

---

Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen  
med huvudområde Textilteknologi  
2021-06-09  
Rapport nr 2021.2.17

---

# Förbättra stickegenskaperna hos pappersgarn från svenska skogar

Jennifer Fornell och Linn Renberg Bustos

Examinator: Nawar Kadi



TEXTILHÖGSKOLAN  
HÖGSKOLAN I BORÅS



## SAMMANFATTNING

Med en värld som blir allt mer digitaliserad, där svenska skogsbruk har ett överflöd på pappersmassa. Samtidigt finns en marknad som efterfrågar textilier som ofta är negativa för både hälsa och ekosystem, finns ett behov av förändring. Ett sätt att möta problemet skulle vara att tillverka pappersgarn som skulle kunna stilla en viss efterfrågan på mer resurskrävande textila material och samtidigt hitta ett nytt användningsområde för svensk pappersmassa.

I detta arbete har en fördjupning gjorts i pappersgarn med ett mål att optimera det svenska pappersgarnets karaktär och göra det mer stickbart. Till en början i arbetet har fyra olika pappersgarn analyserats i FTIR spektrometer, för att undersöka om det existerar en skillnad i materialnehåll mellan dessa pappersgarner. Resultatet visade på att samtliga fyra garner var tillverkade av enbart cellulosa, men att det inte går att utesluta olika typer av cellulosablandningar. Efter analys fortsatte arbetet med två svenska pappersgarner med syfte att reducera friktionen mellan garn och nål. Dessa två garner impregnerades med kemikalierna fatty acid polyether glycols ester, mono-/dialkyphosphate och dispersion wax i en *Mathis foulard* med trycket 3- respektive 5 bar. Där den andra impregneringen resulterade i fyra impregnerade pappersgarn. Efter impregnering och fixering räknades viktökningen i procent.

Efter impregneringen analyserades pappersgarnernas ytstruktur i ett mikroskop. Det syntes tydligt att garnerna fått en förändrad yta efter impregnering, vilket påverkade fortsatt analys. Efter analysen i mikroskopet utfördes friktionstest på pappersgarnerna för att se om impregneringen förändrat friktionskoefficienten i garnerna. Ett specialutformat test utfördes där friktionskoefficienten räknades ut med hjälp av data som registrerades. Här visade resultaten på att det tunnare garnet med 3 bar hade den högsta friktionskoefficienten på ca 0,309 och lägst friktionskoefficient hade 5 bar på ca 0,299. Dessa jämfördes mot tunt ej impregnerat garn med en friktionskoefficient på ca 0,300. Det tjockare garnet visade på ett slätare garn med växande friktionskoefficient. Det tjockare garnet som hade utsatts för 5 bar tryck visade på en yta där pappersgarnet hade börjat att lösa upp sig, vilket kunde vara förklaringen till den växande friktionskoefficienten. Vid analys av pappersgarnets stickbarhet i det sista momentet visade det sig att det tunnare garnet med 3 bar var svårstickat och bildade stickfel och hål i varan, detta misstänks bero på hårrigheten och den kladdiga yta som lämnades efter impregneringen. Medan det tunnare garnet med 5 bar resulterade i en vara som var lättade att sticka utan stickfel med en mindre kladdig yta, som påvisar att den mekaniska bearbetningen som gav en lägre mängd impregnering resulterar i en sänkt friktionskoefficient.

Det är viktigt att skogsbruk sker på ett hållbart sätt. Om det sker och en positiv utveckling görs för det svenska pappersgarnet, kan det så småningom nå en bredare marknad.

## ABSTRACT

In a world that is becoming increasingly more digital we see patterns of the Swedish forestry having an overflow of pulp, and a market demanding textile that are negative for both our health and our ecosystem. There's a clear need for change. One way to tackle this issue could potentially be to produce paper yarn that could act as a replacement rather than more resource-intensive textile materials and at the same time find a new area of use for Swedish pulp from the paper industry.

In this project, a study has been made of paper yarn with the aim of optimizing the surface properties of Swedish paper yarn and by that increase the knittability of the yarn. At first four different paper yarns were analyzed in FTIR spectrometers, to investigate whether there were a difference in material content between the paper yarns. The results showed that all four paper yarns were made from only cellulose, and that it is not possible to identify different types of cellulose mixtures by the chosen method. After analysis, the project continued on with the Swedish paper yarns, one thinner and a thicker one. The aim was to reduce the friction between yarn and needle. The two paper yarns were impregnated with the chosen chemical's fatty acid polyether glycols ester, mono-/dialkylphosphate and dispersion wax in a *Mathis foulard* with a pressure of 3 or 5 bar each. Results from the second impregnation resulted in four different impregnated paper yarns.

Further, the paper yarn surface and structure were analyzed under a microscope. Conclusions could be made that the paper yarns after impregnation showed a surface with a hairier appearance, which affected further analysis. Friction tests were performed on the paper yarns with the aim to see if the impregnation had changed the coefficient of friction. The test was performed in the tensile tests and the coefficient of friction was calculated using data recorded in the test. The results showed that the thinner yarn with 3 bar had a higher coefficient of friction with the value of 0,309 than compared with the 5 bar with 0,299. The thin yarn with 5 bar resulted in a slightly decreased coefficient in comparison with the unimpregnated yarn with 0,300. The thicker yarn resulted in increasing the coefficient of friction, where the thicker yarn with 5 bar pressure showed a surface where the paper yarn had begun to dissolve, which could be the explanation for the growing coefficient of friction.

When analyzing the knittability of the paper yarn, it turned out that the thinner yarn with 3 bar was difficult to knit, which resulted in defects in the product, this due to the hairiness and the sticky surface that was left after the impregnation. The thinner yarn with 5 bar resulted in a product that was easier to knit without defects, which shows that a lower impregnated yarn result in a lower friction coefficient.

It's important to maintain a sustainable forestry. If so and if further progress will success for the Swedish paper yarn, there are good hopes for a larger market.

## SAMMANFATTNING – POPULÄRVERSION

Textilkedjan kan också ofta vara väldigt komplex, vilket bidrar till stora utmaningar när det gäller till exempel spårbarhet längs produktionen. I jämförelse med för 30 år sedan har det blivit vanligare att läsa tidningar och betala räkningar via internet. Detta har gjort att många svenska pappersbruk svårt att få användning för sina produkter. Den koldioxid som träden tar upp bidrar till en minskning av Sveriges klimatbelastning med omkring 40 miljoner ton utsläpp av koldioxid per år. Om kol får stanna kvar i marken och träden används till nya produkter, som till exempel textil kommer koldioxiden att lagras under en ytterligare tid.

Svenskt pappersgarn har hög styrka, bra formstabilitet och noppar ej. Dessvärre så är det i dagsläget ett material som är hårt, styvt och svårt att sticka med. Det är heller inte bekvämt att ha nära huden, vilket blir ett problem om det så småningom ska gå att producera svenskt pappersgarn mot konfektionsindustrin.

Syftet med studien var att först analysera material innehållet mellan olika pappersgarn på marknaden för att utesluta eventuella materialblandningar. Garnerna som analyserades var ifrån Tyskland, Japan och Sverige. Sedan ämnade studien att undersöka stickbarheten hos pappersgarn, tillverkat från svenskt pappersbruk med ett fokus på att minska friktionen mellan garn och nål med kemikalierna fatty acid polyether glycols ester, mono-/dialkyphosphate och dispersion wax. Det svenska pappersgarnet impregnerades i två tjocklekar, ett tunnare garn och ett tjockare garn. Dessa garner impregnerades med två olika tryck och analyserades därefter med hjälp av mikroskop och en specialdesignad rigg i en dragprovare.

Efter arbetet kunde det konstateras att en impregnering av pappersgarn med kemikalierna förbättrar friktionen mellan pappersgarn och nål vid viss mängd impregnering. Det resulterade i ett positivt resultat för det tunnare garnet som utsattes för ett högre tryck, eftersom målet med arbetet var att sänka friktionskoefficienten med hjälp av impregnering och mekanisk bearbetning. Detta bekräftades även av stickningen där varan behandlad med lägre tryck fick stickfel, medan varan med högre tryck vid impregnering blev en slätare och var intakt. Det tjockare garnet följde ett motsatt mönster där ett högre tryck ledde till en växande friktionskoefficient.

Om pappersgarn får nå en bredare marknad skapas nya arbetsmöjligheter för papperstillverkare. Samtidigt kan det svenska pappersgarnet också bli ett alternativ till andra dominerande och resurskrävande textila fibrer som idag finns på marknaden.

## FÖRORD

Detta examensarbete är utfört som avslutande moment av textilingenjörns programmet på kandidatnivå, vid Textilhögskolan i Borås. Arbetet handledts av Felicia Syrén och Joel Peterson. I en utmanande situation med en pandemi och dess restriktioner har anpassningar, ombokningar och digitala möten varit en stor del för oss alla. Vi vill börja med att tacka den tålmodiga och hjälpsamma personalen på Textilhögskolan som bidragit till hjälpsamma råd och tankar under arbetets gång. Vi vill tacka den före detta studenten Gabriella Andersson Drugge för hjälp och vägledning med montering och användning av utrustning. Ett tack även till Per Augustsson på Algols Chemicals för tydlig och pedagogisk information om valda kemikalier. Vi vill ge ett extra tack till Felicia Syrén och Joel Peterson för en betydelsefull hjälp och handledning. Slutligen vill projektgruppen även tacka varandra för ett gott samarbete och stöttande under projektets gång.



Jennifer Fornell

Juni 2021



Linn Renberg Bustos

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|  |            |
|--|------------|
| <b>SAMMANFATTNING</b>  | <b>I</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>II</b>  |
| <b>SAMMANFATTNING – POPULÄRVERSION</b>                           | <b>III</b> |
| <b>FÖRORD</b>  | <b>IV</b>  |
| <b>TABELL OCH FIGURFÖRTECKNING</b>                               | <b>VII</b> |
| <b>1. INTRODUKTION</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 TIDIGARE ARBETEN   | 1          |
| 1.2 MILJÖFRÅGOR OCH UTMANINGAR                                   | 2          |
| 1.3 SYFTE  | 3          |
| 1.4 FORSKNINGSFRÅGA  | 3          |
| 1.5 AVGRÄNSNINGAR  | 4          |
| <b>2. TEORI INFÖR ARBETE</b>                                     | <b>5</b>   |
| 2.1 PAPPER   | 5          |
| 2.1.1 <i>papperstextil och garn</i>                              | 6          |
| 2.2 STICKBARHET  | 6          |
| 2.3 KEMIKALIER OCH KEMISKA BEHANDLINGAR                          | 7          |
| 2.3.1 <i>kemikalier med antistatisk effekt</i>                   | 8          |
| 2.3.2 <i>kemikalier med mjukgörande och smörjande egenskaper</i> | 8          |
| <b>3. MATERIAL OCH METODER</b>                                   | <b>9</b>   |
| 3.1 PAPPERSGARNER  | 9          |
| 3.1.1 <i>japan</i>   | 10         |
| 3.1.2 <i>tyskland</i>  | 10         |
| 3.1.3 <i>sverige</i>   | 10         |
| 3.2 UTFÖRDA TESTER   | 11         |
| 3.2.1 <i>analys med ftir spektrometer</i>                        | 11         |
| 3.2.2 <i>impregnering av garn</i>                                | 13         |
| 3.2.3 <i>analys i mikroskop</i>                                  | 16         |
| 3.2.4 <i>friktionstest för garn</i>                              | 16         |
| 3.2.5 <i>stickbarhet</i>   | 17         |
| <b>4. RESULTAT</b>   | <b>19</b>  |
| 4.1 UTFALL AV TESTER   | 19         |
| 4.1.1 <i>resultat från analys av ftir spektrometer</i>           | 19         |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1.2 impregnering av garn             | 19        |
| 4.1.3 resultat från analys i mikroskop | 25        |
| 4.1.4 friktionstest för garn           | 26        |
| 4.1.5 stickprover                      | 27        |
| <b>5. DISKUSSION</b>                   | <b>29</b> |
| 5.1 PAPPERSGARNERNAS INNEHÅLL          | 29        |
| 5.2 BEHANDLINGAR                       | 29        |
| 5.3 EGENSKAPER                         | 30        |
| 5.4 FORSKNINGSFRÅGOR                   | 32        |
| 5.5 HÅLLBARHET                         | 33        |
| <b>6. SLUTSATS</b>                     | <b>35</b> |
| <b>7. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE</b> | <b>37</b> |
| <b>8. REFERENSER</b>                   | <b>38</b> |
| <b>BILAGA 1</b>                        | <b>41</b> |

# TABELL OCH FIGURFÖRTECKNING

|   |    |
|---|----|
| FIGUR 1. CELLULOSANS KEMISKA UPPBYGGNAD. (GUPTA 2008)                   | 5  |
| FIGUR 2. BILD PÅ SAMTLIGA PAPPERSGARNER I DENNA STUDIE.                 | 9  |
| FIGUR 3. DE SVENSKA PAPPERSGARNERNA UPPRULLADE.                         | 11 |
| FIGUR 4. FTIR SPEKTROMETER NICOLETTE SI10.                              | 12 |
| FIGUR 5. FOULAR MATHIS.   | 14 |
| FIGUR 6. BILD PÅ HUR GARNET FÄRDADES UNDER IMPREGNERING.                | 15 |
| FIGUR 7. FRIKTIONSRIGG PLACERAD I DRAGPROVEN MED MONTERAD PROVKROPP.    | 17 |
| FIGUR 8. SINGLE JERSEY INTERLOCK.                                       | 18 |
| FIGUR 9. FTIR SPEKTRA FÖR JÄMFÖRELSE AV JP, TP, SP1 OCH SP2.            | 19 |
| FIGUR 10. STICKAD PROVKROPP AV FÖRSTA IMPREGNERING.                     | 20 |
| FIGUR 11. KONOR AV PAPPERSGARNET SP1.                                   | 22 |
| FIGUR 12. KONOR AV PAPPERSGARNET SP2.                                   | 23 |
| FIGUR 13. MIKROSKOPFOTON AV SP1.  | 25 |
| FIGUR 14. MIKROSKOP FOTON AV SP2.                                       | 25 |
| FIGUR 15. STICKADE PROVER AV SP1.                                       | 27 |
| FIGUR 16. STICK FEL I PROVBIT AV SP1 MED 3 BAR.                         | 28 |
| <br>  |    |
| TABELL 1. BESKRIVNING ÖVER KEMIKALIER OCH EGENSKAPER I IMPREGNERING.    | 13 |
| TABELL 2. RECEPT PÅ IMPREGNERING.                                       | 14 |
| TABELL 3. REFERENS PROV I UPPTAG FÖR EN METER I VIKT MED SP1.           | 20 |
| TABELL 4. TABELL ÖVER VIKTER PÅ PAPPERSGARNER EFTER IMPREGNERING.       | 21 |
| TABELL 5. MEDELVIKT 1 M EFTER IMPREGNERING.                             | 23 |
| TABELL 6. UTRÄKNING AV PROCENTUELLT UPPTAG WT%.                         | 24 |
| TABELL 7. SAMMANFATTNING AV FRIKTIONSKOEFFICIENTER EFTER FRIKTIONSTEST. | 26 |
| TABELL 8. ANOVA TABELL ÖVER FRIKTIONSKOEFFICIENTEN.                     | 27 |
| <br>  |    |
| DIAGRAM 1. FÖRÄNDRING AV VIKT I IMPREGNERING FÖR SP1.                   | 21 |
| DIAGRAM 2. FÖRÄNDRING AV VIKT I IMPREGNERING FÖR SP2.                   | 22 |
| DIAGRAM 3. DIAGRAM ÖVER DTEX FÖR SP1 OCH SP2.                           | 24 |
| DIAGRAM 4. MEDELVÄRDE FÖR SAMTLIGA FRIKTIONSKOEFFICIENTER.              | 26 |



# 1. INTRODUKTION

Sättet som textilier konsumeras idag skapar många problem. Inte minst genom den mängd resurser och råvaror som används. Produktionen och handeln är en viktig del i samhället eftersom den stödjer försörjningen för många, men riskerna det medför för hälsa och ekosystemet är idag negativa och det behövs en omställning i vilka material som används och i vilken mängd. Textilkedjan kan också ofta vara komplex och ogenomskinlig, vilket bidrar till stora utmaningar när det gäller möjligheten till spårbarhet längs tillverkningskedjan. (Textile Exchange 2020)

Sverige är ett litet land där ekonomin till stor del bygger på export. Det råder en utmaning i en global konkurrens där många produkter istället tillverkas i låglöneländer av fossilbaserade råvaror och ofta med miljöbelastande metoder (Edström 2013). Samt att i jämförelse med för 30 år sedan har det blivit allt vanligare att läsa tidningar och betala räkningar via internet. Detta har gjort att många svenska pappersbruk har det svårt att få användning för sina produkter såsom tryckpapper (Eckard & Hjälml 2015). Efterfrågan på tryckpapper har under den senaste året minskat med 24% i de nordiska länderna, vilket lett till att pappersbruk bara utnyttjat 70% av sin totala produktionskapacitet (Freij 2020). Denna förlust har lett till att pappersbruk i mindre orter läggs ner och tusentals personer mister arbete och inkomst som följd (Freij 2020).

Denna studie syftar till att undersöka stickbarheten hos pappersgarn, tillverkat från svenskt pappersbruk, i hopp om att svenskt pappersgarn inom en snar framtid kan komma att nå en bredare marknad. Genom att koldioxid som bundits i skogsråvaran överförs till nya textila produkter, kan skogsindustrin tillsammans med textil- och modebranschen bidra till att motverka de negativa klimatförändringarna. Samtidigt som ett förändrat råvaruflöde bidrar till ökad resurshållning. (Edström 2013)

## 1.1 TIDIGARE ARBETEN

Forskningen om pappersgarn är pågående och ett relativt nytt område och därför finns det begränsat med underlag. En tidigare studie har undersökt tillverkningen av pappersgarn genom att tvinna pappersremсор i olika bredd genom vikning och vridning. Analys av de mekaniska egenskaperna genomfördes och slutsatser om en god potentiell framtid hos pappersgarn konstaterades. (Chummun & Rosunee 2012)

Det har under en tid pågått forskning och examensarbeten på Textilhögskolan i Borås om pappersgarn. Tidigare studier har undersökt och jämfört pappersgarnets mekaniska egenskaper med bomull och viskos. Det visade sig att pappersgarn erhöLL hög styrka, bra formstabilitet efter tvätt samt högre färgäkthet än bomull och viskos. (Peterson, Hjelm, Eckard & Morikawa 2016)

Studier visar även på att det inte råder någon noppbildning, vilket är lovande egenskaper för textil- och klädindustrin. Vad som dock inte är lika älskvärt är dess känsla eftersom det upplevs som ett strävt och obekvämt material mot kroppen. Pappersgarnets egenskaper påverkar även stickbarheten negativt i dagsläget då den inte är optimal. (Peterson, Eckard, Hjelm & Morikawa 2019)

I ett samarbete mellan Smart Textiles, Mimcord och Högskolan i Borås, pågår ett forskningsprojekt med syfte att vidareutveckla pappersgarn från svenska skogar. Pappersgarn har använts till att producera textilier sedan 1600-talet i Japan och kommer främst ifrån abacá trädet, även kallat manillahampa. Forskningsprojektet ser potentialen i att utveckla det svenska pappersgarnet som istället kommer ifrån svensk barrved.

Ett arbete med syftet att få ett mer flexibelt och mjukt pappersgarn har utvecklats av Syrén, Peterson och Kadi (2021) i en opublicerad artikel *Improving the flexibility of paper yarn fabric produced from Swedish forests*, där pappersgarnet behandlats med en kemisk impregnering i en foulard. Även en mekanisk metod har tidigare utförts som ett examensarbete av Vasell och Ronkainen (2017), *Mekanisk mjukgörning av pappersgarn: En studie om smärgling av pappersgarn samt behandlingens påverkan på de taktila egenskaperna*. Denna studie gick ut på att öka antalet utstickande fiberändor med hjälp av smärgling av denim väv, i syfte att få en mjukare denimväv.

## 1.2 MILJÖFRÅGOR OCH UTMANINGAR

De tre hållbarhetsdimensionerna: ekologisk, social och ekonomisk är beroende av varandra och de behövs tillsammans för att skapa balans. Ekologisk hållbarhet är beroende av ekonomisk hållbarhet som är grunden för social hållbarhet. I takt med att kunskapen om vårt ekologiska fotavtryck växer, läggs mer och mer resurser på miljövårdande insatser och forskning kring hållbart skogsbruk. Skogen får till exempel idag inte avverkas mer än vad mångfalden tål och det finns särskilda regler för hur, var och när brukningen får ske. (Brun 2021)

I en forsknings- och innovationsagenda mellan företag, institut och universitet nämns en vision om att den svenska skogsindustrin, tillsammans med textil- och modebranschen skall kunna utgöra en ledande roll i den svenska omställningen till en biobaserad samhällsekonomi år 2035. Citerat ur texten skrivs det att *”Omställningen till en biobaserad samhällsekonomi innebär en övergång från en ekonomi som till stor del baseras på fossila råvaror till en resurseffektivare ekonomi grundad på förnybara råvaror producerade genom ett hållbart brukande av ekosystemtjänster från mark och vatten.”* (Edström 2013)

Under ett trädets livstid är fotosyntesen närvarande från början till slut. Den solenergi och koldioxid som trädet tar upp omvandlas till druvsocker och syre och sedan vidare till cellulosa, som växer med trädet. Den koldioxid som träden tar upp bidrar till en minskning av Sveriges klimatbelastning med omkring 40 miljoner ton utsläpp av koldioxid per år. Om kol och olja får stanna kvar i marken och trädet får användas till nya produkter som till exempel textilier, kommer vi att lagra koldioxiden under en ytterligare tid. Ett till skäl till att använda träd, är att när trädet blir gammalt så minskar upptaget av koldioxid och väl vid förmultningsprocessen så slutar trädet helt att lagra koldioxid, som istället frigörs. (Holmgren 2019)

Viktiga faktorer vid textiltillagring och är friktion och böjningsbeteende mellan garn och maskindelar. Exempel på detta är friktionen som uppstår mellan garn och nål vid stickning. Av praktisk erfarenhet har det insetts att det är svårt att sticka med ett garn som inte har rätt friktionsegenskaper och som är styvt och därför svårt att böja. (Peterson & Vegborn 2009)

Det svenska pappersgarnet är ett lovande material att vidareutveckla mot en större marknad men som idag bär med sig en del utmaningar när det gäller flexibilitet. Det blir ett hårt och styvt garn som är svårt att sticka eller väva. Pappersgarnet är inte heller bekvämt att ha nära huden, vilket blir problematiskt eftersom en strävan finns att så småningom kunna producera pappersgarn till konfektionsindustrin. (Syrén, Kadi & Peterson 2021)

### 1.3 SYFTE

Denna studie ämnar ta nästa steg och vidareutveckla papperstextil från svenska skogar för att undersöka hur fibern kan göras mer behändig vid stickning. Detta ska uppnås med hjälp av litteraturen som ligger för grund till arbetet, det laborativa arbetet tillsammans med den spetskompetens som finns inom Textilhögskolans vägar.

Under arbetets gång kommer skillnaden mellan pappersgarn från leverantörer i Tyskland, Japan och Sverige skall analyseras med hjälp av FTIR-spektrometri för att jämföra pappersgarnernas materialnehåll. Studien ämnar lägga fokus på en processoptimering för de svenska pappersgarnerna. Där en impregnering genomförs med syfte att sänka friktionskoefficienten mellan garn och nål i förhoppning om att öka stickbarheten. Garnet kommer under arbetet analyseras i mikroskop, utsätts för ett specialutformat friktionstest och slutligen stickas.

### 1.4 FORSKNINGSPRÅG

För att angripa syftet på ett konkret och tydligt sätt så kommer följande punkter att studeras:

1. Hur skiljer sig pappersgarn från olika länder vid analys av dess ingående kemi?
2. Hur påverkas pappersgarnets friktion mellan garn och nål av impregneringen?
3. Hur förändras stickbarheten efter impregneringen?

## 1.5 AVGRÄNSNINGAR

Studien kommer enbart att analysera pappersgarner ifrån leverantörer i Japan, Sverige och Tyskland i dess innehåll av material, för att sedan enbart arbeta vidare med de svenska pappersgarnerna. Studien är begränsad till att impregnera en typ av pappersgarn med två olika diameter från svenska skogar. Impregneringen kommer enbart att göras med utvalda kemikalier.

Test av det svenska pappersgarnets mekaniska egenskaper kommer enbart att beröra friktionskoefficienten där utrustningen är begränsad till den utrustning som tillhandahållits av Textilhögskolan i Borås. Studien kommer enbart att begränsas till att undersöka hur stickbarheten påverkas genom impregnering av pappersgarnets yta med utvalda kemikalier, och kommer därmed inte att undersöka eventuella förbättringsmetoder innan pappret vrids till ett garn. Studien kommer även begränsas till att enbart beröra stickbarhet där fokusen kommer att vara mot friktion mellan garn och nål.

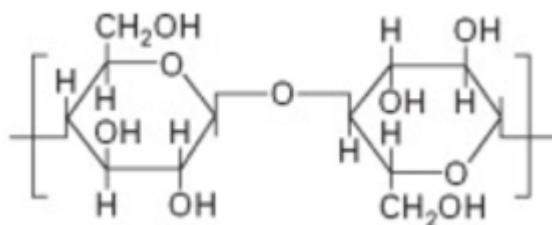
## 2. TEORI INFÖR ARBETE

Eftersom forskning om pappersgarn är pågående och ett relativt nytt område finns det begränsat med underlag. Detta arbete har till stor del baserats på tidigare examens- och forskningsarbeten om pappersgarn som tillhandahållits från professor Nawar Kadi och Joel Peterson, vissa ej ännu publicerade. Från dessa rapporter och examensarbeten användes en stor del material som grund för arbetet samt att referenslistan i dessa arbeten granskats via sökmotorn Diva portal och på Högskolan i Borås bibliotek och ligger som ytterligare underlag för denna rapport. Fåtalet referenser hittades via sökmotorer som Högskolan i Borås Diva-portal där sökordet var "pappersgarn" samt "paper yarn". Ytterligare sökningar gjordes i Scopus samt Textile Technology Complete utan relevant resultat. Sökord som användes var "paper yarn" med avgränsningar i "peer reviewed" och åren "2000-2021" eftersom granskad och aktuell information önskades.

### 2.1 PAPPER

Pappers kemiska innehåll och sammansättning beror på den behandling som träet har genomgått vid tillverkning av pappersmassa. Kompositionen kan variera men träet som används innehåller främst cellulosa, hemicellulosa och lignin. Cellulosa är den primära strukturella komponenten av trädets vikt. I allmänhet minskar andelen lignin och hemicellulosa vid tillverkning av pappersmassa och cellulosa blir då den primära komponenten i papper. (Roberts 1996)

Den kemiska strukturen för cellulosa kan ses i Figur 1. Varje repetition innehåller tre hydroxyl-grupper som binder till närliggande kedjor med hjälp av vätebindningar. Grupperna sammanfogas av syre som bidrar till cellulosans förmåga att röra sig och vara flexibel. De polymera kedjorna är relativt långa och är ungefär 66% kristallina. (Gupta 2008)



FIGUR 1. CELLULOSANS KEMISKA UPPBYGGNAD. (GUPTA 2008)

Eftersom hydroxyl-grupperna i papper gör varan hydrofil behövs tillsatser adderas i pappersmassan för att göra pappret resistent mot väta samt för att minska tillverkningskostnader och energiförbrukning (Cao, Song, Deng & Ragauskas 2011).

Denna bulk och fyllnadsmassa består ofta av kemikalier som antingen läggs i massan eller som ett yttre lager på pappret. Detta görs främst för att förhindra att fukt sprider sig i papprets porer obehindrat samt att de modifierar uppsugningsförmågan till önskad effektivitet hos pappret, för tex tryck och upptagningsförmåga av färg. Vanliga tillsatser i papperstillverkning är bland annat vaxet Akyl Ketene Dimer (AKD), kalciumkarbonat och Rosin (Melani, Park & Kim 2020; Cao, Song, Deng & Ragauskas 2011). Beroende på pH värde under papperstillverkningen anpassas kemikalierna därefter. Rosin används vid tillverkning med syrligt badförhållande medan ADK används vid papperstillverkning med basiskt badförhållande. Vid tillverkningen sker därefter en hydrolys under en viss temperatur med kemikalierna, och pappersmassan får önskade egenskaper. (Melani, Park & Kim 2020)

### 2.1.1 PAPPERSTEXTIL OCH GARN

Garn och textil tillverkat av papper har en lång historia, daterat tillbaka så långt som till 1600 talet Japan, där det fanns en utbredd kultur och tradition i att tillverka traditionella kostymer av papper. Pappret tillverkades av barken på manillaträdet, även kallat Abacá, som på ett traditionellt vis revs sönder och bildade tunna pappersark som i Japan kallas *Washi*. Av *Washi* tillverkades främst kostymer kallade *Shifu*, där *Shi* betyder papper och *fu* betyder tyg eller väv. Pappersgarnet veks och därefter tvinnades för hand eller med hjälp av en variant av spinnrock, till ett styvt kompakt garn som senare vävdes till tyg. Tygerna syddes sedan ihop till traditionella *Shifu* som användes under århundraden av flera olika sociala klasser. (Leitner 2005)

Papper som textil var inte lika utbrett i västvärlden som i Japan, men hade sin storhetstid under industrialismen och 1800 talet. I västvärlden tillverkades papperstextilier av trä och var industriellt tillverkat, vilket gav pappers textilen en hård och styv karaktär och var helt olik den från Japan. Under denna period tillverkades papperstextilier främst som ett utbytbar och billigt material som enkelt gick att slänga. Det gjordes sällan hela plagg av papperstextilierna, utan istället producerades utbytbara delar såsom kragar och manschetter, underkläder, accessoarer och lakan. På senare tid förekommer papperstextiler främst inom möbelindustrin, inredning och textilkonst. (Leitner 2005)

## 2.2 STICKBARHET

Många studier tyder på att pappersgarn är ett styvt och grovt material. Det finns maskiner som lämpar sig olika bra för olika ändamål, i detta avseende är det av vikt att välja en stickmaskin som klarar av ett grövre och styvare garn (Eckard & Hjälms 2015). Garnnummer, Nm, används för att uttrycka massan per längdenhet och har ett direkt inflytande på vikten och dimensionsstabiliteten. Valet av garnnummer är också avgörande för valet av stickmaskin och kvalitet på tyget. (Au 2011)

När två material gnider mot varandra har ytstrukturen en viktig roll i hur friktionen påverkas. Friktionen är viktig i det textila området eftersom det är den kraft som håller samman fibrerna i ett garn, men är även den kraft som påverkar garnets stickbarhet. Interaktionen mellan garn och nål under stickprocessen påverkas av statisk friktion som uppkommer när nålarna drar in garnet i maskinen, och en kinetisk friktion uppkommer när garnet glider igenom nålarna och släpps efter. Båda faktorerna har en avgörande betydelse för slutresultatet. (Peterson & Vegborn 2009)

Ytstrukturen hos en fiber påverkar också friktionen på ett sätt som inte bara är viktigt för stickbarheten utan också för känslan, då det är mer uppskattat att till exempel bära ett plagg som är mer följsamt. (Morton & Hearle 2008)

Förhållandet mellan friktionskraften och normalkraften kallas för friktionskoefficienten vilket är en konstant. Det finns dock studier som visar att textila fibrer och textilier inte har en konstant friktionskoefficient. Trots detta är det ändå värdefullt att kunna uppskatta på ett ungefär var fibrerna befinner sig på skalan även om det krävs mer forskning inom området. (Morton & Hearle 2008)

Även om friktionen är av stor vikt, finns ytterligare faktorer som påverkar stickbarheten i ett garn. Elasticitet är ett exempel på en annan faktor, där ett mer elastiskt garn är lättare att sticka än ett mindre elastiskt. När det stickas med ett mer elastiskt garn så uppstår färre stickningsfel såsom hål. Tillexempel är ull en fiber som är lättare att sticka än bomull på grund av sina elastiska egenskaper. (Au 2011)

### 2.3 KEMIKALIER OCH KEMISKA BEHANDLINGAR

Olika kemikalier har olika egenskaper, de kan förbättra känslan i materialet, såsom jämnhet, mjukhet och styvhet men även förbättra prestationen hos materialet och göra den mer dimension stabil, starkare eller slittåligare. Dessa egenskaper kan uppnås genom olika typer av tillsatser i slutberedningen innan garnet går vidare mot maskinell bearbetning. (Ajayi 2008)

Genom att tillsätta kemikalier med mjukgörande och/eller smörjande egenskaper på garn och fibrer. Detta ger materialet en glattare yta som vid maskinell bearbetning överförs och smörjer maskinen vid bearbetning, vilket skyddar både garn och maskinutrustning från att slitas och gå sönder under tillverkningsprocesser. En kombination av olika kemikalier kan varieras för att få de egenskaper som är eftersträvande för aktuella material och maskiner (Stepanova 2016).

Effektiviteten som kemikalier har under maskinell bearbetning av fiber och garn i senare skede, beror på många faktorer som är väldigt viktiga under impregneringen av materialet, vissa även avgörande för att få ett gott resultat. Där viktiga aspekter är kvaliteten på kemikalierna som används, utrusningen vid impregnering samt de förhållanden som materialet möter under behandlingen. (Stepanova 2016)

### *2.3.1 KEMIKALIER MED ANTISTATISK EFFEKT*

Statisk elektricitet genererad av friktion, orsakar betydande svårigheter vid mekanisk bearbetning av textilier. Vid behandling med kemikalier som har antistatiska egenskaper, ökar fiberns konduktivitet vid dess yta och samtidigt reduceras friktionskoefficienten mellan garn och nål. De medel som används för att minska statisk elektricitet har en hydrofil karaktär och består huvudsakligen av polyglykoler eller jonföreningar. (Mather & Wardman 2011)

### *2.3.2 KEMIKALIER MED MJUKGÖRANDE OCH SMÖRJANDE EGENSKAPER*

Kemikalier med mjukgörande egenskaper används främst för att göra fibrer och garn mjukare och behagligare att känna på, vanliga kemikalier som används på textilier är silikoner och fett syror. Att få en mjukare vara är önskvärt ut användarsynpunkt, men att endast använda kemikalier med mjukgörande egenskaper för att uppnå en mjukare vara kan i vissa fall öka friktionskoefficienten hos materialet. Det kräver därför ofta att ytterligare kemiska tillsatser används för att inte riskera slitage eller garnbrott vid maskinell bearbetning. (Ajayi 2008)

Kemikalier med smörjande egenskaper används främst för att sänka den statiska och kinetiska friktionen hos ett material samtidigt som den ger en mjukare handlag och en ökad flexibilitet. Vanligt förekommande kemikalier är polyetylenglykol (PEG) som läggs som en film över fiber och garn för att sänka friktionen. PEG binder även kondenserad fukt i materialet vilket ger en antistatisk effekt till materialet. (Ajayi 2008)

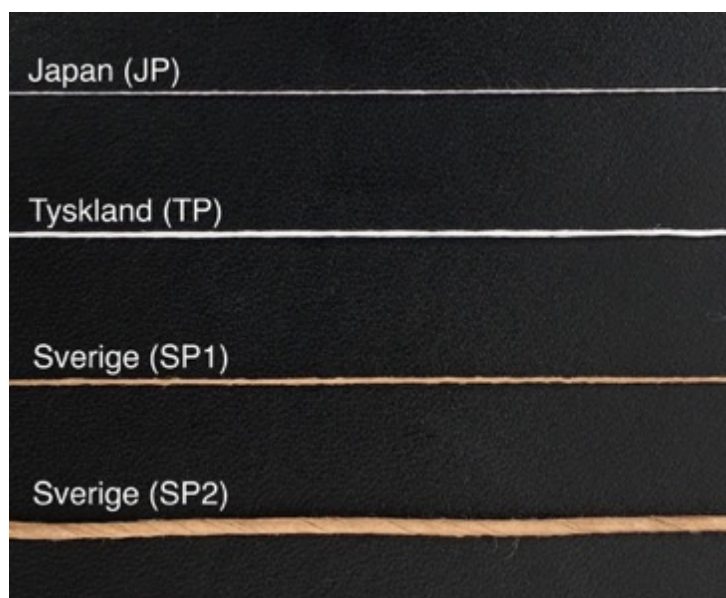
Dessa kemikalier med mjukgörande och smörjande egenskaper kombineras ofta eftersom de väger upp bättre och mindre bra egenskaper för att uppnå en optimal vara.

### 3. MATERIAL OCH METODER

Eftersom detta arbete baseras på en tidigare forskning utförd av Syrén, Peterson samt Kadi (2021) i en ej ännu publicerad artikel, *Improving the flexibility of paper yarn fabric produced from Swedish forests*, ligger stor grund för detta arbete i denna rapport. Det är utifrån denna rapport som grund idén för arbetsgången till laborationerna är hämtad, kemikalierna samt receptet som används för att behandla pappersgarnerna. Av denna information har därefter beslut fattats om att testa resultatet med friktionstest utformad av Peterson och Vegborn (2009) uppsats *Development of a pre-knitting friction test method and study of friction and bending of yarns with high stiffness*.

#### 3.1 PAPPERSGARNER

I denna rapport kommer pappersgarnerna namnges efter tillverkningsland såsom Japan, Tyskland och Sverige. Det finns två svenska pappersgarn med olika tjocklekar, dessa kommer nämnas som svenskt pappersgarn tunn (SP1) samt svenskt pappersgarn tjock (SP2), detta då dessa pappersgarn kommer vara en stor del av rapporten. Det japanska pappersgarnet kommer benämnas (JP) och det tyska pappersgarnet för (TP). I Figur 2 kan samtliga pappersgarn skåda bredvid varandra.



FIGUR 2. BILD PÅ SAMTLIGA PAPPERSGARNER I DENNA STUDIE.

För att fastställa Nm nummer på de svenska pappersgarnerna har de mätts upp till bitar på fem meter i tre omgångar, och vägda under samma förhållanden. Därefter har ett genomsnitt sammanställts för att få fram metervikten på pappersgarnet, för

att kunna fastställa pappersgarnernas Nm nummer. Nm numret beräknas enligt ekvation 1,

$$\frac{\text{Längd (m)}}{\text{Vikt (g)}} = Nm \quad (\text{Ekvation 1})$$

### 3.1.1 JAPAN

Det japanska pappersgarnet är tillverkat av företaget Oji Fiber, vilket är ett känt företag som tillverkar pappersgarn enligt japansk tradition och teknik från manillaträ. Oji tillverkar pappersgarn till konfektionsindustrin, hemtextilier samt till engångsartiklar, och i deras utbud finns garn av 100% papper men även blandningar med ull och syntet som går under produktnamnet OJO+ (Oji Fiber Co., Ltd 2017a). Pappersgarnet av Oji Fibers tillverkas av manillaträ genom att separeras och bryts ner till en pappersmassa. Pappersmassan pressas därefter till en 20 000 m lång pappersduk som senare strimlas till remsor på 1~6 mm bredd, som därefter tvinnas till ett garn med cirkelformat tvärsnitt (Oji Fiber Co., Ltd 2017b). Pappersgarnet från Japan som använts i detta projekt är JP med grovleken 51 Nm, ett garn i oblekt gul/vit färg. För att använda och sticka med detta garn på Textilhögskolans stickmaskiner, behöver 3 eller fler trådar av pappersgarnet spinnas ihop för att få ett garn som har rätt grovlek som passar stickmaskinerna.

### 3.1.2 TYSKLAND

Det tyska garnet kommer från företaget Fuesers Garne som tillverkar pappersgarn av manillaträ för konfektion samt för möbelbeklädnad och har ett flertal olika varianter och tjocklekar för olika ändamål. Garnet tillverkas av trä och produceras på samma sätt som det japanska garnet, genom pappersremsor som tvinnas för att skapa ett cirkelformat tvärsnitt på garnet (Fuesers Garne GmbH u.å). Garnet från Tyskland TP som använts är ett vitt garn med grovleken 12 Nm.

### 3.1.3 SVERIGE

De svenska pappersgarnerna, SP1 och SP2, i detta arbete är två pappersgarn tillverkade av pappersmassa från svenska barrskogar, producerat av företaget Mimcord. Pappersgarnerna har en oblekt brun färg likt kartong och tillverkat på samma sätt som JP och TP, med en tydlig vriden diagonalvinklad yta som kan ses med blotta ögat. SP1 är det tunna pappersgarnet med grovleken 10 Nm, har en metervikt på 0,10 g/m, med en diameter på 0,41 mm och är tillverkad av 2 mm breda

pappersremsor som tvinnats, vänster i Figur 3. Det tjockare garnet SP2 med grovleken 1 Nm, har en metervikt på 1,06 g/m, med en diameter på 1,2 mm och är tillverkad av 19 mm breda pappersremsor som tvinnats, höger i Figur 3.



FIGUR 3. DE SVENSKA PAPPERSGARNERNA UPPRULLADE.

## 3.2 UTFÖRDA TESTER

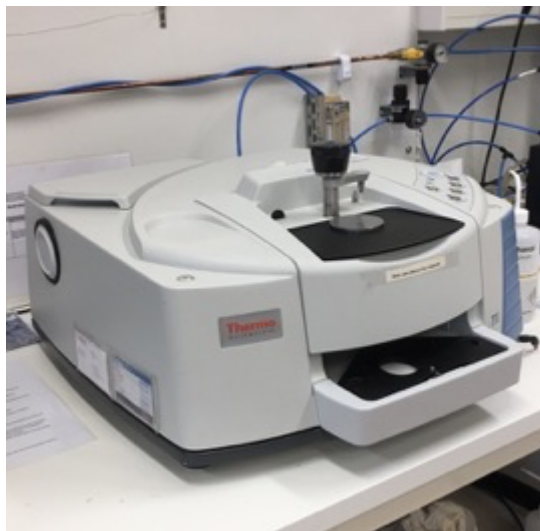
I detta arbete har pappersgarnerna utsatts för fem noga utvalda moment för att optimera processen för pappersgarn, och göra de svenska garnerna mer attraktiva för konfektionsindustrin, då pappersgarn är ett eftersträvt material ur hållbarhetsaspekt.

Momenten är utvalda i arbetet för att ge förståelse för pappersgarnerna och varje moment är förberedande för nästkommande kommande steg. Samtliga garnerna har först analyseras efter deras innehåll för att se om samtliga garn innehåller enbart papper. Därefter impregneras de svenska garnerna med utvalda kemikalier för att ge önskade egenskaper. Efter impregneringen har ytstrukturen granskats, friktionen på garnerna testas följt av ett stickmoment. Momenten presenteras i följande kapitel och hur de anpassats för att passa detta arbete.

### 3.2.1 ANALYS MED FTIR SPEKTROMETER

Tekniken för att analysera material i en FTIR spektrometer bygger på att de funktionella grupperna hos en polymeryta analyseras med hjälp av ett infrarött ljus. Absorptionsspektra för olika kemiska bindningar visas och med grafer och givna vågtal, går det att avgöra vilka ämnen provet innehåller (Albertsson, Edlund & Odelius 2012). Metoden lämpar sig till att urskilja mellan olika typer av plaster och fibergrupper, men att urskilja på olika cellulosamaterial går inte eftersom maskinen inte ser någon skillnad mellan till exempel bomull och viskos. (Houck 2009)

Analys av prover i detta arbete utfördes på FTIR spektrometern *Nicolette iS10*, Figur 4, som finns tillgänglig i Högskolan i Borås lokaler. I Nicolette Si10 finns möjlighet att plocka fram resultaten maskinellt i FTIR spektrometern eller i tillkopplad dator med särskild tillhörande programvara. I detta fall användes dator och tillhörande programvara. Vid utförandet av testerna var tre personer närvarande i rummet, vilket påverkade klimatet i rummet. En skanning av klimat och omgivning utfördes innan testerna sattes igång, detta för att kalibrera och förbereda maskinen. Därefter rengjordes FTIR spektrometers provplatta, diamantplattan, med 70% etanol och en dammfri pappersservett, och lämnades sedan för att torka innan testet på provkropparna utfördes.



FIGUR 4. FTIR SPEKTROMETER NICOLETTE Si10.

Provkropparna som analyserades var pappersgarnerna JP, TP samt SP1 och SP2, där ett prov av varje garn analyserades. Provkropparna tvinnades upp för att göra en större slätare yta att analysera. Därefter placerades provkroppen på diamantplattan och klämdes fast i maskinen med hjälp av att vrida på fästanordningen tills ett tydligt klickljud uppkom. Provkroppen lästes in av maskinen på ett intervall på 32 skanningar vilket ger en helhetsbild av provet och de aktiva grupperna registrerades av maskinen. Mätvärdena som registrerades under skanningen av samtliga pappersgarn formades därefter till ett diagram med dalar, där de aktiva grupperna i molekylerna uppenbarade sig likt ett fingeravtryck. Vidare analys av de givna mätvärdena från samtliga provkroppar tolkades med hjälp av litteratur.

### 3.2.2 IMPREGNERING AV GARN

Inför laborationen i färgning och beredning labbet upprättades en riskanalys, där kemikalierna fatty acid polyether glycols ester, mono-/dialkyphospate och dispersion wax producerade av Algols Chemicals deklarerades innan användning. För detta moment användes Högskolan i Borås KLARA produktdatabas som är ett allmänt kemikalierregister där risk- och skyddsinformation om kemiska produkter finns tillgängligt samt information från Algols Chemicals<sup>1</sup>. Säkerhetsdatabladet sammanställdes för att analysera kemikalierna och vilka eventuella risker som finns vid användandet. I Tabell 1 nedan presenteras kemikalierna och dess användningsområden, med information från Algols Chemicals med tillhörande produktblad.

TABELL 1. BESKRIVNING ÖVER KEMIKALIER OCH EGENSKAPER I IMPREGNERING.

| Kemikalier   | Egenskaper   |
|--|--|
| Afilan CFA100,<br>Fatty acid polyether glycols ester | Används som mjukgörare för fibrer och garn. Reducerar friktionen mellan garn och metall.   |
| Afilan SPC pa 1,5%,<br>Mono-/Dialkyphospate          | Fungerar som ett mjukgörande och antistatiskt medel för fibrer och garn. Används i kombination med en mjukgörande komponent. Ger fibrer ett mer flexibelt handlag. |
| Ceralub JW Liq 12%,<br>Dispersion wax                | Ger ett smidigt, mjukare handlag för vävda och stickade textilier. Fungerar som ett balsam på alla typer av fibrer.  |

När säkerhetsdatabladet blivit godkänt av berörda parter blandades kemikalierna enligt följande recept till en blandning på 500 ml. Receptet kan skådas nedan i Tabell 2.

---

<sup>1</sup> Per Augustsson, Nordic Sales Manager, Algol Chemicals, 15 April 2021

TABELL 2. RECEPT PÅ IMPREGNERING.

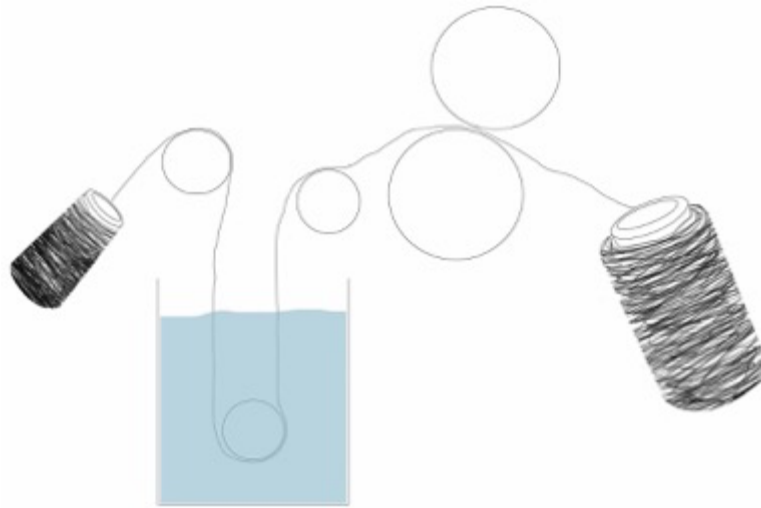
| Ämne  | %     | ml    |
|---|-------|-------|
| Vatten  | 74,5  | 372,5 |
| Afilan CFA100, Fatty acid polyether glycols ester | 12,0  | 60,0  |
| Afilan SPC pa 1,5%, Mono-/Dialkyphospate          | 1,50  | 7,50  |
| Ceralub JW Liq 12%, Dispersion wax                | 12,0  | 60,0  |
|   | = 100 | = 500 |

Maskinen som användes för att impregnera pappersgarnerna med var en Foulard *Mathis Padder type HVF* som syns i Figur 5. Detta är en foulard för färgning, beläggning och impregnering av garn samt tygstycken upp till 25 cm bredd. I foularden finns ett tråg nedanför valsarna där kemikalierna placeras och därefter doppas materialet i tråget innan den pressas mellan valsarna med önskat tryck. Trycket som var aktuellt i denna arbetsprocess var 3, 5 och 6,6 bar och passerade valsarna med en hastighet på ca 4,5–5 m/min.



FIGUR 5. FOULAR MATHIS.

Vid arbetet i maskinen rullades garnet av från konan med pappersgarn, följt av blötläggning med kemikalieblandningen av garnet i tråget och därefter matades garnet genom valsarna för att fördela impregneringen, Figur 6 visar förloppet. Under impregneringen upptäcktes att garnet krympte vid blötläggningen, vilket ökade risken för garnbrott och beslut om att rulla upp garnet manuellt på kona var det bästa för garnet. Därefter torkades och fixerades impregneringen i garnet med hjälp av en ugn på 130°C. Tiden i ugnen anpassades efter mängden garn på konan och tiden lämplig för att få ett torrt garn på ca 300 m var 15 min.



FIGUR 6. BILD PÅ HUR GARNET FÄRDADES UNDER IMPREGNERING.

För att analysera vikt och upptag av impregnering i pappersgarnerna, gjordes mätprover på samtliga pappersgarn, både ej impregnerade och impregnerade av SP1 samt SP2. 3 provkroppar på 2 meter av vardera pappersgarnet mättes upp och vägdes och medelvikt sammanställdes. Vikten av det impregnerade garnet jämfördes därefter mot vikten på ej impregnerat garn enligt Ekvation 2, vilket resulterar i  $wt\%$  som ger förändring av vikt i %.

$$100 - \left( \left( \frac{\bar{m}_1}{\bar{m}_2} \right) \times 100 \right) = wt\% \quad (\text{Ekvation 2})$$

$wt\%$  = Förändring i vikt i %.

$\bar{m}_1$  = Medelvikt av ej impregnerat pappersgarn.

$\bar{m}_2$  = Medelvikt av impregnerat pappersgarn.

### 3.2.3 ANALYS I MIKROSKOP

En visuell undersökning av samtliga prover gjordes i en stereolupp med kamera av modell *Sagitta*, ett mikroskop. Både garn och tyg analyserades och fotades med hjälp av instrumentet. Syftet var att få en tydlig blick på hur impregneringen och trycket i foularden hade påverkat ytstrukturen på de impregnerade pappersgarnerna i jämförelse med de ej impregnerade.

### 3.2.4 FRIKTIONSTEST FÖR GARN

Efter impregneringen utfördes ett friktionstest på pappersgarnet mellan garn och nålar. Testet utfördes enligt Peterson och Vegborn (2009) uppsats *Development of a pre-knitting friction test method and study of friction and bending of yarns with high stiffness*. I uppsatsen hade författarna utformat en specialdesignad rigg som monteras i dragprov och testar friktion mellan nål och garn under stickning. Riggen var konstruerad för att efterlikna en flatstickmaskin med delning 4, där nålar med diameter 1,4 mm var monterade med en 210° vinkel (3,665 radiander) i en metallställning med ett avstånd på 4 mm mellan nålarna. (Peterson & Vegborn 2009). Under testet drar maskinen med en hastighet på 100 mm/min och ett motstånd byggs upp mot garnet och nålarna. Detta motstånd registreras av dragprovaren och senare analyseras de registrerade krafterna och med hjälp av Ekvation 3 räknas friktionskoefficienten fram. Formel för att räkna ut friktionskoefficient användes enligt standard ASTM D3108-07 *Standard Test Method for Coefficient of Friction, Yarn to Solid Material*.

$$\frac{\ln T_2 - \ln T_1}{\theta} = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\theta} = \mu \quad (\text{Ekvation 3})$$

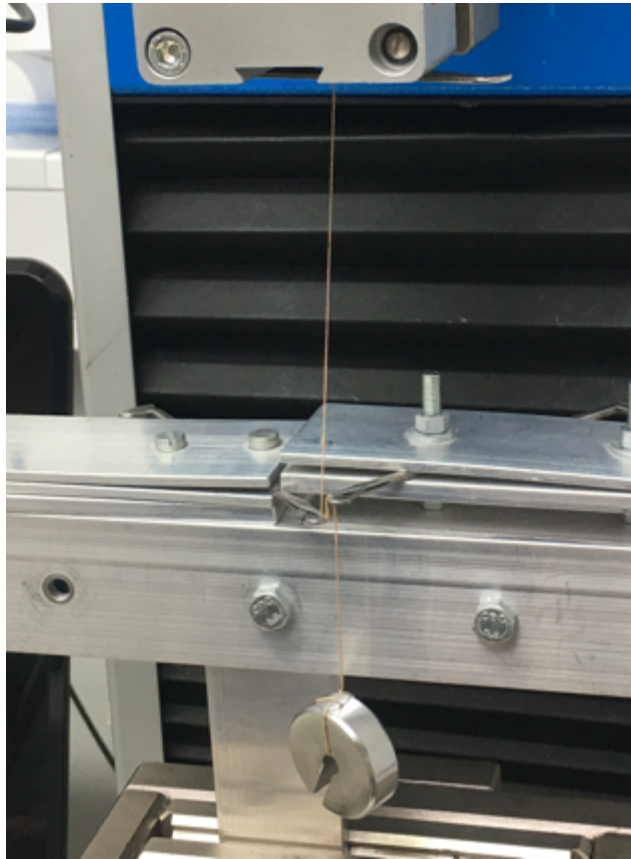
$\mu$  = Friktionskoefficient

$T_1$  = Ingående kraft (mN)

$T_2$  = Utgående kraft (mN)

$\theta$  = Vinkel i radianer

Innan testet konditionerades pappersgarnerna i 24 timmar i laborationssalen med en luftfuktighet på 60±2% och i en rumstemperatur på 22±2°C. Dragprovsmaskinen som användes vid testet var *Tensolab 2512A/2512C* med lufttrycksklämmor med en monterad lastcell på 0,1 kN. Draghastigheten matades in till 100 mm/min med en inspänningslängd på 70 mm. Garnet placerades i maskinen enligt instruktioner, Figur 7, och med ett avstånd på 70 mm mellan översta nål och en 50 g vikt fastknu-ten i änden.



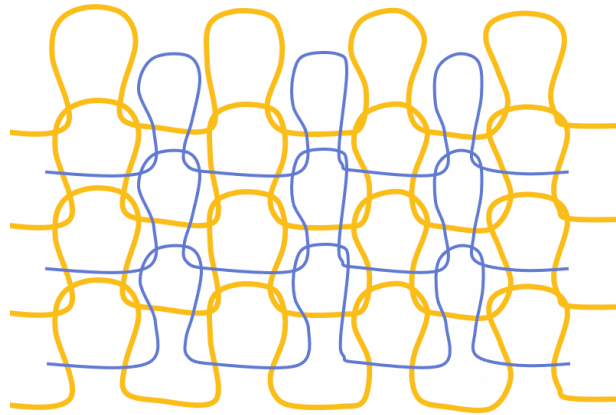
FIGUR 7. FRIKTIONSRIGG PLACERAD I DRAGPROVEN MED MONTERAD PROVSKROPP.

Testet utfördes på pappersgarnerna SP1 och SP2 med ej impregnerat garn, impregnerat garn med 3 bar samt 5 bar. Varje test utfördes med 3 likadana provkroppar av båda pappersgarnen. Innan testet startades mättes utgångskraften i garnet och därefter startades dragproven som drog garnet genom nålarna och registrerade motståndet mellan garn och nålar med 1 mm mellanrum. Med denna information var det möjligt att räkna ut friktionskoefficienten. Samtliga friktionskoefficienter kunde sedan användas i Excel för att få fram ett medelvärde med hjälp av en ANOVA tabell, i förväntan om att få se en skillnad mellan de olika behandlingarna och repetitionerna av pappersgarnerna.

### 3.2.5 STICKBARHET

Efter impregnering av garnet i Färg- och berednings labbet och de utföra testerna, gjordes stickprov på enbart SP1 som hade en mer lämpad grovlek för stickmaskinen. Tre olika prover skickades av SP1 i sticklabbet: ej impregnerat garn, 3 bar samt 5 bar impregnerat pappersgarn.

Proverna stickades i Single jersey interlock, i maskinen *Stoll CMS 822 HP knit & wear multigauche 5,2* som är en flatsticksmaskin med delning 5 som finns på Textilhögskolan i Borås. Tekniker Lars Brandin var närvarande vid stickning av provbitarna av pappersgarnet. Vid stickning av pappersgarnet blötlades konerna med vatten för att göra garnet ytterligare mjukare och följsammare i maskinen. Figur 8 visar hur Single jersey interlock är uppbyggt.



FIGUR 8. SINGLE JERSEY INTERLOCK.

## 4. RESULTAT

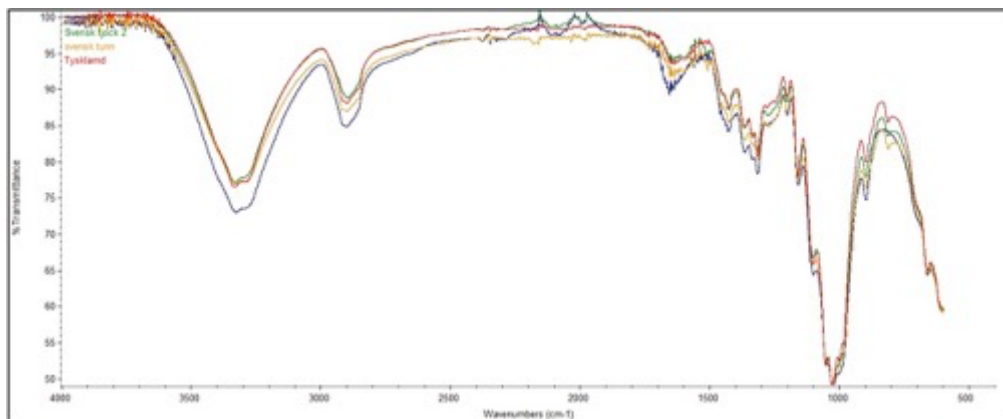
Samtliga tester har utförts för att möjliggöra en processoptimering för de svenska pappersgarnerna, detta för att ge förståelse för hur pappersgarnerna kan behandlas för att bli mer attraktiva för konfektionsbranschen. Resultaten som möttes under arbetets gång har varit lärorika och styrt arbetet i en riktning som möjliggjort analys vilket framkommer under kapitlet diskussion senare i arbetet.

### 4.1 UTFALL AV TESTER

I kommande kapitel presenteras resultatet efter de fem utförda momenten och här går det att följa resultaten. Informationen kommer senare ligga som grund i diskussion och slutsats.

#### 4.1.1 RESULTAT FRÅN ANALYS AV FTIR SPEKTROMETER

Vid analys av resultatet från utfallet av FTIR spektrometern, kan konstateras att samtliga provkroppar följer ett klart mönster genom hela grafen vilket tyder på att samtliga är av cellulosa-karaktär. I Figur 9 presenteras resultatet av de samlade provena. JP visade en något djupare dalar till vänster i figuren men i övrigt så uppkom ett nästintill identiskt mönster, där de karakteristiska dalarna visade sig vara på samma plats för samtliga provkroppar.



FIGUR 9. FTIR SPEKTRA FÖR JÄMFÖRELSE AV JP, TP, SP1 OCH SP2.

#### 4.1.2 IMPREGNERING AV GARN

Vid utförandet av impregneringen på pappersgarnerna gjordes först ett referensprov på en mindre bit pappersgarn av SP1, detta utfördes endast på SP1 och inte SP2.

Resultatet från detta syns i Tabell 3 och ligger som grund vid val av tryck i maskinen.

Här kan utläsas att 3 bar hade ett upptag på ca 9,5% medan 6,6 bar hade ett upptag på ca 3%. Detta innebär en skillnad i upptag på ca 1,9 % per bar och utifrån den uträkningen ger 5 bar ca 5,7% upptag. Denna information kommer ligga som grund under fortsatt analys av impregnering på SP1. Inget referensprov gjordes på SP2.

TABELL 3. REFERENSPROV I UPPTAG FÖR EN METER I VIKT MED SP1.

| Prov (1m) | Bar | Vikt obeh. (g) | Vikt våt (g) | Vikt beh. (g) | wt% upptag av impr. |
|-----------|-----|----------------|--------------|---------------|---------------------|
| 1         | 3   | 0,0877         | 0,1085       | 0,0969        | 9,4943              |
| 2         | 6,6 | 0,0972         | 0,1216       | 0,1002        | 2,9940              |

Under fortsatt impregnering av pappersgarnerna i löpmeter möttes en del motgångar. Vid första impregneringstillfället var trycket i maskinen ojämnt under impregneringen. Trycket i maskinen varierade mellan 4,8 - 6,6 bar vilket resulterade i ett ojämnt impregnerat garn som inte är möjligt att analysera ytterligare.

Det ojämna trycket tycke bero på tillströmningen med lufttryck i lokalen varit ojämn samt att maskinen kan blivit överarbetad av det höga trycket mellan valsarna. Under första impregneringen ökades hastigheten från 2,5 m/min till som mest 5,3 m/min, vilket påverkar tiden garnet färdas genom badet och eventuellt upptag då den vistas en kortare period i badet. Samt att under impregneringen med 5 bar påverkades valsarna i foularden av kemikalierna och färg från tidigare arbeten släppte och valsarna färgade av på pappersgarnet, Figur 10. Dessa aspekter beaktades i andra impregneringen.



FIGUR 10. STICKAD PROVKROPP AV FÖRSTA IMPREGNERING.

Efter första laborationen och de problem som uppstod, utfördes en ytterligare impregnering av pappersgarnerna med ett jämnt tryck och fler antal meter garn. Beslut fattades att 3 bar och 5 bar var lämpliga att använda för att inte överbelasta maskinen, samt att hastigheten som var lämplig var ca 4,5 m/min. Målet var att producera ca 300 m av garnet SP1 i vardera 3 bar och 5 bar med två omgångar impregnering, samt att producera 20 m av garnet SP2 i vardera 3 bar och 5 bar även här två omgångar impregnering. Vid maskinen monterades en mätklocka som dokumenterade antalet meter garn som valsarna matade framåt. I Tabell 4 presenteras resultatet av impregneringen, samt en förtydligande av viktförändring av SP1 i Diagram 1 och av SP2 i Diagram 2.

TABELL 4. TABELL ÖVER VIKTER PÅ PAPPERSGARNER EFTER IMPREGNERING.

| Garn | Prov-kropp | Bar | Metertal (m) | Vått garn efter första impr. (g) | Vått garn efter andra impr. (g) | Vikt torrt garn (g) |
|------|------------|-----|--------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| SP1  | Kona 1     | 3   | ≈268         | 34,25                            | 35,13                           | 30,79               |
| SP1  | Kona 2     | 5   | ≈207         | 25,63                            | 27,04                           | 23,71               |
| SP2  | Kona 3     | 3   | ≈18          | 22,97                            | 24,88                           | 19,92               |
| SP2  | Kona 4     | 5   | ≈12          | 15,10                            | 16,05                           | 13,16               |

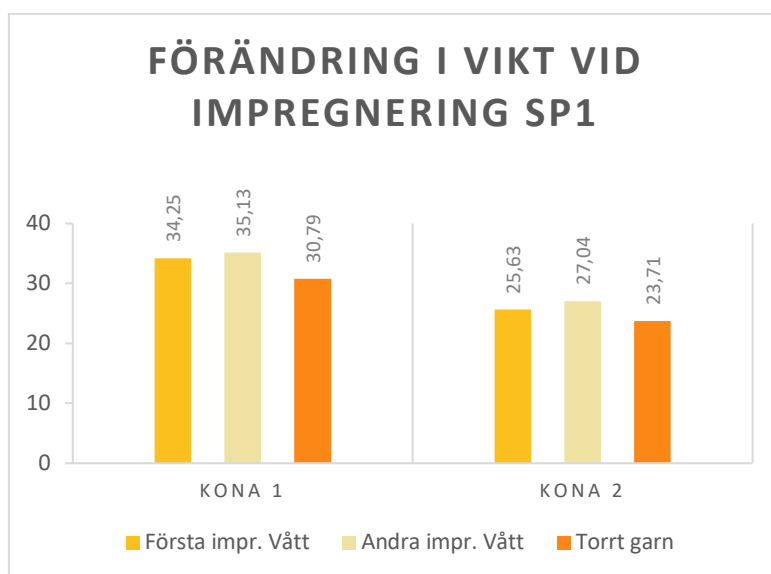


DIAGRAM 1. FÖRÄNDRING AV VIKT I IMPREGNERING FÖR SP1.

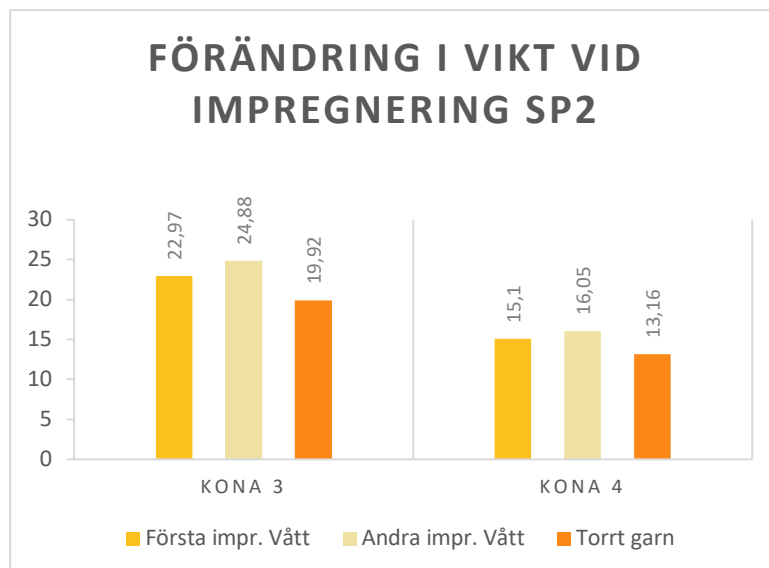


DIAGRAM 2. FÖRÄNDRING AV VIKT I IMPREGNERING FÖR SP2.

Pappersgarnerna impregnerades med gott resultat, maskinen höll ett jämnt tryck och matade pappersgarnerna genom foularden fritt. Få garnbrott inträffade vid impregneringen av SP1 i tryck 3 bar, vilket beror på den mänskliga faktorn eftersom garnet fastnade i upprullningen från konan. Detta hade kunnat motverkas om garnet rullades upp på en mindre kona innan beläggning. Metertalet garn som mättes av mätklockan visade sig vara missvisande därför förkastades metertalet i detta skede. Därför räknades metertalen ut med hjälp av medelvikten per 1m, som syns i tabell 5, med hjälp av totalvikten på torrt garn i Tabell 4. Därefter torkades och fixerades samtliga pappersgarner i ugn som tidigare.

I Figur 11 syns de impregnerade pappersgarnerna av SP1, (vänster ej impregnerat, mitten 3 bar, höger 5 bar). I Figur 12 syns pappersgarnerna av SP2, (vänster 3 bar och höger 5 bar). Här kan även skådas att viss missfärgning uppenbarade sig under trycket med 5 bar. Missfärgningen kommer inte vidare analyseras.



FIGUR 11. KONOR AV PAPPERSGARNET SP1.



FIGUR 12. KONOR AV PAPPERSGARNET SP2.

Efter impregneringen vägdes pappersgarnerna för att analysera upptaget av impregnering vid de två olika trycken. 3 provkroppar från varje garn vägdes, och i Tabell 5 sammanställdes medeltalet av vikterna i varje impregnering. Diagram 3 förtydligar viktförändringen. Här kan konstateras att skillnaden mellan 3 bar och 5 bar inte var så stor för SP1 utan att pappersgarnerna trots olika tryck tagit upp impregnering med en tusendels skillnad. En större skillnad mellan upptaget uppenbarade sig för SP2.

TABELL 5. MEDELVIKT 1 M EFTER IMPREGNERING.

| Garn | Provkropp | Tryck (bar) | Medelvikt (g/m) | Dtex * |
|------|-----------|-------------|-----------------|--------|
| SP1  | 1         | 0           | 0,1043          | 1043   |
|      | 2         | 3           | 0,1148          | 1148   |
|      | 3         | 5           | 0,1146          | 1146   |
| SP2  | 4         | 0           | 1,0583          | 10 583 |
|      | 5         | 3           | 1,1333          | 11 333 |
|      | 6         | 5           | 1,1425          | 11 425 |

\*Linjär densitet;  $dtex = \left(\frac{g}{m}\right) \times 10000$

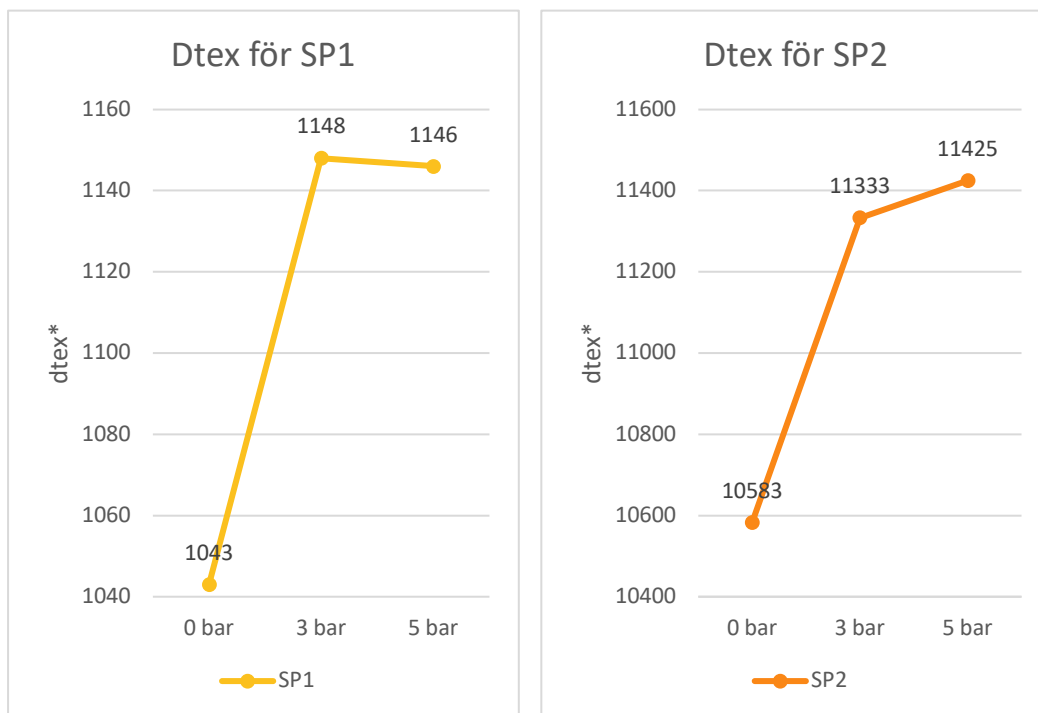


DIAGRAM 3. DIAGRAM ÖVER DTEX FÖR SP1 OCH SP2.

Med hjälp av formeln för  $wt\%$  jämfördes därefter medelviktarna av ej impregnerat och impregnerat garn, och i Tabell 6 kan resultatet skådas. Detta för att ge en tydligare förståelse för upptaget av kemikalier i pappersgarnet och för att kunna jämföra dessa värden mot varandra.

Här var målet, enligt Tabell 3 längre upp, att upptaget i SP1 3 bar skulle legat på ca 9,5% och SP1 5 bar ca 5,7%. Vilket kan skådas i Tabell 6, att upptaget för SP1 med 3 bar låg ca 0,45% under uppskattat upptag och att SP1 med 5 bar låg ca 3,3% även det låg under uppskattat upptag.

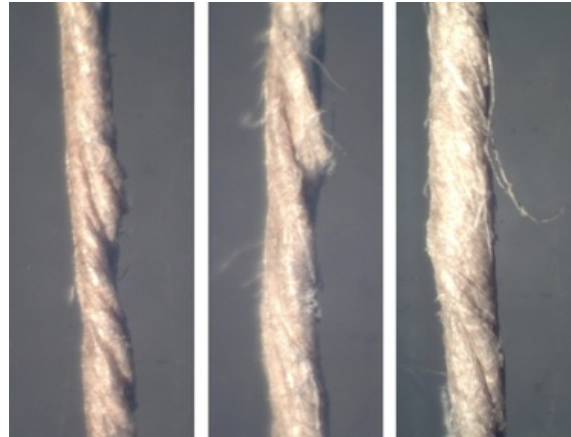
TABELL 6. UTRÄKNING AV PROCENTUELLT UPPTAG  $WT\%$ .

| Prover i Beräkning* | Medelvikt ej impregnerat (m1) | Medelvikt impregnerat (m2) | wt (%)           |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
| 2                   | 0,1043                        | 0,1148                     | 9,1463 (mål 9,5) |
| 3                   | 0,1043                        | 0,1146                     | 8,9878 (mål 5,7) |
| 5                   | 1,0583                        | 1,1333                     | 6,6178           |
| 6                   | 1,0583                        | 1,1425                     | 7,3698           |

\*från tabell 5.

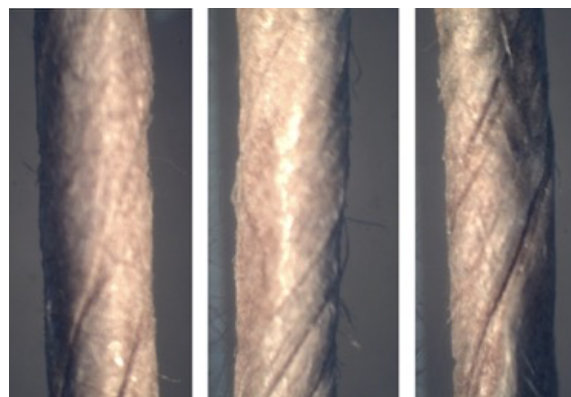
#### 4.1.3 RESULTAT FRÅN ANALYS I MIKROSKOP

Vid analys i mikroskop togs bilder av pappersgarnerna med hjälp av mikroskopet *Sagitta*, där resultaten från impregneringen kan skådas i närbild. En påverkan och skillnad kan ses mellan samtliga provkroppar av pappersgarnet SP1. I Figur 13 (vänster ej impregnerat, mitten 3 bar, höger 5 bar) syns att SP1 ej impregnerat (vänster) har en slät lätt blank yta, 3 bar (mitten) har den hårigaste ytan samt att 5 bar (höger) är det slätare pappersgarnet efter impregnering.



FIGUR 13. MIKROSKOPFOTON AV SP1.

I Figur 14 (vänster ej impregnerat, mitten 3 bar, höger 5 bar) visar resultatet att SP2 inte påverkats lika mycket som SP1 av impregneringen. I jämförelse med det ej impregnerade pappersgarnet (vänster) finns en viss ökning i hårighet på de impregnerade pappersgarnerna (3 bar i mitten och 5 bar till höger). Enligt bilden finns en viss antydning att SP2 med 5 bar (höger) luckrat upp sig en aning vid impregneringen och av trycket, där garnet ser ut att fått mer tydliga diagonaler och en plattare yta.



FIGUR 14. MIKROSKOP FOTON AV SP2.

#### 4.1.4 FRIKTIONSTEST FÖR GARN

Resultatet som räknades ut från samtliga repetitioner av friktionstestet kan avläsas i Bilaga 1. I Tabell 7 och Diagram 4 nedan presenteras ett medelvärde av grupperingen av varje behandling och tryck. Mängden kemikalier påverkade friktionskoefficienten för proverna av SP1 och SP2. Där ett högre tryck på SP1 resulterade i en marginell sänkning av koefficienten på 5 bar i jämförelse med ej impregnerat, vilket var önskvärt. Medan 3 bar hade högst friktionskoefficient av proverna i det tunnare pappersgarnet. Däremot uppkom en växande friktionskoefficient för SP2 där ett högre tryck ledde till en stabil ökning av friktionskoefficienten.

TABELL 7. SAMMANFATTNING AV FRIKTIONSKOEFFICIENTER EFTER FRIKTIONSTEST.

| Garn | Behandling     | Medelvärde friktionskoefficient |
|------|----------------|---------------------------------|
| SP1  | ej impregnerad | 0,299674545                     |
|      | 3 bar          | 0,307813573                     |
|      | 5 bar          | 0,298968387                     |
| SP2  | ej impregnerad | 0,553751678                     |
|      | 3 bar          | 0,645395951                     |
|      | 5 bar          | 0,712468331                     |

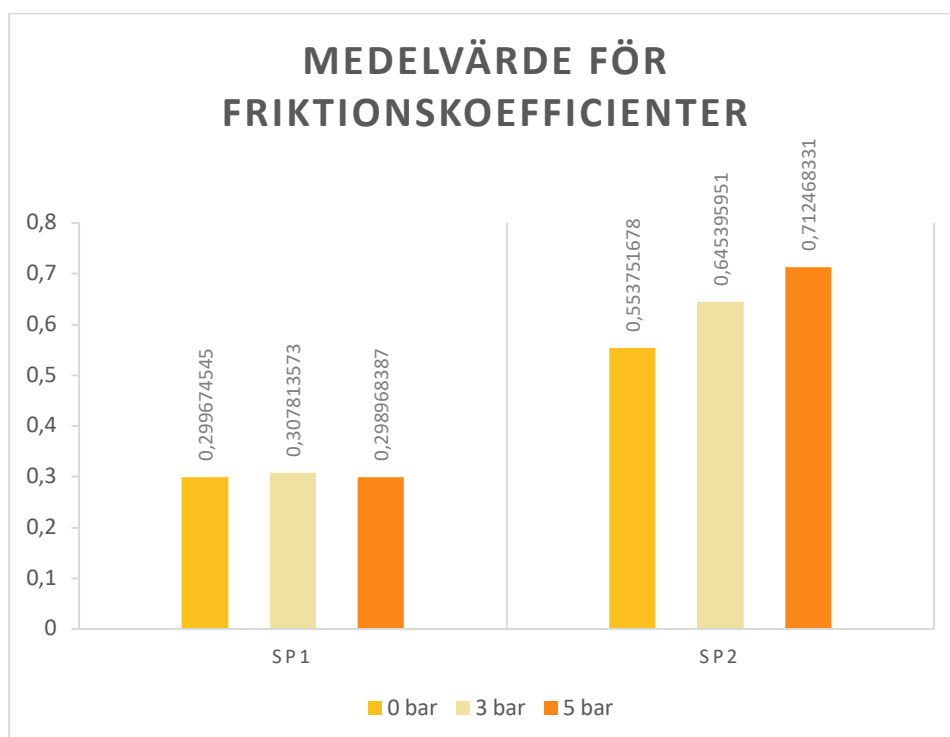


DIAGRAM 4. MEDELVÄRDE FÖR SAMTLIGA FRIKTIONSKOEFFICIENTER.

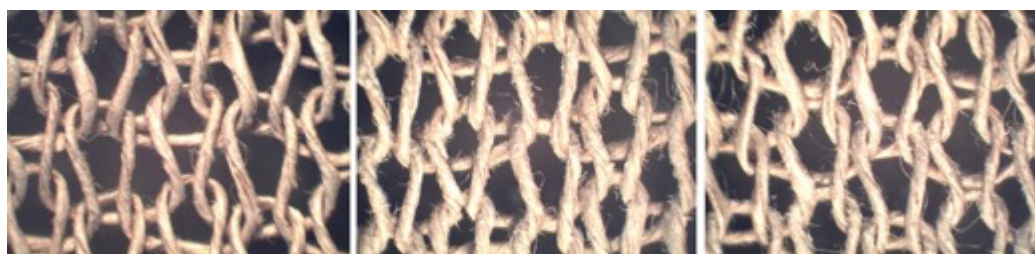
I Tabell 8 visar ANOVA-tabellen att det fanns statistiskt signifikanta skillnader mellan friktionskoefficienten för behandlingarna då  $F > F\text{-krit}$ . Vid skattning av variansen visas en större spridning mellan de olika behandlingarna och en mindre spridning visas mellan det utförda repetitionerna. I Bilaga 1 visas en signifikant skillnad mellan SP1 och SP2.

TABELL 8. ANOVA TABELL ÖVER FRIKTIONSKOEFFICIENTEN.

| ANOVA          |                   |           |            |            |            |            |
|----------------|-------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Grupper        | Kvadratsumma      | fg        | Varians    | F          | p-värde    | F-krit     |
| Mellan grupper | 0,5434061         | 5         | 0,10868122 | 19,7999008 | 2,0234E-05 | 3,10587524 |
| Inom grupper   | 0,06586774        | 12        | 0,00548898 |            |            |            |
| <b>Total</b>   | <b>0,60927383</b> | <b>17</b> |            |            |            |            |

#### 4.1.5 STICKPROVER

Det kunde konstateras att samtliga pappersgarner av SP1 var stickbara i *Stoll CMS 822* vid blötläggning av konan och pappersgarnet. Det stickades en provbit av SP1 ej impregnerat garn, 3 bar samt 5 bar. Provbitarna analyserade och jämföras mot varandra. I Figur 15 (vänster ej impregnerat, mitten 3 bar, höger 5 bar) syns närbild på samtliga provkroppar och dess ytstruktur. Som tidigare nämnts i *Resultat från analys i mikroskop*, syns även här den ökade hårigheten i stickproverna. Där 3 bar har störst ojämnheter i garnstrukturen medan 5 bar resulterade i en slätare och jämnare vara.



FIGUR 15. STICKADE PROVER AV SP1.

Intressanta iakttagelser som gjordes under stickningen av SP1 var att garnet med impregneringen 3 bar var svårt att sticka vilket resulterade i maskor som ej stickades och skapade ränder i provbiten, se Figur 16, samt att SP1 med 3 bar också hade mest garnbrott vid stickning. Det ej impregnerade garnet och SP1 med 5 bar påvisade inga stickfel och färre problem, vid blötläggning av kona och garn innan stickning.



FIGUR 16. STICK FEL I PROVBIT AV SP1 MED 3 BAR.

## 5. DISKUSSION

Grunden för diskussion ligger i att analysera resultaten som samlats in efter de fem utföra momenten på pappersgarnerna och diskutera effekten dessa moment påverkar pappersgarnerna.

### 5.1 PAPPERSGARNERNAS INNEHÅLL

Syftet med FTIR spektrometern gick ut på att undersöka om det fanns någon skillnad i innehållet mellan de olika provkropparna. Med vetskap om att det japanska företaget Oji Fibers även säljer materialblandningar av papper/ull och papper/nylon/polyester var det extra intressant att se om det garnet som undersöktes innehöll endast papper eller om det var en blandning. Resultatet visade att samtliga pappersgarnar som testades i FTIR spektrometern bestod av cellulosa, eftersom cellulosans bindningar syntes tydligt vid analys. Detta betyder att pappersgarnerna innehåller papper men att det inte går att utesluta andra cellulosabaserade material såsom bomull eller viskos. Dalarna i grafen påvisar positioner och kombinationer som är specifika för olika ämnen.

FTIR lämpar sig för att urskilja lika typer av syntetfibrer och fibergrupper med andra molekyler, men att urskilja lika cellulosamaterial går inte med metoden som användes, då till exempel bomull och papper ger samma utfall av spektrometern. Detta ger resultatet att samtliga provkroppar är av cellulosabaserat material. Resultatet att garnerna i detta fall är cellulosabaserade, för med sig att sannolikheten att resultaten från den kemiska behandlingen hade visat på samma utfall för alla garnar är högre än om det japanska garnet hade bestått av en blandning av papper/nylon/polyester.

### 5.2 BEHANDLINGAR

Impregneringen resulterade i tre provkroppar: ej impregnerat, 3 bar och 5 bar i båda pappersgarnerna SP1 och SP2. Det mänskliga handlaget är den faktor som påverkade impregneringen mest, men även maskinen som matade garnet ojämnt och mindre metertal än önskat. Detta kan ha påverkat pappersgarnernas kvalité efter impregneringen och det slutgiltiga resultatet.

Pappersgarnerna av SP1 som impregnerades med 3 eller 5 bar, visade sig efter impregneringen ha vikter med en skillnad på tusendelar (3 bar=0,1148 g/m och 5 bar=0,1146 g/m) vilket tyder på att pappersgarnerna tagit upp nästan lika mycket kemikalier trots olika tryck i maskinen. Det förtydligas även vid uträkningen om *wt%*, där de ligger nära varandra i värden. Där 3 bar hade en viktökning på ca 9,14% och 5 bar hade en ökning på ca 8,99%, med en skillnad på 0,15%. Detta tyder på

att trycket i maskinen påverkar impregneringen mindre, men att skillnaden på tusendelar i upptag är tillräckligt för att få tillräcklig skillnad i friktion mellan de olika impregneringarna i senare skeden.

SP2 hade en större skillnad i upptaget, där 3 bar hade en viktökning på 6,62% och 5 bar hade 7,37 %. Detta betyder att upptaget för SP2 har en skillnad på 0,75% mellan 3 bar och 5 bar, vilket är större än skillnaden mellan pappersgarnerna av SP1. Däremot finns inget referensprov i form av *upptag per meter* till SP2 vilket gör det svårt att dra ytterligare antaganden kring upptaget.

Efter impregneringen torkade och fixerades kemikalierna i pappersgarnet. Torktiden och fixeringstiden sattes till 15 min med tanke på mängden pappersgarn för att få det genomtorrt. Hade torktiden längts hade kemikalierna haft möjlighet att sjunka djupare in i pappersgarnerna och överflöd som upplevdes som kletigt i SP1 med 3 bar hade kunnat minskat. Detta är något som kan undersökas ytterligare i framtida arbeten.

### 5.3 EGENSKAPER

Efter litteraturstudien kan det konstateras att ytstrukturen på en textil fiber har en stor inverkan på friktionen. Inte bara för stickbarheten utan också för hur textilen upplevs mot huden. I mikroskopet syntes att ytstrukturen hos garnerna blivit påverkad av impregneringen, SP1 mer än SP2. Detta uppenbarade sig i hårligheten på bilderna som jämfördes med det ej impregnerade pappersgarnet. SP1 med 3 bar innehöll mer impregnering, och visade på en hårigare yta enligt bilderna som mikroskopet tog. SP1 med 3 bar gav även en högre friktionskoefficient än SP1 med 5 bar. Att friktionskoefficienten blev högre kan ha och göra med att ytstrukturen skapat en mindre kontaktyta mellan garn och nål och fler lösa fiberändor som ökar motståndet kan försämra genomglidningen genom nål.

En annan påverkan som kan styra resultatet är den mängd kemikalier som togs upp efter impregneringen. Då SP1 med 3 bar upplevdes något kletig skulle det kunna vara den dominanta faktorn till att friktionskoefficienten ökade. Morton och Hearle (2008) beskriver hur ytstrukturen spelar roll i hur en textil upplevs. En textil med ett hårigare utseende är att föredra om motivationen är att producera mot konfektionsindustrin. Det skapar ett mjukare och behagligare garn som är mer följsamt och flexibelt, vilket är att föredra om slutprodukten skall vara nära huden då det är önskvärt att vara bekvämare. Så i detta fall är ett mer hårigt resultat att föredra.

Bortsatt ifrån ytstrukturen så noterades att vid hanteringen av SP1 efter impregnering, upplevdes både 3 och 5 bar mer flexibla och elastiska. Båda dessa egenskaper är positiva för stickbarheten och under litteraturstudierna som gjordes, tog Au (2011) upp att en ökad elasticitet är att föredra vid stickning och att detta kan minska antalet stickfel. När SP1 med 3 bar resulterade i en ökad friktionskoefficient och

flertal stickfel behöver det nödvändigtvis inte endast bero på dess ytstruktur, utan även här stärks argumentet upp att den största faktorn ha att göra med den mängd kemikalier som tagits upp av garnet. Detta kan i sin tur ha lett till en klisterlikande effekt och därmed en högre friktion och mindre flexibelt beteende vid stickningen.

I detta fall behöver inte det vara önskvärt att enbart få en så slät yta som möjligt på pappersgarnet för att sänka friktionskoefficienten, det kan även varit så att det ojämna utseendet bidrog till en längre friktionskoefficient. SP1 med 5 bar hade en mindre hårig yta än SP1 med 3 bar, men fortfarande en hårigare yta än SP1 som inte impregnerats. Det som var intressant här var att se att friktionskoefficienten var lägre än ej impregnerat garn och stickbarheten blev bättre. Vilket även här påvisar att en liten skillnad i kemikalieupptag spelar stor roll för utfallet av SP1.

SP2 hade i helhet behållit samma utseende under impregneringen, bortsett från SP2 med 5 bar, som hade en antydning till mer upplöst yta vilket kan bero på det hårda trycket. Ett motsatt mönster påvisades för resultatet på SP2 i friktionstestet jämfört med SP1.

Utifrån testerna som utfördes kan det konstateras att SP2 hade ett växande resultat mellan impregneringarna, där SP2 ej impregnerat hade lägst friktionskoefficient, följt av 3 bar som hade mindre friktionskoefficient än SP2 med 5 bar. Vid ett friktionstest är kraft och vinkelytan viktiga aspekter att ha med i beräkningen för att få fram friktionskoefficienten. Att SP2 resulterade i en markant skillnad i kraft till skillnad från SP1 kan bero på dess tyngd och diameter. SP2 med 5 bar resulterade i en ökad friktionskoefficient, vilket kan ha och göra med att pappersgarnet luckrades upp och skapade en oregelbundenhet i ytstrukturen på ett annorlunda sätt än för SP1. Upplevelsen av både SP2 med 3 bar och 5 bar, var att kemikalierna låg som en hinna över garnet och att kemikalier inte sjunkit in på samma sätt som för SP1. För SP2 kan detta ha betytt att en mindre andel kemikalier tagits upp av garnet, och att kemikalierna istället samlats i de långsgående vecken som bildades under tillverkningen av garnet. Vid uträkningen av kemikalieupptaget visade det sig att SP2 med 5 bar hade tagit upp mer kemikalier än 3 bar, vilket stärker argumentet angående det ojämna upptaget.

Nämnbart är att en del avvikelser observerades under genomförandet av Peterson och Vegborn (2009) friktionstest. Vid placering av pappersgarnerna i övre lufttrycksklämman, kan viss skillnad i spänning mellan klämma och nål uppenbarat sig mellan de olika repetitionerna. Detta misstänks kan ha påverkat första mätpunkterna och resultatet under utförandet av dragprovet. Samt att vid monteringen av garnet SP2 i samtliga test, tenderade garnet att glida ur nålarna eftersom garnet var grovt och styvt. Detta inträffade både innan friktionstets start samt vid enstaka fall under pågående test. Vid fallet innan friktionstest återanvändes provkropparna trots detta, vilket kan orsaka missvisande resultat för SP2.

Efter utförandet av friktionstestet kunde det konstateras att SP1 med 5 bar hade en marginellt lägre friktionskoefficient än SP1 ej impregnerat. För arbetet var detta ett positivt resultat, eftersom målet med rapporten var att sänka friktionskoefficienten med hjälp av utformad impregnering. SP1 med 5 bar hade den lägsta friktionskoefficienten och SP1 med 3 bar hade den högsta efter impregnering. Detta är ett intressant resultat då upptaget pappersgarnerna hade efter impregneringen, låg så pass nära varandra, med bara 0,15% viktskillnad efter impregneringen. Detta indikerar att ett ökat tryck och mekanisk bearbetning ger en lägre friktionskoefficient på tunnare garn, vilket visar åt rätt håll. För att nå en ännu lägre friktionskoefficient för SP1, hade eventuellt ett högre tryck med en jämn hastighet vid impregnering varit något att undersöka ytterligare.

Baserat på tidigare studier kring de valda kemikalierna, Fatty acid polyether glycols ester, Mono-/Dialkylphosphate och Dispersion wax var förhoppningen att med hjälp av en impregnering, skapa en glideffekt mellan garn och nål, och därmed en lägre friktion och ökad stickbarhet. Stickbarheten visade på att samtliga pappersgarn av SP1, ej impregnerat, 3 bar samt 5 bar, var stickbara när konan fuktades innan stickning. SP1 med 3 bar påvisade störst svårigheter i att stickas och detta kan bero på att pappersgarnet har större andel impregnering, den hårigare ytan och en högre friktionskoefficient. Detta som tidigare nämnt, har 3 bar inte pressat ur lika mycket kemikalier som 5 bar samt att mer kemikalier på ytan av pappersgarnet eventuellt skulle kunna skapa en kladdigare yta som försvårar stickning. Pappersgarnet SP1 med 3 bar hade även garnbrott vid stickningen, vilket misstänks främst beror på den eventuella kladdigheten som uppkommit efter impregneringen. Friktionskoefficienten var som tidigare nämnt högre för SP1 med 3 bar än för SP1 med 5 bar och glider därför inte lika fritt genom nålarna i stickmomentet. Detta bekräftas av stickfelen som uppenbarades sig vid stickningen av 3 bar. Med detta kan konstateras att en viss skillnad mellan 3 bar och 5 bar existerar, även om skillnaden i upptaget är på en tusendel.

#### 5.4 FORSKNINGSPRÅGOR

Efter litterära undersökningar, laborationer och analyser kan följande forskningsfrågor besvaras:

1. Hur skiljer sig pappersgarn från olika länder vid analys av dess ingående kemi?

Vid vetskap av att det japanska företaget även tillverkar garn i blandmaterial var det intressant att se om pappersgarn som användes i arbetet endast innehöll cellulosa. Med given information av FTIR kan det konstateras att alla pappersgarn följde ett identiskt mönster och visade att alla vara cellulosebaserade. Ytterligare

tester måste utföras för att kunna utesluta andra cellulosebaserade kvaliteter såsom bomull eller viskos i pappersgarnerna.

## 2. Hur påverkas pappersgarnets friktion mellan garn och nål av impregneringen?

För både SP1 och SP2 följde mönstret att ett högre kemikalieupptag gav en högre friktionskoefficient mellan garn och nål. Friktionstestet gav resultatet att impregneringen påverkat SP1 med 5 bar positivt och sänkt friktionskoefficienten i förhållande till SP1 ej impregnerat, vilket tyder på att impregneringen sänker friktionskoefficienten om trycket ökar. Ytterligare försök med högre tryck hade varit önskvärt för att bekräfta resultatet i detta arbete.

Däremot tycks inte trycket ha givit lika stor effekt på SP2 som för SP1 då trycket deformerade den cirkulära formen, vilket kan ha varit en faktor till att friktionskoefficienten blev högre då kemikalierna kan ha samlats ojämnt utmed garnet. Det vi kan konstatera efter försöket är att ett tunt garn ökar mer i vikt jämfört med ett tjockare vid samma tryck och att trenden för tjockt garn är ökat upptag vid ökat tryck i kontrast till tunt garn där upptaget minskar med ökat tryck.

## 3. Hur förändras stickbarheten efter impregneringen?

Samtliga pappersgarner av SP1, ej impregnerat, 3 bar samt 5 bar behövdes fuktas innan stickning. Alla pappersgarner av SP1 var stickbara men pappersgarnet med 3 bar innehöll en högre andel kemikalier vilket gav den en kladdig känsla. Detta ledde till ett mer svårhanterligt pappersgarn där garnbrott uppstod. För SP1 med 5 bar uppstod inga garnbrott och stickningen resulterade i en jämnare vara. I övrigt upplevdes båda stickproverna av pappersgarnerna med 3 och 5 bar mer flexibla och elastiska vid hantering, jämfört med SP1 utan impregnering. Vilket tyder på att impregneringen tillsammans med den mekaniska bearbetningen påverkat pappersgarnet positivt i avseende på handlag. SP2 uteslöts i stickmomentet på grund av dess höga diameter.

## 5.5 HÅLLBARHET

Om de svenska pappersgarnernas egenskaper förbättras och blir mer attraktiva kan detta på lång sikt möjliggöra att garnerna når en bredare marknad. Vilket gör att färre papperstillverkare i Sverige lägger ner och efterfrågan på andra mer resurskrävande material minskar. Vilket bidrar till att motverka en del de negativa klimatförändringar som konfektionsbranschen har idag.

Detta vävs samman med de tre hållbarhetsdimensionerna, vilket möjliggör ekologisk hållbarhet om pappersgarner blir mer etablerade på marknaden eftersom en ej

fullt använd resurs kan ersätta andra mer krävande resurser. Med en större export av svenskt pappersgarn tillverkat av svensk skog, bidrar det till mer arbete och indirekt mer ekonomisk hållbarhet i Sverige, vilket möjliggör social hållbarhet i form av arbete och trygghet på en annars stram arbetsmarknad.

## 6. SLUTSATS

Syftet med studien var att vidareutveckla pappersgarn från svenska skogar för att undersöka dess stickbarhet. Studien hade ett fokus på att med hjälp av en impregnering med valda kemikalier, sänka friktionskoefficienten och därmed öka stickbarheten och ge ett smidigare handlag. Utvecklingen av svenskt pappersgarn är pågående och därmed råder det en bristfällig tillgång till tidigare studier. Det material som har stötts på under arbetet har bekräftat att det svenska pappersgarnet är styvt och detta är ett problem som kan observeras vid stickning. Efter denna studie är det dessvärre fortfarande nödvändigt att fukta garnet innan stickning men intressanta resultat har uppvisats och ett underlag för vidare studier inom ämnet är gjorda. Ett underlag som är viktigt för att så småningom kunna skapa en processoptimering som funkar mot en bredare marknad.

Efter testerna i denna studie kan slutsatsen tas att impregnering av pappersgarn med kemikalierna Fatty acid polyether glycols ester, Mono-/Dialkyphosphate och Dispersion wax sänker friktionen mellan pappersgarn och nål vid impregnering av tunna garner, men att kemikalierna har mindre påverkan på tjocka pappersgarner. Det kan konstateras att när SP1 impregnerades med trycket 5 bar sänktes friktionskoefficienten i förhållande till det ej impregnerade garnet. Och att SP1 med 3 bar hade den högsta friktionen mellan garn och nål, detta trots att vikterna och upptaget låg nära varandra. Detta resultat bekräftar att mängden kemikalier har en betydande roll även om skillnaden i upptag är en tusendel. Teorin bekräftades ytterligare under stickning när SP1 med 3 bar fick garnbrott under stickning medan 5 bar förblev intakt.

Testerna som utfördes på SP2 visar på att det finns ett samband mellan ett ökande tryck och en ökande friktion mellan garnerna. Vilket tyder på att garnernas tjocklekar har en betydande roll i upptaget av impregnering.

Med resultatet av SP1 och av uträkningen i vikt *wt%*, kan det även konstateras att ett tunt garn impregnerat med högre tryck leder till mindre kemikalier i garnet. Men däremot motsatt effekt för tjockare styvare garner, där anledningen till avvikelser beror på att garnet inte absorberat kemikalierna utan att de istället ligger på garnet och i garnets veck. Utifrån den informationen kan slutsatsen dras att impregneringen passar tunnare garner bättre då kemikalierna absorberats in i garnet istället för att till stor del ligga på utsidan.

Ur ekonomisk och hållbarhetsaspekt kan det konstateras att resultatet för SP1 är ett positivt resultat, med mindre kemikalieanvändning som leder till mindre kostnader för företaget och mindre utsläpp i avloppet när impregneringen tvättas ur. Ytterligare forskning måste göras på SP2 för att uppnå ett liknande resultat med nedåtgående friktionskoefficient.

Det är av vikt att upprätthålla ett hållbart skogsbruk och när det kommer till att hitta nya användningsområden för den svenska skogen bör det ske på ett sätt som inte blir belastande för miljön. Möjligheten att svenskt pappersgarn vidareutvecklas verkar vara möjlig. Om pappersgarnet så småningom får nå en bredare marknad skapas nya arbetsmöjligheter för papperstillverkningsföretagen. Samtidigt kan det svenska pappersgarnet också bli ett möjligt alternativ till andra dominerande och resurskrävande textila fibrer som idag finns på marknaden.

## 7. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Detta arbete har bidragit till en djupare kunskap om pappersgarner och komplexiteten kring tillverkning av ett garn som skall stickas. Det är många aspekter att ha i åtanke och under rådande situation med en pågående pandemi har prioriteringar och avgränsningar behövts göras.

Vid impregneringen påverkade den mänskliga faktorn tillsammans med foularden, där garnet stundvis matades ojämnt i både tryck och hastighet och gav ett mindre metertal än önskat, vilket eventuellt påverkade det slutgiltiga resultatet. Det hade varit intressant att undersöka ytterligare metoder för att impregnera pappersgarnerna, en mer kontrollerad metod där upptäckta faktorer går att eliminera. SP1 gavs en antydning till ett mönster vid friktionen, då en lägre friktionskoefficient visades vid ett högre tryck. Det hade även varit intressant att se vad som skulle hända med friktionskoefficienten samt ytan på garnerna vid ett ytterligare högre tryck under impregnering. Detta för att se om friktionskoefficienten hade kunnat bli lägre än SP1 5 bar samt om en slätare yta är möjlig att åstadkomma. Ytterligare intressanta faktorer som hade varit intressant är hur en längre torktid och fixeringstid skulle påverka pappersgarnerna och impregneringen.

Efter hantering och behandling av pappersgarnerna upplevdes de impregnerade pappersgarnerna mer flexibla, vilket kan bero på en krympning vid blötläggningen med impregneringen, vilket gav garnet en lätt elastisk karaktär. Ett mer elastiskt garn underlättar för stickningsprocessen och därför hade det även varit intressant att fortsätta på detta arbete för att undersöka vad som händer med pappersgarnets elastiska egenskaper efter impregneringen i förslagsvis dragprov på garn.

Ytterligare område som varit intressant att undersöka i fortsatt arbete hade varit vävbarheten i de impregnerade pappersgarnerna. Har garnerna samma förutsättning, eller kanske bättre, för att vävas med tanke på den styva karaktären garnet har och vilka eventuellt andra problem och motgångar hade mötts vid vävning.

## 8. REFERENSER

- Albertsson, A., Edlund, U., & Odelius, K. (2012). *Polymerteknologi, Makromolekylär design*. Stockholm: Kungl. Tekniska Högskolan, Kapitel 14.
- Ajayi, J. O. (2008). 10 - Friction in woven fabrics. I Gupta, B. S. (red.) *Friction in Textile Materials*. Woodhead Publishing, ss. 351-385.  
doi:<https://doi.org/10.1533/9781845694722.2.351>
- Andersson Drugge, G., Syren, F., Peterson, J. & Kadi, N. (2021). Chemical treatment of paper yarn from swedish forest to enhance the yarn knitability. [Opublicerad]
- Au, K. F. (2011). 9 - Quality control in the knitting process and common knitting faults. I Au, K. F. (red.) *Advances in Knitting Technology*. Woodhead Publishing, ss. 213-232. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857090621.2.213>
- Brun, O. (2021). *Skogen, klimatet och den biologiska mångfalden*. Stockholm: Naturskyddsföreningen. [https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/skogen\\_och\\_klimatet.pdf?fbclid=IwAR14jbQHv8WBG-kF0nRov2cz7S1IUndlQePC4kxK23\\_4pdzZO-ssUt8jQfs](https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/skogen_och_klimatet.pdf?fbclid=IwAR14jbQHv8WBG-kF0nRov2cz7S1IUndlQePC4kxK23_4pdzZO-ssUt8jQfs) [2021-04-06]
- Cao, S., Song, D., Deng, Y. & Ragauskas, A. (2011). Preparation of Starch–Fatty Acid Modified Clay and Its Application in Packaging Papers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(9), ss. 5628-5633.  
doi:10.1021/ie102588p
- Chummun, J. & Rosunee, S. (2012). Manufacture of Folded and Twisted Paper Yarn. *Research Journal of Textile and Apparel*, 16(4), ss. 93-99.  
doi:10.1108/RJTA-16-04-2012-B010
- Eckard, A. & Hjälms, J. (2015). *Trikå av pappersgarn*. Diss. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-229>
- Edström, P. (2013). *Made in Sweden - Future Textiles and Paper*. <https://www.miun.se/siteassets/ovriga/made-in-sweden-future-textiles-and-paperpdf> [2021-04-01]
- Freij, J. (2020). *Från fallande marknad till total kollaps-tryckpapper minskar drastiskt*. <https://danskebank.com/se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/press-releases/2020/fran-fallande-marknad-till-total-kollaps-tryckpapper-minskar-drastiskt> [2021-06-03]
- Fuesers Garne GmbH. (u.å). *Products*. <https://www.fuesers.de/en/products/fuesers-speziality-yarn> [2021-04-28]
- Gupta, B. S. (2008). 1 - Textile fiber morphology, structure and properties in relation to friction. I Gupta, B. S. (red.) *Friction in Textile Materials*. Woodhead Publishing, ss. 3-36.  
doi:<https://doi.org/10.1533/9781845694722.1.3>

- Holmgren, P. (2019). *Rapport: Så stort är skogsnäringens bidrag i klimatarbetet*. Skebobruk: FutureVistas AB. <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/rapporter/rapport-skogsnaringens-klimatbidrag.pdf> [2021-04-06]
- Houck, M. M. (2009). 2 - Ways of identifying textile fibers and materials. I Houck, M. M. (red.) *Identification of Textile Fibers*. Woodhead Publishing, ss. 6-26. doi:<https://doi.org/10.1533/9781845695651.1.6>
- Mather, R. R. & Wardman, R. H. (2011). *The chemistry of textile fibres*. Cambridge: RSC Publishing.
- Melani, L., Park, J.-Y. & Kim, H.-J. (2020). Stability of fatty acid-containing AKD emulsions and sizing performance on handsheets. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 41(9), ss. 1410-1416. doi:10.1080/01932691.2019.1623686
- Morton, W. E. & Hearle, J. W. S. (2008). 25 - Fibre friction. I Morton, W. E. & Hearle, J. W. S. (red.) *Physical Properties of Textile Fibres (Fourth Edition)*. Woodhead Publishing, ss. 709-737. doi:<https://doi.org/10.1533/9781845694425.709>
- Oji Fiber Co., Ltd. (2017a). *Application*. <http://www.ojifiber.co.jp/en/application-2/> [2021-04-28]
- Oji Fiber Co., Ltd. (2017b). *Product*. <http://www.ojifiber.co.jp/en/product/> [2021-04-28]
- Peterson, J., Eckard, A., Hjelm, J. & Morikawa, H. (2019). Mechanical-Property-Based Comparison of Paper Yarn with Cotton, Viscose, and Polyester Yarns. *Journal of Natural Fibers*, 18(4), ss. 492-501. doi:10.1080/15440478.2019.1629372
- Peterson, J., Hjelm, J., Eckard, A. & Morikawa, H. (2016). TEST OF MECHANICAL PROPERTIES OF KNITTED FABRICS MADE OF PAPER YARN. I *AUTEX 2016, Ljubljana, 8-10 June, 2016*. Ljubljana 2016,
- Peterson, J. & Vegborn, E. (2009). *Development of a pre-knitting friction test method and study of friction and bending of yarns with high stiffness*. Diss. University of Borås/Swedish School of Textiles. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-19180>
- Roberts, J. C. (1996). *The chemistry of Paper*. Cambridge: RSC Publishing. ss. 11-25. <https://doi-org.lib.costello.pub.hb.se/10.1039/9781847552068>
- Stepanova, T. Y. (2016). The effect of lubricants on tribological characteristics of fibrous materials. *Journal of Friction and Wear*, 37(5), ss. 430-434. doi:10.3103/S1068366616050184

Syrén, F., Kadi, N. & Peterson, J. (2021). Improving the flexibility of paper yarn fabric produced from Swedish forests. *Proceedings of the 20th Autex World Textile Conference 2020*. [Opublicerad]

Vasell, A. & Ronkainen, J. (2017). *Mekanisk mjukgöring av pappersgarn : En studie om smärgling av pappersgarn samt behandlingens påverkan på de taktila egenskaperna*. Diss.  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hb:diva-12375>

## BILAGA 1

Krafter och friktionskoefficienter efter friktionstest för samtliga prover.

| Garn | Behandling   | Kraft in (mN) | Kraft ut (mN) | Friktionskoefficient |
|------|--------------|---------------|---------------|----------------------|
| SP1  | Obehandlad 1 | 700           | 1835,8333333  | 0,263075977          |
|      | Obehandlad 2 | 580           | 1932,083333   | 0,328329070          |
|      | Obehandlad 3 | 670           | 2068,75       | 0,307618588          |
|      | 3 bar 1      | 440           | 1592,5        | 0,350964710          |
|      | 3 bar 2      | 690           | 1674,583333   | 0,241917615          |
|      | 3 bar 3      | 480           | 1612,083333   | 0,330558394          |
|      | 5 bar 1      | 530           | 1646,25       | 0,309243723          |
|      | 5 bar 2      | 650           | 1658,75       | 0,255619979          |
|      | 5 bar 3      | 460           | 1553,3333333  | 0,332041459          |
| SP2  | Obehandlad 1 | 2040          | 11627,72727   | 0,474882052          |
|      | Obehandlad 2 | 1650          | 12748,63636   | 0,557885137          |
|      | Obehandlad 3 | 1270          | 12710,45455   | 0,628487844          |
|      | 3 bar 1      | 590           | 9812,272727   | 0,767057753          |
|      | 3 bar 2      | 1270          | 9072,72727273 | 0,536495501          |
|      | 3 bar 3      | 850           | 8637,272727   | 0,632634599          |
|      | 5 bar 1      | 400           | 7850,0        | 0,812224901          |
|      | 5 bar 2      | 780           | 8476,81818    | 0,650967674          |
|      | 5 bar 3      | 940           | 11124,0909    | 0,674212418          |