynvinkel att hålla andelen bi-komponent nere då denna är tillverkad av så kallad virgin polyester som förbrukar olja vilket är en icke förnyelsebar råvara.

3.2.5 Laserskärning provkroppar

Skärning av provkroppar till dragtest utfördes på GCC LaserPro Spirit laserskärare från Grafityp UK Ltd. Specifikation för provkroppar erhöles ur standard ISO 527-1 Determination of Tensile Properties. Provkropparna laserskars i hundbensform för att styra brott till att ske på smalare del och inte vid klämmor (Damberg red. 2001, s. 430). Hundbenen hade total längd på 150 mm, varav den smalare delen var 60 mm med bredd 10 mm och 20 mm bredd på ändbitar, se figur 10. Testriktningar bestämdes till varp, väft och diagonal riktning i förhållande till vävens varpriktning. Se figur 11 för schematisk bild över fiber- och testriktningar. Det bör noteras att bi-komponentfibrerna även har viss slumpmässig ordning förutom de riktningar som visas i figuren.



Figur 10 Ritning hundbensformad provkropp.



Figur 11 Schematisk bild över prepregs fiberriktningar och färdig komposites testriktningar i förhållande till dessa.

3.3 Kompositvarianter

Olika kompositvarianter tillverkades för att titta på processparametrar och undersöka hur processtegen påverkade den färdiga kompositen. En grundform tillverkades som andra varianter jämfördes med. Grundutförandet tillverkades genom att lägga två kompositråvaror med båda lagrens varp-riktningar parallella och med en areavikt hos bi-komponenten på 300g/m^2 . Alla komposit är tillverkade av väv med samma areavikt och dragstyrka, förutom när olika vävars påverkan testas.

3.3.1 Varp 90°

Då prepregens egenskaper kan antas vara olika i varp- och väftriiktning tillverkades komposit där varpriktning på de båda lagren korsades i rät vinkel. På så sätt tillverkas en komposit med samma dragstyrka i varp- och väftriiktning.

3.3.2 Två/fyra lager väv

Vid värmepressning av komposit bildade de fibrer som gått igenom väv vid nålning en ojämn yta. Av denna anledning testades att lägga ett extra lager väv för att erhålla en jämnare yta. Vidhäftningsförmåga mellan de yttersta lagren väv och de inre kontrollerades också här. Bi-komponenten hade areavikten 520g/m^2 .

3.3.3 Onålad/nålad väv med non-woven

Med nålning ner i väv kan vävens konstruktion försämrats och fibrer i väv förkortas, vilket skulle kunna påverka kompositens styrka och styvhet. Samtidigt kan en kort armerande fiber ge nära 100 % av en lång fibers armerande effekt, så länge den håller sig över en viss längd. (Hull 1981, ss. 94-95) Hur mycket färdig komposit påverkas av nålning av väv beror alltså på hur mycket kortare vävens fibrer blir av nålningen.

För att undersöka nålningens påverkan tillverkades komposit med bi-komponent i non-woven tillsammans med onålad respektive nålad väv. Bi-komponent och väv nålades alltså för sig. En jämförelse gjordes också, som redan nämnts, med onålad/nålad väv som dragtestades för sig.

3.3.4 Bi-komponent $300/520\text{g/m}^2$

För att se bi-komponentens inverkan på dragstyrka och styvhet tillverkades komposit med olika andelar väv/bi-komponent. Här togs specifik E-modul fram genom normering mot kompositens densitet.

3.3.5 Olika lakansvävar

För att se om skillnader i vävens brottspänning inverkar på kompositens mekaniska egenskaper testades komposit med olika vävar i urvalet.

3.3.6 Nålning i väft-riktning

Tillverkning av prepreg gjordes framför allt genom att lakanen med floret på matades genom nålstolen i lakanets varpriktning, då detta i smalare maskinbredd än lakanvävens fulla längd leder till störst utnyttjande av vävens yta. Test gjordes ändå att lägga vävens väftriiktning i maskinriktning för att se om kompositens egenskaper förbättrades med detta tillverknings sätt. När väven förs in i väftriiktning innebär detta att bi-komponentens fiberriktning hamnar i vävens varpriktning, alltså 90° vridning av vad som visas i figur 11.

3.4 Dragtest komposit

Dragtester utfördes på färdiga kompositerna för jämförelse av styrka, styvhet och töjning. Standarden ISO 527 användes som utgångspunkt för testerna. Enligt standard skall fem provkroppar testas av varje provexemplar, dock kunde det endast fås ut fyra provkroppar per kompositvariant varför detta krav frångicks. Det var inte heller möjligt att utföra testerna under de temperatur- och luftfuktighetsförhållanden som beskrivs i standard. Då alla tester genomfördes under samma förhållanden, kan de jämföras med varandra.

Dragtester utfördes enligt dessa standarder:

ISO 527-1 Plast - Bestämning av draghållfasthet – Del 1: Allmänna principer

ISO 527-4 Bestämning av töjningsegenskaper – Del 4: Provningsbetingelser för isotropa och ortotropa fiberförstärkta kompositerna.

Dragtesterna utfördes på H10KT Dual Column Universal Tester, tillverkad av Tinius Olsen Ltd med 5 kN lastcell och mekaniska klämmor.

Testerna utfördes med dessa inställningar:

Spänningsområde 5 000 MPa

Töjningsområde 10 %

Avstånd mellan klämmor vid start 50 mm

Testhastighet 10 mm/min

Förspänning 10 N

Resultat som användes vid analys var E-modul (0.05%-0.25%) (MPa), brottspänning (MPa) och brotttöjning (%). Då det inte finns en tydlig gräns mellan polymerens elastiska och plastiska regioner i brott/töjningsdiagram används E-modul för de första 0,05-0,25 %. E-modul normerades mot densitet för vissa jämförelser, denna kallas då Specifik E-modul.

3.4.1 Densitet

Mätning av kompositernas densitet gjordes genom vägning av laserskuren rektangulär provkropp ur varje komposit. Resultatet användes sedan till att normera E-modul för jämförelser mellan vissa kompositerna.

3.5 Analys av resultat

3.5.1 ANOVA

Vägledning i variansanalys hämtas från Design and Analysis of Experiments (Montgomery 2005). Här beskrivs hur signifikantest utifrån ett kritiskt p-värde kan vara missledande och att mycket information går förlorat i en sådan analys (Montgomery 2005, s. 38). Utifrån storleken på p-värdet som fås i ANOVA:n analyseras istället faktornas inverkan på resultatet. Värdet under 0,01 tolkades som att faktorn hade signifikant inverkan på resultatet och p-värdet över 0,25 tolkades som att faktorn inte hade signifikant inverkan. Värdet mellan 0,01 och 0,25 tolkades som mindre inverkan på resultatet. Då endast envägs- och tvåvägs-ANOVA var möjliga att genomföra analyserades maximalt två faktorer samtidigt. Vid fler än två faktorer genomfördes flera olika variationer av tvåvägs-ANOVA där alla faktorer ställdes mot varandra och säkra analyser kunde säkerställas. Exakta p-värden togs fram genom data-analys i Excel. Även samverkans effekter mellan faktorer noterades.

3.5.2 Komposit

Hybrid-komposit definieras som en komposit där flera olika fibermaterial agerar armering. Genom att de olika materialen tillför olika egenskaper kompletterar de varandra. Kompositens egenskaper blir då den vägda summan av delarna. John, Anandjiwala och Thomas (2008) ger en formel för en egenskap (*property*) hos en hybrid-komposit bestående av två system. Motsvarande egenskap hos varje system betecknas P_1 och P_2 och V_1 och V_2 är den relativa volymfraktionen hos vardera system, som tillsammans blir summan 1. P_H betecknar den resulterande egenskapen hos hybrid-kompositen. Formeln kallas för *Rule of Mixtures*.

$$P_H = P_1V_1 + P_2V_2 \quad (\text{Formel 1})$$

Dessutom kan hybrideffekter uppkomma, med vilket man menar synergieffekter som kan uppstå mellan de olika systemen i en hybrid-komposit. (John, Anandjiwala & Thomas 2008)

Hull (1981) definierar laminat som en ortotropisk komposit, det vill säga en kropp som har olika mekaniska egenskaper från en punkt i tre plan vinkelräta mot varandra. Till skillnad från isotropiska kroppar som har samma egenskaper i alla riktningar är enkelriktade laminat ortotropiska. (Hull 1981, s.102) Med enkelriktad menas att fibrerna som agerar som armering är riktade åt ett håll.

Vet man de mekaniska egenskaperna på de individuella skikten av ett laminat kan man med laminatteori bestämma de resulterande egenskaperna i det färdiga laminatet. (Hull 1981, s. 103) En formel som ges är följande (Hull 1981, s. 83);

$$E_l = E_fV_f + E_mV_m \quad (\text{Formel 2})$$

E_l betecknar den resulterande E-modulen hos ett laminat bestående av fiber och matris med de egna E-modulerna E_f och E_m , som summeras genom viktning med deras volymfraktioner V_f och V_m . Om E_f är större än E_m så blir spänningen på fibern större än på matrisen, vilket är en grundläggande regel för kompositmaterial där armeringen ska ta upp största delen av den kraft som påförs. (Hull 1981, s. 81) Formel 2 är en mer specifik form av den allmänna som John, Anandjiwala och Thomas (2008) ger om hybrid-kompositer (formel 1). Det är dock viktigt att notera att dessa båda är en förenkling av verkligheten och bygger på antagelserna att fibrerna är jämnt fördelade, har samma riktning, har perfekt bindning till matris, inga luftporer existerar samt att både matris och fiber är perfekt linjära elastiska material (Rangaraj & Bhaduri 1994).

Kritisk fiberlängd har undersökts av Vas, Ronkay och Czigány (2009) som också påpekar att mekaniska egenskaper i kompositer till stor del påverkas av interlaminära krafter mellan matris och fiber. De menar att de interlaminära krafterna påverkar den kritiska fiberlängden och hänvisar till Kelly och Tyson (1965) när de definierar kritisk fiberlängd som den minsta fiberlängden som inbäddad i matris får brott av dragkraft, vilket innebär att maximalt med armering uppnås.

4. RESULTAT

4.1 Väv

4.1.1 Areavikt

I tabell 1 visas areavikter på två olika lakan, på två områden på ytan. Enligt den ANOVA som utfördes på resultat nedan är de skillnader man ser mellan faktorer signifikanta. Det betyder att både väv och plats på väv har betydelse för areavikt. Skillnader mellan vävar är dock betydligt större än skillnader mellan olika platser på vävarna.

Tabell 1 Jämförelse av areavikt mellan vävar och över yta. Medelvärde på fem provkroppar anges och standardavvikelse visas inom parantes.

Areavikt (g/m ²)	Nära kant	Mitten
Väv 1	175,54 (4,08)	171,81 (1,50)
Väv 2	132,59 (2,46)	128,74 (1,15)

4.1.2 Mekaniska egenskaper

Nedan visas resultat av dragtest utförd på två olika lakan och på två olika områden på lakanens yta.

Tabell 2 Resultat dragtest väv. Medelvärde på fem provkroppar anges och standardavvikelse inom parantes.

Dragtest: Variation mellan lakan och över yta		E-modul MPa		Brottspänning MPa		Brottöjning %	
		Varp	Väft	Varp	Väft	Varp	Väft
Väv 1	Nära kant	301,96 (40,60)	170,50 (23,07)	56,80 (2,89)	43,40 (2,47)	25,14 (1,73)	45,42 (4,95)
	Mitt på	296,69 (28,80)	172,89 (5,19)	55,22 (4,19)	42,03 (2,41)	24,06 (2,66)	40,50 (3,01)
Väv 2	Nära kant	392,70 (58,57)	171,59 (46,44)	45,70 (2,06)	32,27 (5,74)	14,88 (1,69)	36,36 (5,44)
	Mitt på	425,10 (40,13)	158,66 (30,01)	47,04 (2,55)	31,74 (2,44)	14,10 (1,06)	39,48 (2,45)

Vid utförd ANOVA framkom att p-värden för båda faktorer var antingen lägre än 0,01 eller högre än 0,25, vilket tolkas som entydigt svar på signifikant respektive icke signifikant inverkan på resultat. Dragtest av väv visade signifikanta skillnader mellan varp- och väftriktning samt olika vävar. Däremot kunde inte skillnader mellan olika delar på väven anses signifikanta. Se bilagor 2 och 3 för exempel på resultat från dragtest och utförd ANOVA. Varp har högre styrka och styvhet än väft medan väft visar högre töjning. Detta beror på den invävning av väft som sker vid produktion av väv. Det är också vanligt att man väljer ett garn med högre styrka till varp då denna utsätts för större påfrestningar vid vävning. Varp får ofta en högre trådtäthet vilket även det bidrar till vävens högre styrka i varpriktning. Beräkning av volymfraktion bekräftar denna tes.

4.1.3 Volymfraktion

Av vävens vikt var andelen varptrådar 54 % och väftrådar resterande 46 %. Då varp och väft antas ha samma densitet översätts detta till volymfraktion.

4.1.4 Snedhetstest

Tabell 3 visar resultat av snedhetstest där väftråders förhållande till stadkant och varptrådar har undersökts. Ett högt värde betyder större snedhet.

Tabell 3 Resultat snedhetstest. Mått anger avstånd i mm mellan väftråd och linje rätvinklig mot stadkant respektive varptråd.

Snedhetstest (mm)	Inslagstråd 1		Inslagstråd 2		Inslagstråd 3	
	Stadkant	Varptråd	Stadkant	Varptråd	Stadkant	Varptråd
A	0	0	0	0	18	0
	3	1	1	0	19	0
	4	2	2	0	17	1
	4	4	4	1	14	1
	5	5	5	1	11	1
	5	7	6	1	8	0
	7	7	7	1	0	0
B	12	2	2	1	0	0
	13	3	2	1	4	5
	11	2	2	0	5	6
	13	1	1	1	6	8
	6	1	0	0	6	9
	3	1	1	0	4	10
	0	0	0	0	3	11
C	0	0	0	0	27	13
	2	7	4	8	26	14
	4	15	6	15	21	12
	5	16	8	20	15	8
	4	15	10	24	9	4
	3	16	10	28	3	0
	3	22	9	30	0	0

Testet visade som förväntat att stor variation råder såväl över yta som mellan lakan. Något större avvikelser kan ses i mätning mot stadkant.

4.1.5 Påverkan av nålning

Tabell 4 visar resultat av dragtest utförd på samma väv före och efter nålning.

Tabell 4 Resultat dragtest för undersökning hur nålning påverkar väv. Medelvärde och standardavvikelse anges.

Dragtest: Påverkan av nålning	E-modul MPa		Brottspänning MPa		Brottöjning %	
	Varp	Väft	Varp	Väft	Varp	Väft
Onålad väv	454,23 (19,28)	257,90 (35,03)	1468,00 (37,54)	997,60 (86,41)	16,14 (0,93)	33,24 (2,27)
Nålad väv	263,39 (80,28)	212,59 (13,56)	492,80 (155,28)	633,40 (88,65)	11,94 (0,93)	25,86 (2,31)

Enligt utförd ANOVA gjorde nålning av väv signifikant skillnad på vävens dragstyrka. Särskilt i varpriktning försämrades vävens dragstyrka, där endast 34 % av den ursprungliga styrkan fanns kvar efter nålning. I väftriktning fanns 63 % av ursprunglig styrka kvar efter nålning. Det betyder att varpen som tidigare var den starkare riktningen nu är svagare än väft. Även E-modul försämrades av nålning, återigen särskilt i varpriktning. Brottöjning försämrades ungefär lika mycket i varp- som i väftriktning.

4.2 Komposit

Nålningen gjorde att bi-komponentfibrer fördes ned genom flor och vidare ned genom väv. Bi-komponentens flor blev därigenom mer kompakt vilket gjorde varan mer lätthanterlig och en mekanisk bindning bildades mellan bi-komponent och väv. Den prepreg som bildades var lätthanterlig och höll samman väl. Se figur 12.



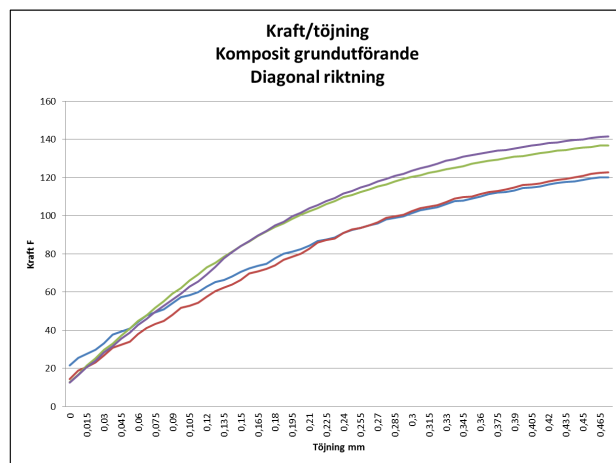
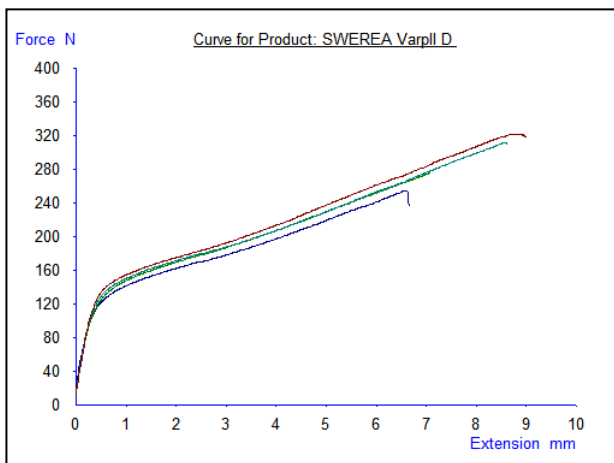
Figur 12 Prepreg; fibrer i bi-komponent nålat tillsammans med lakansväv.

Svårigheter uppstod vid försök att karda bi-komponent ensam. För att få material att gå igenom nålstol måste det dras igenom från andra sidan. Då fibrerna i floret går i tvärs maskinriktning är floret löst sammansatt i maskinriktning och gick isär när det drogs genom nålstol. Endast mindre bitar gick att tillverka på detta sätt. Här hjälper vävens konstruktion till som en bärare för floret att få igenom flor och väv i jämn fart och därmed i jämn tjocklek.

Elasticitetsmodul (E-modul), brottspänning och brottöjning togs ut från dragtester och analyserades. Medelvärde och standardavvikelse räknades ut och ritades upp på stapeldiagram. Text under stapel anger i vilken riktning på väven som dragtestet är gjort. Se bilagor 4 och 5 för exempel på dataresultat från dragtest och utförd ANOVA på dessa.

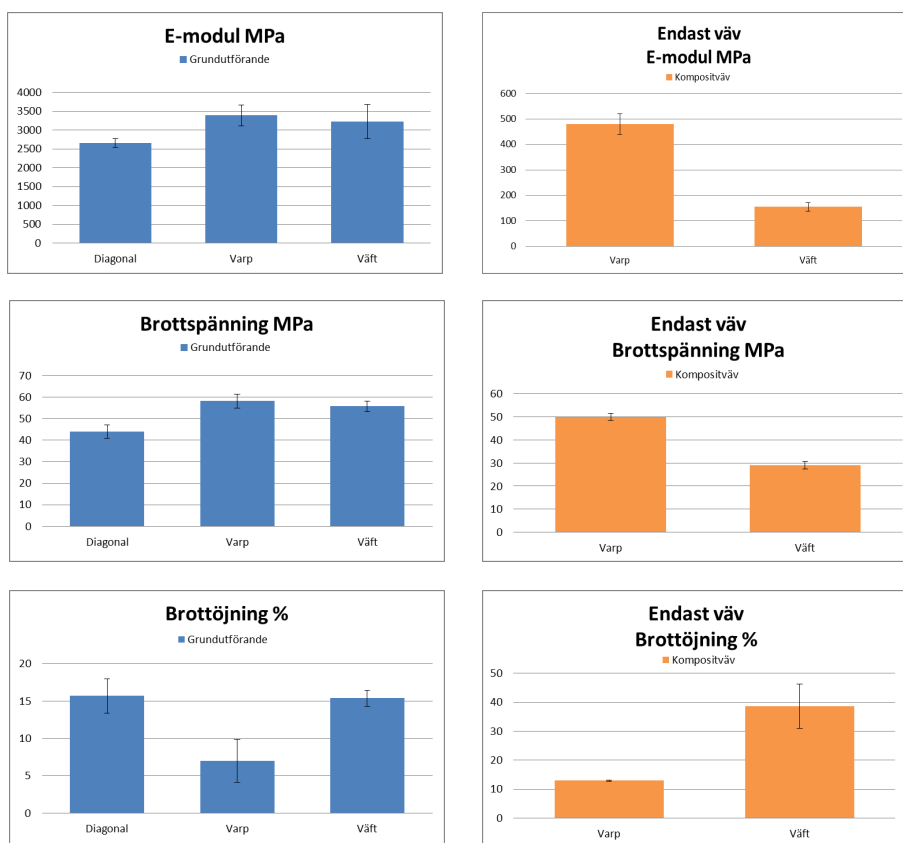
4.2.1 Grundutförande

Figur 13 visar resultat över komposit i grundutförande, dragtestat i diagonal riktning. Den högra grafen visar grafens ojämnhet i början av dragtest. Denna ojämnhet kan antas bero på kompositens icke-homogena uppbyggnad. I början av dragtestet förändras strukturen i kompositen då fibrer friktionsglider mot bi-komponent, när dessa sedan har hittat sin form planar grafen ut.



Figur 13 Kraft/töjnings-diagram över komposit i grundutförande. Höger graf visar förstoring av början på test. Denna komposit är matad genom nålstol längs varpriktning, skikten är sedan lagda med varp riktad åt samma håll och dragtestet är gjort på provkropp skuren diagonalt mot vävens varpriktning.

Diagram i Figur 14 visar resultat från dragtest för komposit i grundutförande samt dragtest utfört på den väv som använts i kompositerna.



Figur 14 Diagram över resultat i dragtest för komposit i grundutförande och väv som användes vid komposit-tillverkning. Medelvärde och standardavvikelse visas för dragtester utförda i diagonal, varp- och väftriktning.

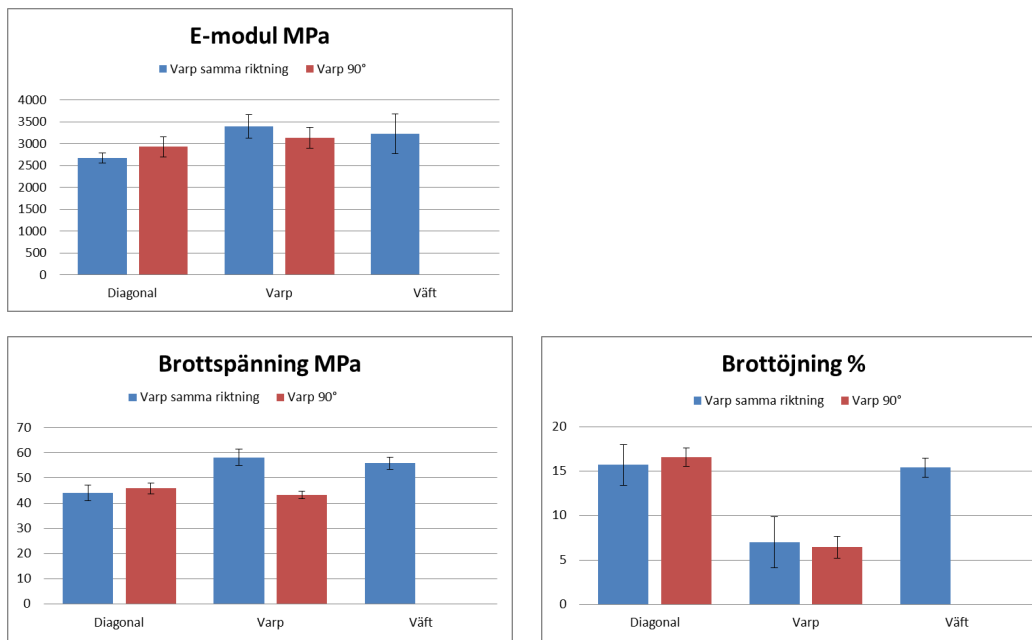
För komposit i grundutförande är E-modul i diagonal riktning 27 % lägre än i varpled och 21 % lägre än i väftled. Brottöjningen är mer än dubbelt så hög i diagonal- och väftled än i varpled. Skillnader mellan varp och väft i E-modul och brottspänning är inte statistiskt säkerställda enligt utförd variansanalys. Det betyder att kompositens styvhet och dragstyrka är lika stor i varp- och väftriktning. Genomgående för många här testade kompositerna är att störst töjning existerar i diagonal led. Väven i sin konstruktion är mer töjbar i väft- och diagonal riktning än i varp, vilket förklarar en del av kompositernas högre töjning i dessa riktningar.

Vidare är brottöjning större i väftriktning än i varpriktning. Det förklaras både av bi-komponents högre orientering i väftriktning och vävens högre brottöjning i väftriktning. Då bi-komponent är orienterad tvärs varpriktning dras de lättare isär åt detta håll.

Noteras bör att kompositens E-modul är avsevärt högre än vävens, varför bi-komponent kan antas stå för den största delen av kompositens styvhet.

4.2.2 Varp 0°/90°

I figur 15 visas resultat från dragtest utförd på komposit tillverkad med varp lagd i samma riktning på båda lager och varp lagd i tvärs riktning.



Figur 15 Diagram visar mekaniska egenskaper för komposit tillverkad med varp 0°/90°.

ANOVA

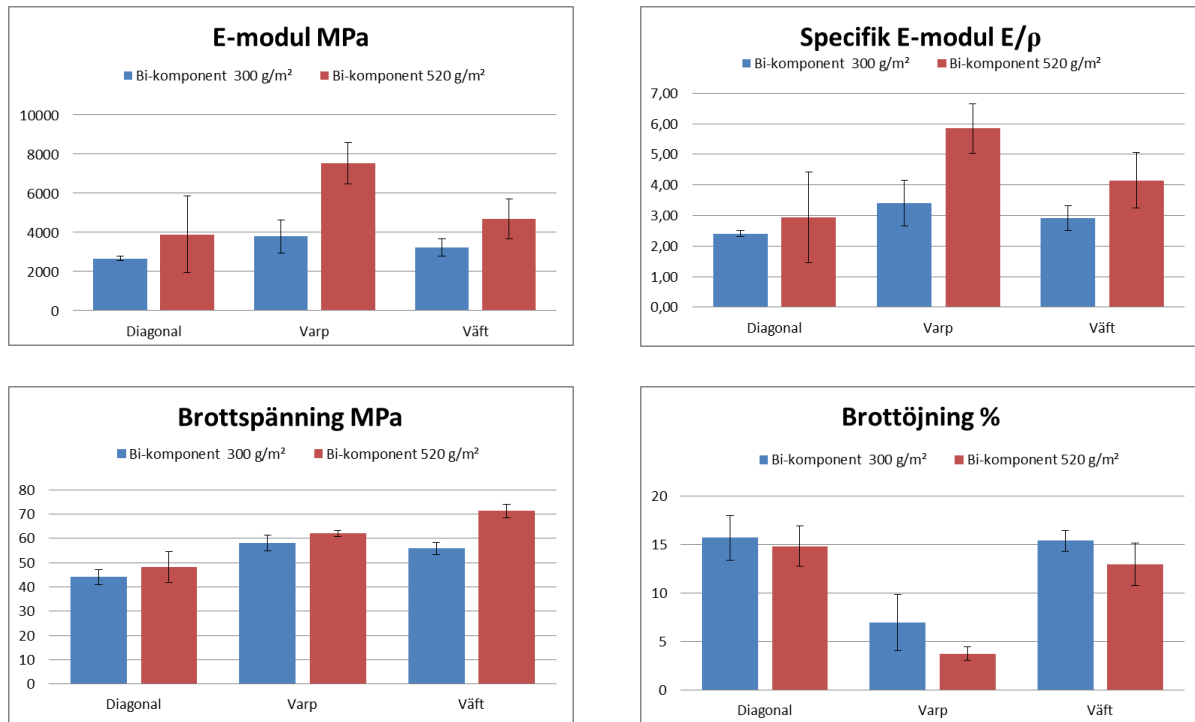
Signifikant inverkan på resultat	Riktning	Tillverkningsmetod	Samverkan
E-modul	ja	nej	liten
Brottspänning	ja	ja	ja
Brottöjning	ja	nej/ja	ja

I brottöjning visade ANOVA signifikant skillnad mellan de olika tillverkningsmetoderna i väftriktning, men inte i varpriktning. Detta ses tydligt i diagram där stapeln i väftriktning är nästan tre gånger så hög som i varpriktning. Notera att resultat för 'Varp 90°' i varpriktning jämförs med både varp- och väftriktning för 'Varp samma riktning'.

Vidare kan sägas att tillverkningsmetod ger mindre signifikant effekt än testriktning. Effekten är också betydligt mindre mellan tillverkningsmetoderna. I brottspänning och brottöjning gör tillverkningsmetod ingen signifikant skillnad i diagonal riktning, vilket förklaras av att det logiskt sett inte bör göra skillnad i diagonal riktning om man vrider ena lagret 90°. Brottöjning blir lägre i längsgående riktning och brottspänning blir sämre i både varp- och väftriktning när varpriktning läggs 90° mellan kompositens två lager.

4.2.3 300 respektive 520 g/m² bi-komponent

Diagram i figur 16 visar mekaniska egenskaper på kompositerna tillverkade av olika areavikter på bi-komponent. Specifik E-modul har räknats fram för att normalisera E-modul mot densitet.



Figur 16 Diagram över resultat från dragtester på kompositerna med olika areavikt på bi-komponent.

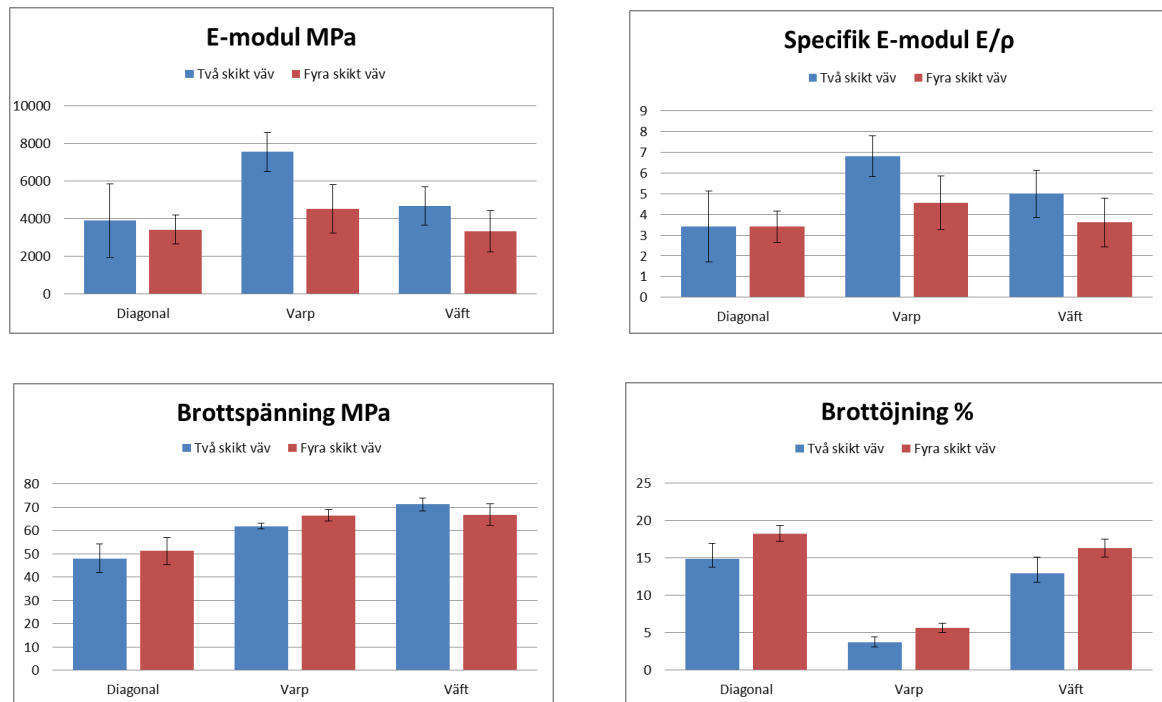
ANOVA

Signifikant inverkan på resultat	Riktning	Areavikt bi-komponent	Samverkan
E-modul	ja	ja	liten
Specifik E-modul	ja	ja	liten
Brottöjning	ja	liten	liten
Brottspänning	ja	ja	nej

Areavikt av bi-komponent har signifikant inverkan på kompositens mekaniska egenskaper. Styvhet och brottspänning ökar båda med ökad mängd bi-komponent. Skillnaden är något mindre när E-modul normaleras men bi-komponent får ändå anses ha störst inverkan på kompositens styrka och styvhet. Att brottöjning minskar med ökad andel bi-komponent betyder att väv har störst inverkan på kompositens tøjbarhet. Detta bekräftar tidigare analyser av resultat och följer samma mönster.

4.2.4 Två/fyra lager väv

Figur 17 visar mekaniska egenskaper för komposit tillverkad av bi-komponent med areavikt 520 g/m² med två respektive fyra lager väv. Specifik E-modul har också räknats ut här för att normalisera E-modul. Vid dragtest av komposit med fyra lager väv noterades att yttersta lagret väv inte gick till brott utan höll fortsatt ihop provkropp vid borttagande ur dragtestare. Att maskinen inte fortsatte dra har att göra med inställningarna, då den slutar dra vid kraftigt avtagande i motstånd. Eftersom materialet har kommit till brott så gör det ingen skillnad på resultat om maskinen skulle försätta dra, men det kan ändå vara värt att notera då det betyder att vidhäftning mellan de båda vävskikten var låg.



Figur 17 Diagram resultat dragtest för komposit med två respektive fyra skikt väv.

ANOVA

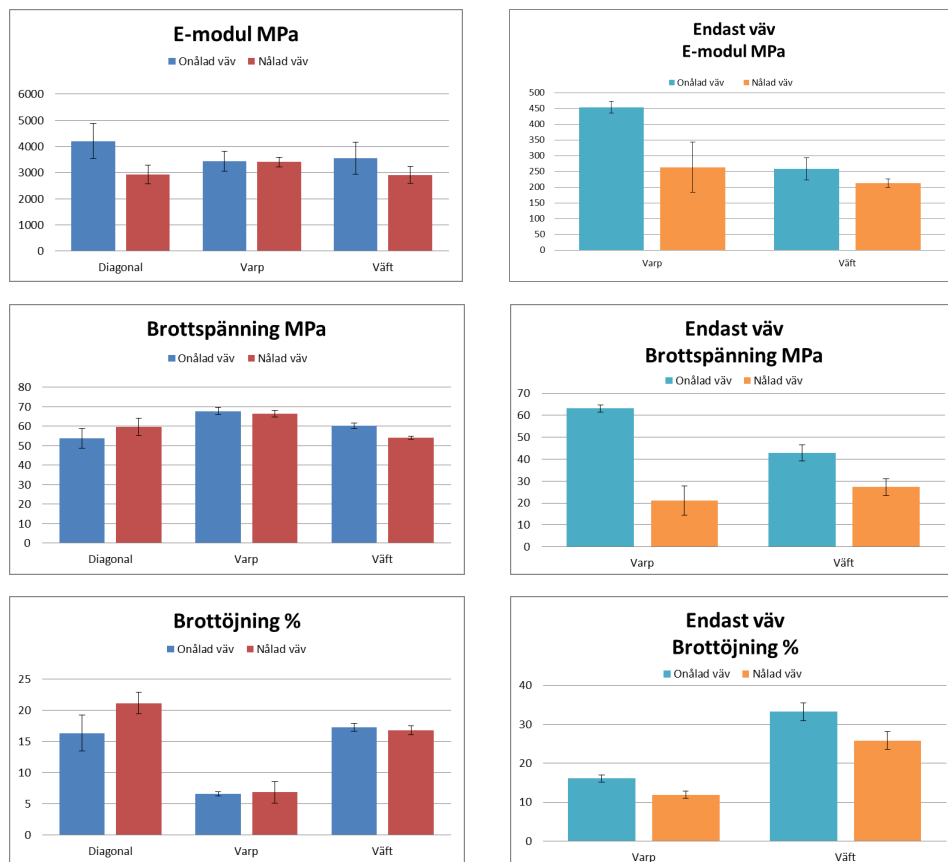
Signifikant inverkan på resultat	Riktning	Tillverkningsmetod	Samverkan
E-modul	ja	ja/liten	nej
Specifik E-modul	ja	liten	nej
Brottspänning	ja	nej	liten
Brottöjning	ja	ja	liten

Variationsanalys av resultaten visade att testriktning hade signifikant inverkan på alla resultat. Vidare hade tillverknings sätt ej inverkan på brottspänning och mindre inverkan på E-modul medan den hade signifikant inverkan på brottöjning.

Att fyra skikt väv har signifikant högre brottöjning kan tolkas som att det är vävens fibrer som tillför töjningsegenskaper. Detta bekräftar analys av grundutförandets resultat. De något lägre E-moduler som kommer med mer väv kan tolkas som att styvhet främst tillförs av bi-komponent.

4.2.5 Onålad/nålad väv

Nålningens påverkan på komposit och vävens mekaniska egenskaper har testats. Resultat för både komposit och väv ses i figur 18.



Figur 18 Diagram resultat dragtest på komposit tillverkad av onålad respektive nålad väv. Diagram i höger kolumn visar resultat från test utförd på endast väv.

ANOVA komposit

Signifikant inverkan på resultat	Riktning	Nålning	Samverkan
E-modul	nej	ja	liten
Brottspänning	ja	nej	ja
Brottöjning	ja	liten	ja

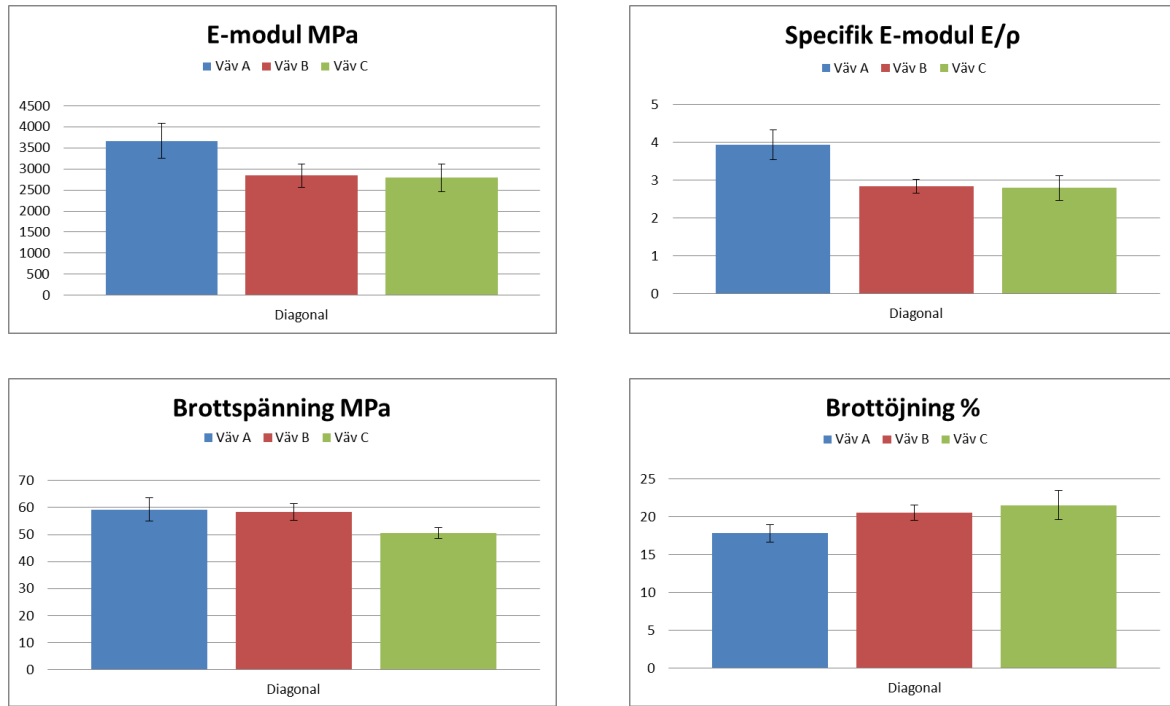
Som beskrevs under vävens resultat visade ANOVA gjord på resultat från dragtest utförd på endast väv att nålning hade signifikant inverkan på vävens mekaniska egenskaper. E-modul, brottspänning och brottöjning påverkades alla av nålning, både i varp- och väftriktning. Det kan även noteras att nålning hade störst inverkan i varpriktning på endast väv. Nålningens större inverkan på varp betyder att nålarna påverkar varptrådarna mer, kanske på grund av dess utförande eller på grund av hur väven dras igenom nålstol och nålar skulle då dra sönder varptrådar mer än väftrådar.

ANOVA utförd på komposit visade att nålning hade inverkan på E-modul men inte på brottspänning och endast liten inverkan på brottöjning. Envägs-ANOVA utfördes även på kompositens brottspänning i väft- och varpriktning. Dessa visade att nålning av väv gjorde

signifikant skillnad i väftriktning men inte varpriktning. Det betyder att nålning inte gjorde skillnad i varpriktning men försämrade kompositens brottspänning något i väft.

4.2.6 Olika vävar

Komposit tillverkad av olika vävar har dragtestats i diagonal riktning, resultat visas i figur 19.



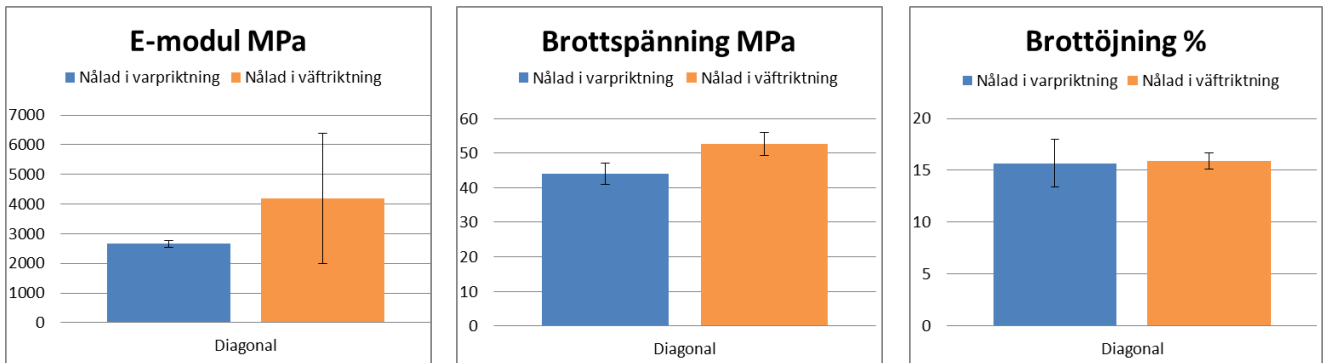
Figur 19 Diagram över resultat från dragtest utfört på komposit tillverkad av olika vävar.

Variansanalys visade att typ av väv hade inverkan på resultat, särskilt lågt var p-värdet för specifik E-modul. Övriga p-värden var mellan 0,0094 och 0,0136, vilket kan tolkas som att inverkan är mindre på brottspänning och brottöjning.

Komposit tillverkad av väv A är styvast och har lägst brottöjning medan väv C har lägst brottspänning och högst brottöjning.

4.2.7 Nålning i varp/väft-riktning

Vid tillverkning av prepreg gjordes nålningen normalt i vävens varpriktning. Tillverkning testades också i vävens väftriktning vilket fick till följd att bi-komponentfibrers riktning vreds 90° i förhållande till väven. Jämförelse av mekaniska egenskaper i färdig komposit diagonala riktning gjordes, resultat visas i figur 20.



Figur 20 Diagram över resultat för dragtest utförd på komposit i grundutförande och av prepreg nålad i väftriktning.

Utförd variansanalys visade att den riktning som väv nålas i inte har signifikant inverkan på kompositens E-modul eller brottöjning. Med p-värde på 0,009 har nålningsriktning dock viss inverkan på kompositens brottspänning.

4.2.8 Laminatteori

Vid försök att applicera *Rule of Mixtures* på resultaten från dragtesterna visade det sig svårgörsligt. De uträkningar av E-modul på olika kompositvarianter som gjordes gav stor spridning eller överensstämde inte med det resultat som gavs vid dragtest. Detta kan bero på fel vid bestämning av kompositens volym på grund av ojämn yta eller porer i kompositmaterialet.

5. DISKUSSION

5.1 Tillverkning av prepreg

Att få en jämn tjocklek på flor krävs för ett jämnt slutresultat. För de maskiner som användes vid dessa försök krävdes en person som matar på bi-komponent kontinuerligt för att undvika viktskillnader i floret och en person som matar på väv då denna hade tendens att stanna upp vid minsta motstånd. Vidare krävdes ytterligare en person vid nålstol för att kontrollera att material matades in i jämn hastighet och sedan tar hand om nålat material så att det matas ut och samlas upp på lämpligt sätt. För industriell tillverkning krävs ett bättre sätt att mata på både bi-komponent och väv så att bi-komponents flor får en jämn areavikt och väv hänger med i processen. Ska bi-komponents flor vikas skulle en bom som plattar till flor efter vikning förbättra process och troligen leda till ett jämnare resultat. Kanske kan bi-komponent spinnas till filamentfibrer i direkt anslutning till processen och på så vis eliminera flera processteg.

Bi-komponents genomslag till vävsida av prepreg orsakade en ojämn yta vid värmepressning till komposit. Beroende på användningsområde och önskade mekaniska egenskaper kan en lösning vara att lägga på ytterligare en vävbit som binds samman men prepreg tack vare bi-komponentens genomslag. Detta testades också och visade att färdig komposit fick en bättre yta. Dock ansågs inte vidhäftning till det extra lagret väv vara tillräcklig. Genom att öka nålningsdjupet skulle fler bi-komponentfibrer gå igenom till yta och väv skulle binda bättre. En annan lösning är att minska nålningsdjupet vilket skulle minska bi-komponents genomslag till vävens yta. Förhoppningsvis skulle detta leda till en jämnare, finare yta och fortfarande binda bi-komponent tillräckligt starkt till väv för att prepregen skulle fortsätta vara lätthanterlig.

Tillverkningsmetoden att korsa varprikning hos prepreg-lagren vid komposittillverkning kan inte anses lämplig. Signifikanta skillnader mellan tillverkningsmetoderna kunde endast märkas i brottspänning och brottöjning och då inte till fördel för korsning av varprikning. Denna tillverkningsmetod skulle sannolikt även leda till mer spill. Detsamma gäller för nålning i väftriktning som inte heller kan ses som lämplig utifrån de resultat som fåtts i denna rapport. Användningsområde för komposit och bredd på maskin får avgöra om det är lämpligt att nåla komposit i vävens väftriktning. Troligtvis är det mer lämpligt att öka areavikt på bi-komponent om högre brottspänning krävs.

5.2 Karakterisering

Utifrån tester gjorda på lakanens egenskaper kan viss hänsyn behöva tas till vilken väv som används. Även om snedhetstestet visade på stor variation i trådsystemets orientering behöver ytterligare tester göras i hur detta påverkar slutlig komposit. Kanske räcker det att man river lakanen i längsgående riktning för att få ut remsor längs med varptrådar och därmed uppnås mindre variation än om man klipper med stadkant som guide. Vidare visade jämförelse mellan kompositer tillverkade av olika vävar att vävsort hade inverkan på slutlig komposit. Beroende på användningsområde kan hänsyn behöva tas. Kanske håller sig variationen inom uppsatta toleransgränser eller så håller sig alla vävar över en minimigräns. Anses däremot variationen för stor kan lakanen behöva delas in i grupper efter mekaniska egenskaper och den prepreg som tillverkas delas in i olika varugrupper.

Analys av resultat från nålnings inverkan visade att komposit inte påverkades i varprikning, vilket kan tolkas som att nålning inte förkortade fibrer till under kritisk fiberlängd. Vidare kan

ses att brottöjning ökade och E-modul sänktes i diagonal riktning när komposit tillverkades av nålad väv. Detta kan betyda att vävens konstruktion har större betydelse i diagonal riktning än i varp- och väftriktning.

Vid undersökning av komposit tillverkad av enbart bi-komponentfiber med alla fibrer orienterade i en riktning så har tidigare försök visat att E-modulen är 6 GPa. Om E-modul på en vanlig polyesterfiber, vilket kärnan i bi-komponentfibern består av, ligger på 10 GPa så betyder det enligt laminatteori och med antagelsen att bi-komponentfibern består av 50/50 hög-/lågsmältande polyester att den lågsmältande delen skulle ha en E-modul på 2 GPa. Med hjälp av uträkningen av vävens volymfraktioner av varp och väft samt mått på dess totala tjocklek räknas vävens tillskott ut i varp- respektive väftriktning. Vid dragtest i varpriktning räknas endast vävens varp med då väfttrådarna inte tillför styvhet i denna riktning. Samma gäller för dragtest i väftriktning. Dessa teorier kunde dock inte testas enligt laminatteori på grund av otillräcklig exakthet vid volymberäkning.

I de kraft/töjnings-diagram som togs fram vid dragtest av komposit visades en tydlig hackighet i grafen. Då det är under kompositens elastiska fas detta sker förklarar fenomenet stora standardavvikelse i E-modul. Denna ojämnheter i grafen indikerar alltså att bindningen mellan fiber och matris inte är perfekt, vilket gör det svårt att applicera *Rule of Mixtures* vid användning av laminatteori. Detta bekräftades sedan vid försök att räkna på E-moduler med hjälp av denna regel. Det visade sig svårgörligt. Detta kan indikera att de antagelser som ligger bakom inte stämmer in i detta fall eller att en mer exakt mätning av kompositens densitet krävs. Densitet var svår att mäta mycket på grund av den ojämna yta som bildades vid tillverkning. Det finns mer exakta tillvägagångssätt som hade passat bättre men som det inte fanns utrymme för under detta arbete. Vidare har fiberriktning av bi-komponent varit oregelbunden med viss orientering i vävens väftriktning. Detta gör att det värde som getts på bi-komponents E-modul inte går att applicera helt i någon riktning eftersom det är framtaget på komposit med bi-komponent i endast en riktning.

5.3 Resultatens tillförlitlighet

Vid tillverkning av prepreg uppkom vissa svårigheter i att få ett jämnt flor då det krävs fler personer för att hålla koll på alla steg i processen. Detta medförde att den prepreg som tillverkades fick ojämn tjocklek på floret. Genom att väga alla bitar som värmpressades undveks att detta skulle få för stor inverkan på resultat.

Graf i avsnitt 4.2.1 visade en hackig början på dragtestet vilket förklarar stora standardavvikelse i E-modul. Detta kan också peka på en svårighet att bestämma E-modul på ett sådant här material som inte är homogent i sin uppbyggnad. Vidare kan detta betyda att en stor mängd replikationer kan behövas för att få en stor mängd data med större tillförlitlighet som följd.

Vidare kan noteras att alla replikationer har tagits från samma kompositprov. En risk föreligger alltså att resultaten gäller för just den tillverkningen, istället för den kompositvarianten. Detta kan göra att oönskade faktorer har inverkan på resultat, som variationer i tillverkning av prepreg eller värmpressning. Även om detta har förebyggts genom vägning av alla prepreg-bitar och konsekvent utförande vid värmpressning hade en större mängd replikationer gett större tillförlitlighet till resultat.

5.4 Vidare forskning

En faktor som det inte har funnits möjlighet att variera är nålningen av prepregen. Framför allt nålningsdjup, nålningsdensitet och typ av nålar är faktorer som kan antas göra stor skillnad i prepregs hanterbarhet och slutlig kompositens egenskaper. Kan man minska nålningsdjupet så mycket som krävs för att ytan ska bli jämn - utan att förlora bindningen mellan väv och bi-komponent? Hur glest kan man göra nålningen och samtidigt bibehålla hanterbarheten i prepregen? Finns det en annan typ av nål som passar bättre för ändamålet, en som gör mindre åverkan på väv?

Vidare krävs djupare analys av variationer mellan vävar och hur den existerande skjuvningen i vävens trådsystem påverkar komposit.

Det skulle också vara intressant att göra en mer exakt undersökning av volymen hos kompositerna för att kunna avgöra por-innehåll samt eventuellt kunna göra en beräkning enligt laminatteori. Upptäcks att kompositerna innehåller luftporer kan det vara aktuellt att förändra tillverknings sättet, sannolikt förändra värmepressningen.

6. SLUTSATS

Utifrån de undersökningar som gjorts kan slutsatsen dras att det är möjligt att tillverka en prepreg av återvunna lakan och bi-komponent sammanbundna genom nålning. Nålning påverkade visserligen vävens mekaniska egenskaper signifikant men efter värmepressning av vara till komposit var effekten av nålning betydligt mindre. Med förändring i nålningsdjup eller nåltyp kan kanske den effekten minskas ytterligare. Val av areavikt på bi-komponent får också styras av användningsområde, krävs högre E-modul bör en högre andel bi-komponent tillföras under tillverkning.

Genom att förlänga livet på textilavfall och höja dess värde blir avfall en resurs. Dock tar inte omvandlingsprocessen beskriven i detta arbete hänsyn till kompositens liv efter användning. Då den återvunna textilen sammanbinds med polyester och bildar ett material innehållande bomull och tre olika polyestrar är ytterligare uppgradering av materialet svår att se.

7. KÄLLOR

- Albertsson, A-C., Edlund, U. & Odelius, K. (2011) *Polymerteknik – Makromelekylär design*. Stockholm.
- Anand, S.C., Brunnschweiler, D., Swarbrick, G. & Russell, S.J. (2007) Mechanical bonding. I Russell, S.J. (red.) *Handbook of nonwovens*. Padstow: Woodhead Publishing Limited.
- Capiati, N.J. & Porter, R.S. (1975), *The concept of one polymer composites modelled with HDPE*. J Mater Sci, 10 (10) pp. 1671–1677.
- Damberg, H. (red.) (2001). *Komposithandboken – Polymerbaserade fiberkompositer*. Klippan: Industrilitteratur.
- Fletcher, K. (2008). *Sustainable Fashion and Textiles*. Design Journeys. London: Earthscan.
- Goodfellow (u.å.) *Polyethylene terephthalate Fibre – Material Information* [Elektronisk] <http://www.goodfellow.com/E/Polyethylene-terephthalate-Fibre.html> [2013-05-10]
- Hearle, J. & Purdy, A. (1974). *The Influence of the Depth of Needle Penetration on Needled-fabric Structure and Tensile Properties*, Journal Of The Textile Institute, 65, 1, pp. 6-12.
- Hull, D. (1981). *An introduction to composite materials*. Cambridge: Cambridge University Press.
- John, M.J., Anandjiwala, R.D. & Thomas, S. (2008) *Hybrid composites (Chapter 12), Natural fibre reinforced polymer composite: macro to nanoscale*. 2008: p. 315-328.
- Kelly, A. & Tyson, W.R. (1965) *Tensile properties of fibre-reinforced metals: copper/tungsten and copper/molybdenum*, J. Mech. Phys. Solids 13 (6) 329–338.
- Kuo, C.J., Su, T. & Tsai, C. (2007) *Optimization of the needle punching process for the nonwoven fabrics with multiple quality characteristics by grey-based taguchi method*. Fibers and Polymers, vol. 8, no. 6, pp. 654-664.
- Lee, S.H. & Kang, T.J. (1998) *Mechanical and Impact Properties of Needle Punched Nonwoven Composites*. 2000, Journal of Composite Materials, vol. 34, no. 10, pp. 816-840.
- Long, A.C. (red.) (2005) *Design and manufacture of textile composites*. Padstow: Woodhead Publishing Limited.
- Lou, C., Lin, J. & Su, K. (2005) *Recycling polyester and polypropylene nonwoven selvages to produce functional sound absorption composites*. Textile Research Journal, 75, 5, pp. 390-394.
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002) *Cradle to Cradle*. Remaking the way we make things. New York: North Point Press.
- Miao, M. (2004) *An Experimental Study of the Needled Nonwoven Process Part II: Fiber Transport by Barbed Needles*. Textile Research Journal, vol. 74, no. 5, pp. 394-398.
- Montgomery, D.C. (2005). *Design and Analysis of Experiments. 6th edition*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Potter, K. (2002) *In-plane and out-of-plane deformation properties of unidirectional preimpregnated reinforcement*, Composites: Part A, Applied Science & Manufacturing, 33, 11, p. 1469.

- Rangaraj, S.S. & Bhaduri, S.B. (1994) *A modified rule-of-mixtures for prediction of tensile strengths of unidirectional fibre-reinforced composite materials*. Journal of Materials Science. 15 May 1994, Volume 29, Issue 10, pp 2795-2800.
- Tanchis, G. (2008) *The nonwovens* – Reference books of textiles technologies.
- Textilia. (u.å.) [Elektronisk] <http://www.textilia.se/> [2013-05-10]
- Tsotsis, T.K. (2009) *Interlayer toughening of composite materials*. Polymer Composites. Volume 30, Issue 1, pages 70–86, January 2009.
- Vas, L.M., Ronkay, F. & Czigány, T. (2009) *Active fiber length distribution and its application to determine the critical fiber length*. Polymer Testing, Volume 28, Issue 7, October 2009, Pages 752-759.
- Wakeman, M.D. & Månson, J-A. E. (2005) Composites manufacturing – thermoplastics. I Long, A.C. (red.) *Design and manufacture of textile composites*. Padstow: Woodhead Publishing Limited.
- Wang, Y. (1999). *Effect of consolidation method on the mechanical properties of non-woven fabric reinforced composites*. Applied Composite Materials; 6, (1), 19-34.
- Wang, Y. (2010) *Fiber and Textile Waste Utilization*. Waste and Biomass Valorization, vol. 1, no. 1, pp. 135-143.
- Watanabe, A, Miwa, M, Yokoi, T, & Merati, A (2004), *Predicting the penetrating force and number of fibers caught by a needle barb in needle punching*. Textile Research Journal, 74, 5, pp. 417-425.
- Zafiroglu, D.P. (2011) *Needlepunched nonwoven with centrally-located binder*. Patent No. US 8,025,751 B2.
- Zhang, J. M., & Peijs, T. (2010). *Self-reinforced poly(ethylene terephthalate) composites by hot consolidation of bi-component pet yarns*. Composites Part A, 964-972.
- Zou, Y., Reddy, N. & Yang, Y. (2011) *Reusing polyester/cotton blend fabrics for composites*. Composites: Part B, Engineering, 42, 4, pp. 763-770.

8. BILAGOR

Bilaga 1 – Teknisk specifikation bi-komponent



FIBER PARTNER®
WE KNOW HOW

POLYESTER - *Staple low melt*

ITEM NUMBER: 045-0004

ITEM SPEC: 4D / 51 MM LOW MELT

TYPE: Bicomponent thermal bonding fiber

GENERAL INFORMATION

This fiber has low melting point, thermoplastic and self-adhesive properties. This fiber when blending with regular polyester, wool or other fibers and making nonwovens or yarn then heat treated has characteristics of soft-touch, wash fastness, stiffness, easy care and no environment contamination.

APPLICATIONS

- Wadding
- Padding
- Quilt
- Filter Media
- Insulation Pad
- Mattress
- Die Cut Face Mask

PACKING INFORMATION

Weight / bale :
250 -310kg/bale

TECHNICAL SPECIFICATIONS

PROPERTIES	UNIT	SPECIFICATION	RANGE
Denier		4	-
Length	mm	51	-
Luster	-	Semi Dull	-
Melting Point	°C	110	-
Tenacity	g/d	3.4	±0.5
Elongation at break	%	48	±8
Hot Air Shrinkage (85°C x 15min)	%	-	≤6.5
Bonding Strength JIS L1085 Standard Kg/5cm		-	≥10

Above information is supplied by or on behalf of seller, and is based on tests and research and is believed reliable, but seller takes no responsibility whatsoever in respect of application, processing or use of the information or products. The information is for reference only, and should be regarded as approximate. The buyer accepts all responsibility in respect of application, processing or use of mentioned information or products, whose quality and properties he shall verify, or any consequence thereof.

WWW.FIBERPARTNER.COM

SALES@FIBERPARTNER.COM

Revised October 10, 2011

Bilaga 2 – Exempel på resultat från dragtest väv

Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester According to the standard ISO 13934/2-EN ISO 13934/2 Fabric traction Grab Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-2:1999(E)

Customer Code	TEXTILIA	Test Code	NÄRA KANT	Date	2013-04-15	Time	17:34:09
Sample Description						Sample Number	10
Parcel			Lot				
Material							
Examiner							
Sample Length	100 [mm]		Load cell ID/FS [kg]		5 / 500	X 1	
Clamp Speed	50 [mm/min]		Pretension		0 [N]		
Test Machine							

Observations Method: Dry sample /

Statistical Results of the Test

	Weft		Warp	
	Force [N]	Elongation [%]	Force [N]	Elongation [%]
Average Time of Breakage	43,6 [s]		17,9 [s]	
Maximum	863 (5)	43,500 (1)	1 114 (6)	16,500 (7)
Minimum	522 (3)	29,100 (5)	1 002 (9)	12,300 (10)
Average	751	36,360	1 063	14,876
Range	45,455 [%]	39,604 [%]	10,515 [%]	28,233 [%]
CV	17,813 [%]	14,959 [%]	4,505 [%]	11,358 [%]
Deviation	134	5,439	48	1,690
IC95%	117	4,767	42	1,481
IC99%	154	6,265	55	1,946

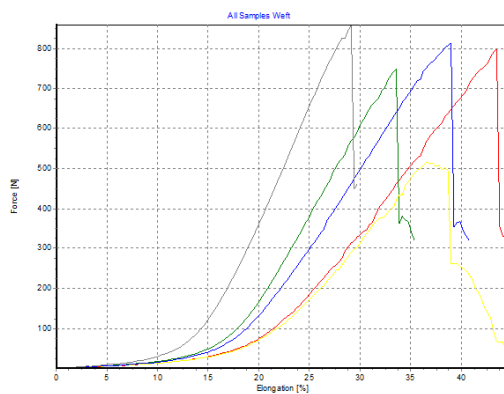
Results of Single Samples

Sample #	MaxForce [N]	MaxElongation [%]	Time [s]
1 Weft	799	43,50	52,2
2 Weft	755	33,60	40,3
3 Weft	522	36,60	43,9
4 Weft	815	39,00	46,8
5 Weft	863	29,10	34,9
6 Warp	1114	14,10	16,9
7 Warp	1060	16,50	19,8
8 Warp	1107	15,58	18,7
9 Warp	1002	15,90	19,1
10 Warp	1033	12,30	14,8

Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester According to the standard ISO 13934/2-EN ISO 13934/2 Fabric traction Grab Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-2:1999(E)

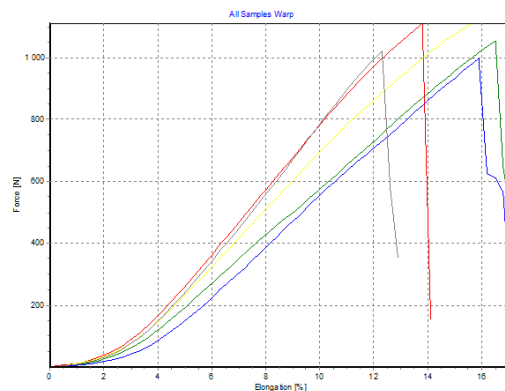
Customer Code	TEXTILIA	Test Code	NÄRA KANT	Date	2013-04-15	Time	17:34:09
Sample Description						Sample Number	10
Parcel			Lot				
Material							
Examiner							
Sample Length	100 [mm]		Load cell ID/FS [kg]		5 / 500	X 1	
Clamp Speed	50 [mm/min]		Pretension		0 [N]		
Test Machine							

Observations Method: Dry sample /



Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester According to the standard ISO 13934/2-EN ISO 13934/2 Fabric traction Grab Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-2:1999(E)

Customer Code	TEXTILIA	Test Code	NÄRA KANT	Date	2013-04-15	Time	17:34:09
Sample Description						Sample Number	10
Parcel			Lot				
Material							
Examiner							
Sample Length	100 [mm]		Load cell ID/FS [kg]		5 / 500	X 1	
Clamp Speed	50 [mm/min]		Pretension		0 [N]		
Test Machine							



Bilaga 3 – Exempel på variansanalys dragtest väv

Brottkraft

Textilia

	Varp	Väft
nära kant	1114	799
	1060	755
	1107	522
	1002	815
	1033	863
mitt på	1110	682
	1085	698
	1004	787
	1105	715
	1168	810

Anova: Two-Factor With Replication

SUMMARY	Varp	Väft	Total
<i>nära kant</i>			
Count	5	5	10
Sum	5316	3754	9070
Average	1063,2	750,8	907
Variance	2291,7	17850,2	36061,3333
<i>mitt på</i>			
Count	5	5	10
Sum	5472	3692	9164
Average	1094,4	738,4	916,4
Variance	3508,3	3212,3	38191,3778
<i>Total</i>			
Count	10	10	
Sum	10788	7446	
Average	1078,8	744,6	
Variance	2848,17778	9403,82222	

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	441,8	1	441,8	0,06578688	0,80084166	4,49399848
Columns	558448,2	1	558448,2	83,1565491	9,7535E-08	4,49399848
Interaction	2376,2	1	2376,2	0,35383155	0,56027111	4,49399848
Within	107450	16	6715,625			
Total	668716,2	19				

Bilaga 4 – Exempel på resultat dragtest komposit

Product	E-Modulus (0.05%-0.25%) MPa	Tensile MPa	Elongation %
Onålad väv			
Diagonal			
SWEREA ONVNF D	4669,054199	56,08858109	16,13999939
SWEREA ONVNF D	4796,335938	54,0972023	12,85499954
SWEREA ONVNF D	3345,26001	46,63554001	16,44000053
SWEREA ONVNF D	3985,697998	58,24052048	19,94000053
Varp			
SWEREA ONVNF Varp	3963,018066	68,09840393	6,199999809
SWEREA ONVNF Varp	3399,514893	69,92980194	7,019999981
SWEREA ONVNF Varp	3043,797119	65,48390961	6,383999825
SWEREA ONVNF Varp	3316,343994	67,22049713	6,800000191
Väft			
SWEREA ONVNF Vaft	2839,333984	58,1013031	17,67499924
SWEREA ONVNF Vaft	3971,957031	60,87799072	16,79999924
SWEREA ONVNF Vaft	3243,99292	60,90407562	17,97999954
SWEREA ONVNF Vaft	4150,779785	61,18056488	16,70000076
Nålad väv			
Diagonal			
SWEREA NVNF D	2477,811035	61,70450974	23,60000038
SWEREA NVNF D	3335,534912	64,72377014	21
SWEREA NVNF D	2920,041992	57,06223679	19,47500038
SWEREA NVNF D	2948,532959	54,67844391	20,60000038
Varp			
SWEREA NVNF Varp	3347,074951	66,65496826	9,420000076
SWEREA NVNF Varp	3609,915039	65,50248718	5,823999882
SWEREA NVNF Varp	3472,995117	68,34177399	6,159999847
SWEREA NVNF Varp	3161,404053	64,4776535	6
Väft			
SWEREA NVNF Vaft	3275,937988	53,34476089	15,92000008
SWEREA NVNF Vaft	2795,196045	54,11345673	17,52000046
SWEREA NVNF Vaft	2538,987061	53,413311	17,18000031
SWEREA NVNF Vaft	3037,926025	55,25027847	16,62000084

Bilaga 5 – Exempel på variansanalys dragtest komposit

Brottspänning

		Produkt	
		Onålad väv	Nålad väv
Testriktning	Diagonal	56,08858109	61,7045097
		54,0972023	64,7237701
		46,63554001	57,0622368
		58,24052048	54,6784439
	Varp	68,09840393	66,6549683
		69,92980194	65,5024872
		65,48390961	68,341774
		67,22049713	64,4776535
	Väft	58,1013031	53,3447609
		60,87799072	54,1134567
		60,90407562	53,413311
		61,18056488	55,2502785

Anova: Two-Factor With Replication

SUMMARY	Onålad väv	Nålad väv	Total
<i>Diagonal</i>			
Count	4	4	8
Sum	215,0618439	238,168961	453,2308
Average	53,76546097	59,5422401	56,653851
Variance	25,45628996	20,4435311	29,205974
<i>Varp</i>			
Count	4	4	8
Sum	270,7326126	264,976883	535,7095
Average	67,68315315	66,2442207	66,963687
Variance	3,423528918	2,74645722	3,2358588
<i>Väft</i>			
Count	4	4	8
Sum	241,0639343	216,121807	457,18574
Average	60,26598358	54,0304518	57,148218
Variance	2,101338243	0,78196724	12,344804
<i>Total</i>			
Count	12	12	
Sum	726,8583908	719,267651	
Average	60,57153257	59,9389709	
Variance	43,718904	33,7465948	

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	541,0148322	2	270,50742	29,53508	2,06765E-06	3,554557
Columns	2,400805704	1	2,4008057	0,26213	0,614885227	4,413873
Interaction	146,2463165	2	73,123158	7,983878	0,003294965	3,554557
Within	164,8593381	18	9,1588521			
Total	854,5212925	23				



TEXTILHÖGSKOLAN
HÖGSKOLAN I BORÅS

Besöksadress: Bryggaregatan 17 • Postadress: 501 90 Borås • Hemsida: www.textilhogskolan.se