

Examensarbete

Textilingenjör

2023

Termofysiologisk komfort

Filippa Westerlund & Moa Hollén

- En studie där värmeisolering och fukttransportegenskaper undersöks i alternativa materialval än de konventionella för tillämpning i underställ.

Examinator: Behnaz Baghaei



TEXTILHÖGSKOLAN
HÖGSKOLAN I BORÅS

SAMMANFATTNING

Funktionskläder utgör idag en stor marknad över hela världen med stigande efterfrågan där syntetiska material står för en betydande andel av de producerade textilierna. Ett plaggs totala miljöpåverkan kan till stor del härledas till materialvalet. Materialkompositionen i underställ består ofta av blandningar av textila fibrer, vilket komplicerar återvinningsprocessen och gör den nästintill omöjlig. För att kunna 'sluta cirkeln' måste innovativa textila lösningar tas fram för att styra textilindustrin i rätt riktning.

Studien undersöker alternativa fibrer och jämför dem med de konventionella för textilier till underställ där man vill uppnå god fukttransport och värmeisolering. Vidare kartläggs materialens användningsområden för att skapa ett mångsidigt funktionsplagg och därmed möjliggöra en klimatsmartare garderob.

Studien identifierar och jämför de termofysiologiska egenskaperna hos materialen bambuviskos, merinoull, Tencel, PCM och Coolmax. Textilprover stickades i hundraprocentiga materialkompositioner med en utvald trikåbindning i en rundsticksmaskin. Textilprovets termofysiologiska egenskaper utvärderades med hjälp av testutrustningarna Hudmodellen och WickView för att bestämma värmemotstånd och fukttransport. Därefter analyserades resultaten på materialens termofysiologiska komfort för att sedan kartlägga deras användningsområde baserat på aktivitetsnivå och omgivningsfaktorer.

Resultaten från studien indikerar att merinoull och Coolmax kan rekommenderas för användning i underställ där både värmeisolering och fukttransport är viktiga, där merinoull är mest lämplig för kalla klimat. Vidare kan bambuviskos och Tencel vara lämpliga alternativ för användning i underställ vid aktiviteter av måttlig intensitet i varierande klimatförhållanden. PCM, med sitt låga värmemotstånd och medelhöga fukttransport, gör materialet mindre lämpligt för underställ.

Testresultaten från studien ger insikt i materialens termofysiologiska komfort, men bör inte ses som en heltäckande bild av denna komfort. För att erhålla en mer valid slutsats krävs ytterligare tester och beaktande av fler faktorer.

Nyckelord: Termofysiologisk komfort, värmeisolering, fukttransport, Coolmax, fasomvandlingsmaterial, bambuviskos, Tencel, merinoull, funktionsplagg.

ABSTRACT

Functional clothing represents a significant global market with rising demand today, where synthetic materials account for a considerable proportion of the textiles produced. A garment's total environmental impact can largely be traced back to the choice of material. The material composition of base layers often consists of mixtures of textile fibres, which complicates the recycling process and makes it almost impossible. To 'close the loop', innovative textile solutions must be developed to steer the textile industry in the right direction.

The study investigates alternative fibres and compares them with conventional ones for textiles in base layers where effective moisture transport and heat insulation are sought. Furthermore, the areas of use for these materials are mapped out to create a versatile functional garment, thereby enabling a more climate-smart wardrobe.

The study identifies and compares the thermophysiological properties of the materials bamboo viscose, merino wool, Tencel, PCM, and Coolmax. Textile samples were knitted in 100% material compositions using a selected tricot stitch on a circular knitting machine. The thermophysiological properties of the textile samples were evaluated using the Skin Model and WickView testing equipment to determine heat resistance and moisture transport. Afterwards, the results on the materials' thermophysiological comfort were analyzed, and their areas of use were mapped out based on activity level and environmental factors.

The results from the study indicate that merino wool and Coolmax can be recommended for use in base layers where both heat insulation and moisture transport are important, with merino wool being most suitable for cold climates. Furthermore, bamboo viscose and Tencel could be suitable alternatives for use in base layers for activities of moderate intensity in varying climate conditions. PCM, with its low heat resistance and medium-high moisture transport, makes the material less suitable for base layers.

The test results from the study provide insight into the materials' thermophysiological comfort but should not be seen as a comprehensive picture of this comfort. To obtain a more valid conclusion, additional tests and consideration of more factors are required.

Keywords: Thermophysiological comfort, thermal insulation, moisture transport, Coolmax, phase-change material, bamboo viscose, Tencel, merino wool, functional garments.

SAMMANFATTNING - POPULÄRVERSION

Funktionskläder, såsom träningskläder och underställ, innehar en stark position på den globala marknaden. Många av dessa plagg tillverkas av syntetiska material. Materialval har en betydande inverkan på klädernas miljöpåverkan. Många underställ är tillverkade av blandade material, vilket komplicerar återvinningsprocessen. Därför finns ett behov av innovativa textilproduktionsmetoder för att minska miljöpåverkan.

I den presenterade studien undersöktes olika typer av material som kan användas för att tillverka underställ. Syftet var att identifiera material som är effektiva för att hålla värmen och transportera bort fukt. Dessutom undersöktes potentialen för olika användningsområden för dessa material, med målet att bidra till utvecklingen av mer mångsidiga och miljövänliga plagg.

Materialen bambuviskos, merinoull, Tencel, PCM och Coolmax analyserades i studien. Provbiter av respektive material stickades och testades för att utvärdera dess förmåga att hålla värmen och transportera bort fukt. Därefter analyserades resultaten för att sedan kartlägga deras användningsområde baserat på aktivitetsnivå och omgivningsfaktorer.

Resultaten indikerade att merinoull och Coolmax är lämpliga material för underställ, särskilt när det är viktigt med god förmåga att hålla värmen och effektiv fukttransport. Merinoull visade sig vara särskilt effektivt för kalla förhållanden. Bambuviskos och Tencel kan vara lämpliga alternativ för mindre intensiva aktiviteter och varierande klimatförhållanden. PCM visade sig vara mindre lämpligt, då det visade låg förmåga för att hålla värmen och endast medelhög kapacitet för fukttransport.

De erhållna testresultaten ger viktig information om hur bra de olika materialen kan hålla värmen och transportera bort fukt. Ytterligare forskning och fler tester behövs dock för att erhålla ett mer tillförlitligt och heltäckande resultat.

FÖRORD

Vi skulle vilja ta tillfället i akt att framföra ett stort tack till de företag och personer som har gjort detta projekt möjligt. Först och främst vill vi rikta ett stort tack till Seger och Craft för deras bidrag till projektet. På Seger har Rebecca, Louise och Martin varit en stor del av vårt team och deras engagemang och insatser har varit avgörande för framgången i detta arbete. På Craft vill vi även tacka Henrik för hans värdefulla insikter.

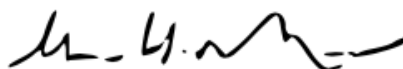
Vidare vill vi rikta ett varmt tack till all personal på Textilhögskolan vid Högskolan i Borås för deras generösa delning av kunskap och expertis. Deras stöd har varit avgörande för att vi har kunnat utforska och genomföra vårt forskningsprojekt. Särskilt vill vi lyfta Stefan Gustafssons engagemang, vars stöttande och kunskap har gett stabil grund genom hela projektet. Vi skulle också vilja rikta vår tacksamhet till vår handledare, Joel Peterson, för hans stöd, vägledning och expertis. Hans engagemang för vårt arbete har varit en viktig drivkraft i vårt projekt.

Denna kandidatuppsats inom textilteknologi utgör en viktig del av vår akademiska resa och representerar avslutningen på vår utbildning. Arbetet hade inte varit möjligt utan alla personer som hjälpt till under projektets gång.

Filippa & Moa



Filippa Westerlund



Moa Hollén

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning.....	i
Abstract.....	ii
Sammanfattning - populärversion	iii
Förord	iv
Innehållsförteckning	v
1. Introduktion.....	1
Problembeskrivning.....	2
Syfte.....	2
Forskningsfrågor.....	3
Avgränsningar	3
2. Teoretisk referensram.....	4
Fysiologisk – och termisk komfort.....	4
Termofysikaliska egenskaper	5
Värmeisolering	5
Fukttransport.....	6
Värmeisolering och fukttransport kopplat till textilen	9
Textila konstruktionen från fiber till slutberedning.....	12
Fibrers tekniska egenskaper.....	13
Coolmax.....	13
Fasomvandlingsmaterial.....	13
Bambuviskos	14
Tencel	14
Merinoull	14
Aktivitetsnivåer kopplat till komfort och miljö.....	15
Teknisk produktutveckling av funktionskläder och dess miljöaspekter.....	16
3. Material och metoder	18
Material, maskin och den textila konstruktionen.....	18
Bestämning av värmemotstånd.....	21

Bestämning av fukttransport.....	22
4. Resultat.....	24
Värmemotstånd.....	24
Fukttransport.....	25
Fukttransport - Wickview i horisontell riktning	25
Fukttransport - Wickview i vertikal riktning	27
5. Diskussion	29
Resultat värmemotstånd och fukttransport	29
Material och den textila konstruktionen	30
Besvarande av forskningsfrågor	35
Utvärdering av studien.....	36
6. Slutsatser.....	39
7. Förslag till fortsatt arbete.....	41
8. Referenser.....	43
Appendix I.	47

1. INTRODUKTION

Funktionskläder utgör idag en betydande marknad över hela världen med ökande efterfrågan på grund av friluftslivets popularitet och fokus på komfort och prestanda (Song 2011). Inom textilindustrin är det nödvändigt att arbeta mot globala målen till 2030, inklusive hållbar konsumtion och produktion (mål 12), bekämpning av klimatförändringar (mål 13) och skydd av ekosystem och biologisk mångfald (mål 15) (Globala målen 2023). Att hitta alternativa textilt fibrer för funktionsplagg med god fukttransport och värmeisolering kan bidra till att uppnå målen. Genom att identifiera användningsområden baserat på aktivitetsnivå och omgivningsfaktorer kan kunskap spridas om plaggens mångsidighet, istället för begränsning till ett specifikt användningsområde.

Inom modeindustrin står syntetiska material för en betydande andel av produktionen. Klädindustrin har också en negativ miljöpåverkan med höga koldioxidutsläpp, utsläpp av mikroplaster och hög textilavfallsmängd (Europaparlamentet 2018). Genom att utveckla funktionskläder med en ren materialkomposition kan återvinning bli mer framgångsrik och effektiv jämfört med kläder med blandade material. Genom att välja högkvalitativa material och beakta termofysiologisk komfort kan man skapa funktionsplagg med goda egenskaper för flera användningsområden samtidigt som man tar hänsyn till miljö och hållbarhet (Europaparlamentet 2022).

En viktig utmaning är att hitta lösningar för att använda biologiskt nedbrytbara, återanvändbara eller återvinningsbara material i funktionskläder för att främja en cirkulär ekonomi inom klädindustrin (Europaparlamentet 2021). Genom att integrera de globala målen i utvecklingen av funktionskläder bidrar det till att skapa en hållbar framtid genom att minska negativ miljöpåverkan och främja ansvarsfull konsumtion och produktion.

PROBLEMBESKRIVNING

I dagens klädindustri produceras, konsumeras och kasseras kläder med en exponentiell ökning för varje år. Där klädgarderoben blir en kollektion av kvantitativa inköp istället för att satsa på mångsidiga plagg med funktionalitet och kvalitet i tidlös design. Utbud och efterfrågan leder till pressade priser, flyttade produktioner och nedskärningar i kvalitativa materialval, vilket tyder på att dagens företags affärsmodeller är ohållbara (Song 2011). Ett plaggs totala miljöpåverkan kan till stor del härledas till materialvalet. De mest förekommande textila fibrerna på dagens marknad i funktionsplagg är syntetmaterial eller ull (Shishoo & Bechtold 2015). När det gäller materialkompositionen i underställ är det sällan en ren produkt utan består ofta av blandningar av textila fibrer. Detta komplicerar återvinningsprocessen och gör den nästintill omöjlig. För att kunna 'sluta cirkeln' måste innovativa textila lösningar tas fram för att styra textilindustrin i rätt riktning (Europaparlamentet 2022).

Tidigare konstruktion av ett underställ i Coolmax från Craft påvisade god fuktransport men bristande värmeisolering. Produkten visade sig vara användbar under högintensiva aktiviteter hos elitidrottare men passade inte in för en bredare målgrupp. Hade ett byte av material i produkten förbättrat egenskaperna? Vid företaget Segers textilproduktion i Gällstad finns det en 24-delningstrikåmaskin som inte är i bruk där möjligheten finns till stickning av en avancerad trikåbindning till tekniska textilier. Ett framsteg i termofysiologiska egenskaper i understället kan möjliggöra produktion i stickeriet och öppna upp för nya möjligheter i svensk textilindustri.

Att förbättra produktens funktionalitet till ett mångsidigt underställ som fungerar vid flera användningsområden leder till en linjär konsumtion som resulterar i en mindre och smartare garderob för slutanvändaren. Att ställa de konventionella fibrerna på marknaden mot nya hållbarare fiberval och skapa alternativa lösningar kan leda till en ny väg för termofysiologiska egenskaper hos funktionsplagg. Att främja svenskt näringsliv genom att skapa produktionsmöjligheter i Sverige kan inspirera internationella företag att utforska nya lösningar och materialval och därmed ta textilindustrin framåt.

SYFTE

Studiens syfte är att med vald trikåbindning identifiera alternativa fibrer och ställa dem mot de konventionella för textilier till underställ där man vill uppnå god fuktransport och värmeisolering. Vidare ska materialens användningsområden kartläggas för ett mångsidigt funktionsplagg med en hundra procentig materialkomposition och därmed möjliggöra en klimatsmartare garderob.

FORSKNINGSFRÅGOR

Följande frågeställningar besvaras i studien:

- ◆ Hur fungerar värmeisolering och fukttransport hos de valda fibrerna i trikåbindningen?
- ◆ Vilka av materialen är lämpliga för att användas i underställ med avseende på att uppnå god fukttransport och värmeisolering?
- ◆ Utifrån resultaten av materialens termofysiologiska egenskaper, vilket användningsområde hänvisas textilierna till baserat på utförd aktivitetsnivå och omgivningsfaktorer?

AVGRÄNSNINGAR

I studien utförs testmetoder för att undersöka fukttransport och värmeisolering hos följande material: Coolmax-polyester, fasomvandlingsmaterial, bambuviskos, Tencel och merinoull. En avgränsning är att endast använda 100% materialkompositioner vid stickning av textilprover för att analysera och belysa den individuella påverkan av råmaterial och garnegenskaper på fukttransport och värmeisolering. För att minimera eventuella felkällor kommer inga ytterligare beredningar att utföras som kan påverka textiliernas funktionella egenskaper, förutom tvättning av textilierna. Metoderna begränsas till att bestämma värmemotstånd vid värmeisoleringstester och utforska vätskeöverföring i horisontell och vertikal riktning vid fukttransport. Analys av ångöverföring exkluderas från studien på grund av begränsade resurser.

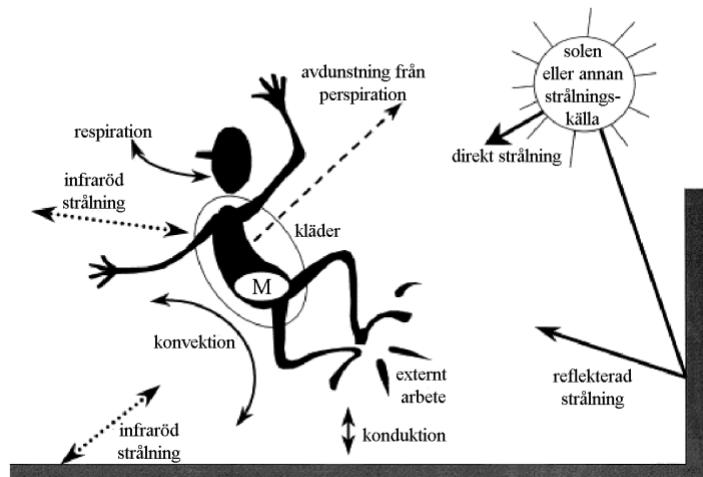
2. TEORETISK REFERENS RAM

FYSIOLOGISK – OCH TERMISK KOMFORT

Komfort definieras som ett behagligt tillstånd av fysiologisk, psykologisk och fysisk harmoni mellan människan och dess omgivning (Slater 1986). Enligt denna definition klassificerat komfort i tre aspekter som är korrelerade till varandra: fysiologisk komfort, psykologisk komfort och fysisk komfort. Aspekterna att beakta vid fysiologisk komfort för tyger och plagg inkluderar taktill komfort, termofysiologisk komfort och passform. Att sätta parametrarna för fysiologisk komfort i relation till klädmaterialens egenskaper, tyg och plaggdesign samt klimat är väsentligt vid produktutveckling av högpresterande tyger för funktionsplagg (Song 2011).

Termofysiologisk komfort handlar om klädernas värme – och fukttransportegenskaper och hur de hjälper till att upprätthålla kroppens värmebalans under olika aktivitetsnivåer (Fan & Chen 2002). Funktionsplaggets tyg ska transportera bort fukt från kroppens yta. Om detta inte sker upplever användaren obehag vilket man vill undvika. Obehag beror främst på ansamling av svett på huden och otillräcklig värmeförlust vid överhettning i varma miljöer och vid träning. För att bibehålla en termisk komfort bör en persons hudtemperatur ligga mellan 33°C till 34,5°C för män och 32,5°C till 35°C för kvinnor. Värmestress är en farlig konsekvens av ökad hudtemperatur vilket orsakas av en låg fukttransporthastighet. När svetten överförs till atmosfären bär den med sig värme vilket sänker kroppstemperaturen och påverkar funktionsplaggets värmeisolering. Bristande värmeisolerande egenskaper i ett plagg leder till att kroppen kyls ner vilket kommer att påverkas av omgivningsfaktorer (Fan 2009).

Detta betyder att det finns ett samband mellan värme – och fuktöverföring genom tyger vilket är fundamentalt för att bibehålla användarens kropp i komfortzonen, *se figur 1*. Därför är det viktigaste syftet med kläder att skapa ett stabilt mikroklimat intill huden för användaren vilket kan uppnås genom att förstå de fysikaliska mekanismerna. De fysikaliska mekanismerna som påverkar komforten i form av värmeöverföring är konduktion, konvektion och strålning. Vid fukttransport är det mekanismerna diffusion, absorption, adsorption och avdunstning (Malhotra & Bhatia 2016).



FIGUR 1 – EN SCHEMATISK BESKRIVNING PÅ VÄRMEFÖRLUSTEN FRÅN KROPPEN. M: METABOLISK VÄRMEPRODUKTION (HAVENITH 1999).

TERMOFYSIKALISKA EGENSKAPER

VÄRMEISOLERING

Ett materials isoleringsförmåga beskrivs utifrån dess värmemotståndsegenskaper. Termen värmemotstånd bygger på materialets förmåga att motstå värmeöverföring. Ett högt värmemotstånd innebär att materialet har en effektiv isoleringsförmåga och begränsar värmeöverföringen över materialskiktet (Rossi 2015).

Värmeisolering, termisk isolering, bygger på termodynamik vilket är läran om energi och dess omvandling i olika faser i ett samband mellan värme och arbete. Termodynamikens grundprinciper utgår från fyra huvudsatser där koppling mellan egenskaperna temperatur, volym och tryck i ett system studeras. Termodynamikens första huvudsats, även kallad energiprincipen, säger att energi varken kan skapas eller förstöras, endast omvandlas från en form till en annan. Denna hävdar att energi är en termodynamisk egenskap medan termodynamikens andra huvudsats hävdar att energi har kvalitet såväl som kvantitet och att processer sker i riktning mot en minskning av energikvalitet. En termodynamisk analys ger insikt om hur mycket värme som måste överföras för att hantera verkliga termiska problem och förstå hur man agerar mot principen om bevarande av energi. Termodynamiken visar på mängden värmeöverföring som sker från ett jämviktsstillstånd till ett annat medan vi i praktiken är mer intresserade av hastigheten för värmeöverföring (Çengel 1997).

Energi finns i flera former som exempelvis termisk, kemisk – och massenergi. I en termodynamisk analys ser man över de olika energiformerna som utgör den totala energin i systemet. Energi att analysera delas in i två grupper: makroskopisk och mikroskopisk. Makroskopiska energiformerna är energin som systemet besitter i helhet där yttre faktorer kan påverka. Mikroskopiska energiformer påverkas inte av yttre faktorer utan är energin relaterade till molekylstruktur i systemet och dess grad av molekylär aktivitet. Molekyler i gasfas har betydligt högre energinivå än i

aggregationstillstånden flytande eller fast form (Çengel, Cimbala, Kanoglu & Turner 2017).

Värmeöverföring utgör en subgrupp inom termodynamiken, där reduktionen av värmeöverföring mellan två objekt i termisk kontakt eller genom strålning bestämmer värmeisoleringen. Värmeöverföring är oundviklig när föremål med temperaturskillnader kommer i kontakt med varandra. Denna energiöverföring sker alltid från det varma till det kallare mediet och upphör när de båda medierna når samma temperatur och befinner sig i termisk jämvikt. Temperatur är en fysikalisk storhet och ett mått på den psykologiska känslan av det som vanligtvis uppfattas som varmt eller kallt. En kropp med en hög termisk energikapacitet kan absorbera eller avge värme utan att ändra sin temperatur (Çengel et al. 2017).

Konduktion, konvektion och strålning är tre grundläggande mekanismer för överföring av värme. Konduktion är ledningen av värmeenergin från de mer energirika partiklarna till de närliggande energifattigare partiklarna vid interaktion. Denna energiöverföring kan ske i gaser, vätskor och fasta ämnen. Vid kollision och diffusion av molekyler sker denna mekanism på grund av substansernas slumpmässiga rörelse. I fasta ämnen vibrerar molekyler och energitransporten sker med hjälp av de fria elektronerna. Faktorer som påverkar värmeledningshastigheten i ett medium inkluderar dess geometri, tjocklek, materialegenskaper och temperaturskillnaden mellan omgivningen och mediet. En tjockare isolering minskar värmeförlusten medan en större yta ökar värmeförlusten (Hahn & Özişik 2012).

Konvektion är överföringen av energi genom kombinationen av ledning och strömning mellan en fast yta och den intilliggande vätskan som befinner sig i rörelse. En snabbare vätskerörelse resulterar i en ökad värmeöverföring genom konvektion. Vid frånvaro av molekylär rörelse sker konvektionen endast genom ledning mellan den fasta ytan och den intilliggande vätskan. Värmeöverföringen ökar vid närvaro av molekylär rörelse vid konvektionen, men det komplicerar bestämningen av värmeöverföringshastigheten (Nield & Bejan 2013).

Energiöverföringen från strålning sker genom emission av elektromagnetiska vågor eller fotoner som ett resultat av förändringar i atomernas konfiguration. Värmeöverföring genom strålning kräver inte närvaro av ett intermediärt medium jämfört med konduktion och konvektion. Däremot sker termisk strålning från eller till en yta som är omgiven av luft parallellt med ledning eller konvektion. Alla kroppar över absoluta nollpunkten, oavsett aggregationstillstånd, avger, absorberar eller överför strålning i varierande grad (Howell, Menguc & Siegel 2015).

FUKTTRANSPORT

Fukt transporteras i aggregationstillstånd gas- eller vätskeform. När en plan yta kommer i kontakt med en vattendroppe sker delvis vätning med en kontaktvinkel θ , eller vätning vilket uppstår när kontaktvinkeln är noll (de Gennes 1987). Transport av vätska sker främst genom fuktspridning med kapillärkrafter, sorption och vid övergång till gasfas. Transport av gas involverar diffusion, desorption, konvektion och kondensation. Fukttransport beskriver ett materials förmåga att transportera vätska i ett poröst material genom kapillärkrafter. Inom fysik används massflöde för

att beskriva en kropps förmåga att transportera massa eller en fluid och mäts i $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Massflöde kan också användas som ett alternativ till Ficks lag som berör diffusion, eller i Darcys lag som mäter massflödet av vätska genom ett poröst media (Mortimer 2000).

Diffusion beskriver den passiva förflyttningen av molekyler från ett område med högre koncentration till ett område med lägre koncentration, exempelvis när distribueras genom ett materials kapillärrör eller när ånga från luften passerar genom och distribueras i ett material. Diffusion uppstår på grund av ångans kinetiska rörelseenergi då system strävar efter att uppnå ett tillstånd av minimal energi för att vara i jämvikt. Om fördelningen det finns en energi- eller fördelningsgradient tenderar materialtransport uppstå för att uppnå ett jämviktstillstånd. Hastigheten för diffusion beror på koncentrationen av ångan, tryckskillnader och materialets porositet och tjocklek (Mittemeijer 2021). När vatten eller gas frigörs från en yta sker desorption. Detta kan ske genom att förändringar i temperatur, trycket eller genom användning av lösningsmedel. Värme från strålning, konduktion eller konvektion kan excitera vattenmolekylerna till gasfas som då avdunstar från en yta (Eimer & Eimer 2014).

Konvektiv massöverföring innebär transport av värme eller en substans från en plats till en annan genom både vätskeflöde och diffusion. Det uppstår när en gas eller en vätska flödar över en yta och effekterna av strömningsrörelsen och molekyllär diffusion samverkar för att driva överföringen av den specifika värmen (Incropera, DeWitt, Bergman & Lavine 2007). Kondensation är en fysikalisk process där en substans övergår från gasform till flytande form. Det är den omvända processen till avdunstning och sker när en gas kyls ner till en temperatur under dess förångningsentalpi, exempelvis genom direkt ytkontakt eller atmosfären (Ghiaasiaan 2007). Den relativa luftfuktigheten, i en rymd definieras som vattenmassan i luften. Luftfuktigheten påvisas också av ångtrycket, det relativa trycket för vattenångan i rummet (Mortimer 2000). Heterogen kondensation sker vid gradvis temperatursänkning av fukthalten i luften och när ångan kommer i kontakt med en irreguljär ytstruktur eller renhet. En annan form av kondensation är homogen kondensation vilket sker vid en plötslig förändring av omgivningen som hög fukthalt i luften, sänkning av det yttre trycket, eller temperaturskillnader i ånga. Form av kondensbildning, ytstruktur, och ångtillstånd är olika faktorer som varierar fuktpåverkan på ett material (Ghiaasiaan 2007).

Sorption innebär fysikalisk upptagning av fukt där adsorption innebär upptagande av gas eller vätska till en yta, kemisorbtion utgör de adsorptioner som leder till en kemisk reaktion, och absorbtion vilket innebär upptagande av gas eller vätska i ett poröst material (Nationalencyklopedin 2023). Absorptionsförmågan och absorbtionshastigheten påverkas av den absorberande vätskans densitet och det uppsugande materialets porositet såväl som ämnenas kemiska struktur. Absorption och adsorption beror på ytspänningar och gränsytspänning och beskriver processen genom vilken material attraherar och håller kvar fukt på sina ytor. I makroskopiska begrepp kan dessa definieras som energin som måste tillföras för att öka gränssnittsarean och sker vid intramolekylära bindningar som kovalenta, joniska eller metalliska bindningar, och intermolekylära krafter som van der Waals-krafter (Zhong 2006). Hygroskopicitet är en term som används för att beskriva ett materials

förmåga att absorbera fukt från omgivningen och det finns ingen standardiserad definition av hygroskopicitet. Mängden fukt som hålls av hygroskopiska material är vanligtvis proportionell mot den relativa fuktigheten och påverkar därmed avdunstning, absorptionshastighet och fukttransport (Mortimer 2000).

Vattentransport i ett kapillärrör bildar en konkav eller konvex vattenyta, även kallat menisk. Vätskans ytspänning leder till en tryckskillnad över den krökta vätske- eller ång-gränsyta. Värdet för tryckskillnaden för en sfärisk yta representeras av Young–Laplace-ekvationen (Zhong 2006). Kapillärkrafter, drivna av ytspänning, styr vätningen och bildandet av menisker i kapillärrör. Dessa krafter, tillsammans med gränssytspänningen, påverkar transporten av fukt genom porösa material. Hydrodynamik används för att beskriva vätskeflödet och de krafter som styr det, såsom viskositet, tröghet och tryckskillnader. Genom att undersöka samspelet mellan dessa faktorer fås insikt om fuktens beteende i olika material (Ira & Pijush 2007).

Viskositet, tröghet och tryckskillnader är faktorer som bestämmer vätskors beteende och hänvisar till en vätskas motstånd mot flöde eller dess inre friktion. Det bestämmer hur lätt en vätska kan deformeras och vid vilken hastighet den kan transporteras då vätskor med hög viskositet flyter långsammare. Tröghet i vätskor är förknippad med en vätskas massa och dess motstånd mot förändringar i rörelse. En vätskas tröghet styr dess tendens att behålla sitt nuvarande rörelsetillstånd eller förändrande hastighet. (Ira & Pijush 2007). Viskösa flöden uppstår när effekterna av vätskans viskositet balanseras av de som uppstår från vätsketröghet, materialkrafter och tryckskillnader. Det är möjligt att beräkna vätskerörelsen med Navier-Stokes ekvationer under idealiska omständigheter, som vid parallella väggar runt vätskeflödet (Ira & Pijush 2007). Om en vätska har en hastighet i en riktning som är beroende av en annan riktning kommer momentet från den andra riktningen transporteras i samma riktning som vätskan. Momentet av vätskan kan beräknas på samma sätt likt en själv-diffusion (Mortimer 2000).

Rent kemifysikaliskt kan elektriska laddningar påverka både absorption och fukttransport genom att påverka molekylernas interaktioner. Om två molekyler har motsatta laddningar kan de dra mot varandra, medan två molekyler med samma laddning kan stöta bort varandra. Dessa interaktioner kan påverka hur effektivt en substans kan absorbera eller transportera fukt. Fukttransport är också påverkad av elektriska laddningar. Vattenmolekyler är dipoler, vilket innebär att de har en positiv och en negativ laddning på motsatta sidor av molekylens. Om en substans har en elektrisk laddning kan det påverka hur vattenmolekyler rör sig genom det. Till exempel kan en negativ laddning på en yta öka vattnets förmåga att transporteras genom det (Mortimer 2000). En vätskas struktur och egenskaper bestäms av systemets potentiella energi och dess kinetiska energi, medan egenskaperna hos en gas i första hand bestäms av dess kinetiska energi, vilket gör analysen av vätskebeteende komplexare än för ånga (Booth 1982).

I vissa teorier om vätsketransport har man upptäckt att en molekyls eller jons rörelse genom en vätska i genomsnitt hindras av en friktionskraft som representerar de retarderande effekterna av interaktionerna med de närliggande molekylerna. (Mortimer 2000) . I en ordnad uppsättning av molekyler kommer sidokedjorna att

vara länkade. I ett slumpmässigt arrangemang kommer ett antal fria molekyler att vara tillgängliga och om de är av polär karaktär såsom hydroxyl OH, karboxyl COOH, karbonyl CO, kan vattenmolekyler fästa sig. Ordnade uppsättningar av molekyler förekommer i de kristallina områdena och slumpmässiga grupperingar i det amorfa områdena (Booth 1982).

VÄRMEISOLERING OCH FUKTTRANSPORT KOPPLAT TILL TEXTILEN

I ett funktionsplagg för att uppnå optimal värme – och fuktreglering påverkar komfortegenskaper av flera huvudfaktorer från valet av fiber till den textila konstruktionen. Huvudfaktorerna inkluderar fiberstruktur, fiberdensitet, absorptionsförmåga, specifik värmekapacitet, garnsnodd, textiltjocklek och struktur. För att uppnå den optimala termofysiologiska komforten inom det valda användningsområde måste överföringen av värme som genereras av människokroppens metaboliska processer vara i balans med värmeöverföring som sker med fukttransport genom textilen i gas – och flytande form till omgivningen (J Fan 2009). Detta innebär att flera påverkande parametrar måste analyseras i kombination med valet av material till funktionsplagget. Nedan presenteras en balansering av följande ekvationer.

Lagring av energi = (värmeproduktion - värmeförlust) = (metabolism - externt arbete) - (konduktion + konvektion + strålning + avdunstning + respiration)

Om energilagringen är negativ betyder det att värmeförlusten är större än vad som produceras vilket kommer att resultera i att kroppen kyls ner. Vid positiv energilagring ökar kroppstemperaturen. För att behålla den termiska förmågan under användning bör faktorer som hastigheten på vattenavdunstningen från huden eller tyget, omgivningens temperatur där den relativa fuktigheten är inräknad, atmosfärstryck och hastigheten för värmeupptagningen genom vattenabsorption i tyget beräknas. För öka den termiska förmågan ger ett mellanrum på upp till en centimeter mellan huden och plagget goda resultat vad gäller värmeisolering. Den termiska förmågan minskar när vindhastigheten ökar och när det finns en ytkontakt mellan tyget och en varm yta (Bhatia & Malhotra 2016).

Värmeöverföringen genom kläder sker på grund av värmeledningen mellan fiber till fiber och fiber till hud, konvektion av luft genom tyget och strålning från kroppsvärmen. Från tygets yta avges värme genom konvektionsmekanism från luften i omgivningen och genom strålning till omgivningens kallare ytor. Fuktöverföringen genom kläderna sker med hjälp av diffusion, absorption, adsorption och avdunstning där kappillärtryck och gravitation påverkar dessa rörelser (Pan & Gibson 2006).

Textilens förmåga att leda värme påverkas till större utsträckning av andelen luft som fibern kan behålla än dess konduktivitet. Om en fiber kan absorbera höga halter av fukt beror värmen som genereras på den upptagna vattenhalten snarare än fiberns värmekapacitet. Detta innebär att en högre absorptionsförmåga hos fibern leder till en högre värmeutveckling. Den största påverkan på värmeförlusten eller värmeupptagningen hos ett textilmaterial beror på omgivningsförhållandena (Morton & Hearle 2008). Det är fiberns kemiska struktur som bestämmer de hygroskopiska egenskaperna. Fibrer med god hygroskopisk förmåga bör inte

användas till sportkläder då fuktupptagningen och absorptionshastigheten är begränsade i dessa fibrer (Song 2011). Värmeöverföring från vätningsprocessen är högst i högabsorberande fibrer och väldigt låg i icke-hygroskopiska fibrer. Vätning är en förutsättning för absorption, om en vätska inte får fibern att bli våt kan textilen inte absorbera vätskan och transportera den genom fibrernas kapillärer (Mather & Wardman 2015). Vätning och fukttransportbeteendet i fibrösa material är grundläggande för utvecklingen av högpresterande funktionella textilier. Ett optimalt funktionsplagg är en flerlagerstruktur i form av en tvåvägsstruktur där det inre lagret, som är nära huden, har en utmärkt förmåga att transportera fukt för att sedan absorberas i det yttre lagret och avdunsta till omgivningen (Patnaik 2006).

Ett underställ måste ha goda fukttransportegenskaper och en mycket snabb torktid. Detta eftersom värmeisoleringen minskar när textilen är vätskefylld. Plaggets fukttransport beror huvudsakligen på tygets kapillärstruktur, absorptionsförmåga och fibrernas ytegenskaper. Anpassning av textilens hydrofila egenskaper utefter applikation kan uppnås genom en ändring av fibrernas tvärsnitt för att optimera förhållandet mellan materialets yta kontra volymförhållande för en önskad diffusion och värmeöverföring. Fukttransporten påverkas om materialet utsätts för mer vätska än vad kapillärerna kan uppta vilket leder till att vattnet istället pressas in i textilens tomrum. Detta betyder att hydrofiliteten är för hög vilket leder till att torktiden förlängs då vatten lagras i textilen. Fukttransportegenskaperna kan även kopplas till textilens densitet (Crow & Osczevski 1998). Huvudfaktorer som bestämmer mängden svett ett underställ absorberar är textilens tjocklek, andel massa av hygroskopiska fiber och porositeten hos icke-hygroskopiska fiber (Shishoo & Bechtold 2015).

En studie visar att en hydrofil ytbehandling av icke-hygroskopiska fibrer ökar textiliers absorptionshastighet men inte absorptionsförmåga (Yoo & Barker 2004). En annan studie visar att fuktabsorption i hygroskopiska fibrer som ull bidrar till ökad termisk komfort på grund av förmågan att generera värme jämfört med användningen av ett icke hygroskopiskt syntetmaterial. Detta är bevisat vid låga temperaturer eller höga fuktighetshalter (Stuart, Schneider & Turner 1989).

En studie om termofysiologisk komfort där materialegenskaper relateras till fiberfinleken och tvärsnittet visar att en minskning av den linjära fiberdensiteten ökar spridningshastigheten för en droppe genom tyget. Fibrer med icke cirkulärt tvärsnitt uppvisar likande beteende på grund av sin större ytarea. Genom att öka den linjära fiberdensiteten genom sammanslagning av icke-cirkulära fibrer ökar porositeten, vilket resulterar i högre termiskt motstånd, lägre termisk konduktivitet och absorptionsförmåga, detta gör att materialet kommer upplevas varmare. Studien visar även att ovala polyesterfibrer upplevs svalare, medan triangulära eller skårade tvärsnitt upplevs varmare än ett cirkulärt tvärsnitt (Varshney, Kothari & Dhamija 2010).

En studie analyserar fukttransporten hos fibrer med kapillärer i längdriktningen och hur fördelningen av fibertätheten påverkar detta. Variationer i flödeshastigheten antas uppstå mellan fibrer med varierande kanaldiametrar. Begränsningar i vätskeflödet, stillastående eller tätpackade zoner, minskar fukttransporten (Stanelle, Sander & Marcus 2005). En annan studie visar att ökning av fibertäthet och

kristallinitet i fibrerna leder till en ökad konduktivitet i textila strukturer (Koru, Büyükkaya & Kan 2022).

Fukthanteringsegenskaperna hos stickade tyger av regenererad bambu med olika täckningsfaktorvärden analyseras i en studie. Resultaten visar att när täckningsfaktorn för tyget ökar, ökar vätningsstiden samtidigt som den maximala vätningsradien minskar. Dessutom observeras en minskning av absorptionshastighet, spridningshastighet och den totala fukthanteringskapaciteten med ökande täckningsfaktor. Slutsats är att den flytande fukttransporten minskar i tyger med högre täckningsfaktor (Wardiningsih & Troynikov 2012).

En studie undersöker fukthanteringsegenskaperna hos stickade tyger av singeljersey, tillverkade med olika bomullsgarnantal och tvinningskoefficienter. Resultaten visar att en högre tvinningskoefficient skapar en mer kompakt struktur vilket minskar maximal absorptionshastighet, spridningshastighet och maximal vätningsradie. Samtidigt ökar vätningsstiden för tygerna. Vid användning av tunnare garn ökar den maximala absorptionshastigheten, spridningshastigheten och maximala vätningsradie. Samtidigt minskar vätningsstiden för tygerna (Pruchova, Süpüren, Özdil & Özçelik 2009).

I en annan studie jämförs konventionella viskosfibrer med bambuviskosfibrer och Tencel för att undersöka likheter och skillnader i deras molekylära struktur. Tencel består av längre molekyllängder och har en högre grad av kristallinitet, medan bambuviskosfibrer har en lägre grad av kristallinitet. Vid undersökning av fibrerna och vattendesorptionen observeras att bambuviskosfiber har en bättre förmåga att behålla och frigöra vatten. Studien tyder på att råmaterialet hos de regenererade fibrerna påverkar materialstrukturen och därmed egenskaperna (Xu, Lu & Tang 2007).

Fukthanteringsegenskaper och effekten av materialkomposition bestående av bambuviskos – och Tencelgarn i stickade tyger konstruerade i en singeljersey bindning har studerats. Resultaten visar att en ökning av Tencelhalten i materialkompositionen resulterar i minskad vätningsstid, absorptionshastighet, spridningshastighet och total fukthanteringskapaciteten. Däremot ökar den maximala vätningsradien. En annan observation från studien var att en ökad Tencelhalt resulterar i minskad gram per kvadratmeter (GSM) -vikt, vilket innebär att ett ökat blandningsförhållande förkortar blötningstiden för det stickade tyget. Tygerna av Tencel uppvisar goda fuktreglerande egenskaper och snabb fukttransport. Tygerna av bambuviskos behåller vätska i de stickade strukturutrymmena vilket resulterar i en våt känsla för användaren. Enligt studiens resultat visar alla materialkompositioner av bambuviskos och Tencel på goda fukthanteringsegenskaper (Karthikeyan, Nalakilli, Shanmugasundaram & Prakash 2017).

Flytande fukthanteringsegenskaper hos stickade tyger undersöks i materialkompositioner av ull/polyester och ull/bambu under förhållanden som är lämpliga för första lagret av sportkläder. Resultatet visar att blanda ull med polyester eller ull med bambu förbättrar tygernas fukthanteringsegenskaper jämfört med tyger som består av 100 % ull eller 100 % bambu (Troynikov & Wardiningsih 2011).

En jämförande studie analyserar pläterade tyger med varierande hydrofila och hydrofoba fibrer i topp- och bottenskikt, samt olika typer av hydrofoba fibrer i toppskiktet med avseende på deras fukthanteringssegenskaper. Resultaten indikerar att tyger som är stickade med hydrofoba fibrer i toppskiktet verkar lämpliga för applikationer närmast huden. Dessa tyger klassificeras som fuktkontrollerande tyger på grund av deras höga förmåga att absorbera fukt och transportera den enkelriktat genom textilen, samt hantera spridningshastigheten på materialens avigsida (Jhanji, Gupta & Kothari 2015).

TEXTILA KONSTRUKTIONEN FRÅN FIBER TILL SLUTBEREDNING

Fiberegenskaperna i garn påverkar förmågan för värmeisolation och fukttransport hos textilier. Den termiska förmågan kan öka genom användning av fibrer med specifik struktur som krusade fibrer och fibrer med tvärsnitt som är ihåliga leder även till en bättre fukttransport, medan fibrer som är platta leder till försämrade egenskaper inom området (Morton & Hearle 2008). Fibernas fysikaliska egenskaper styr även en textils termofysiologi då en lägre densitet, högre specifik värmekapacitet och en lägre fuktupptagningsförmåga leder till förbättrade termiska egenskaper. Högre fuktupptagning leder även till sämre fukttransport då fibrerna sväller. Tunna fibrer med lågdensitetsmaterial innehar god värmeledningsförmåga (Bhatia & Malhotra 2016).

Garnegenskaper, som garnets densitet, påverkar hur mycket fukt som kan absorberas och hur snabbt fukten kan transporteras genom textilstrukturen samt materialens värmeisoleringsförmåga. I tätpackade garner kan mindre fukt absorberas vilket innebär långsammare fukttransport och lägre värmeisolation. Tvinningen på garnet påverkar dess värmeledningsförmåga och fukttransport (Nyoni & Brook 2006). Enkelt garn utan snodd kan vara mer effektivt när det gäller värmeisolering då strukturen i flertalet fall leder till parallella fibrer med tomrum mellan filamenter (Bhatia & Malhotra 2016). Större tomrum mellan filamenter hindrar kapillärtransport av fukt längs fibrerna. Tvinnat garn skapar en starkare struktur som även tillåter luftfickor längs garnet och därmed fukttransport längs fibrerna samtidigt som värmeisoleringen är lägre (Bhatia & Malhotra 2016; Nyoni & Brook 2006). Texturerade garner med ruggad yta eller utstickande fibrer som skapar en hårig yta tillåter luftreservoarer och därmed hög värmeisolering (Bhatia & Malhotra 2016).

Textilstrukturen påverkar ett plaggs värmeisolation och fukttransport eftersom de skapar olika mönster av öppningar och täthet mellan garnerna. Vid val av bindning och maskininställningar kan en textils termiska förmåga öka genom att sticka med högre masktäthet och areavikt då volymen hindrar nerkylande luftgenomsläpp (Booth 1982). Kompakt stickat tyg med en hög tygtjocklek tillåter bättre värmeisolation på grund av att det begränsar luftflödet, medan fukttransporten samtidigt försämras på grund av den höga densiteten inte ger rum för fukttransport. Maskinjusteringar som kortare masklängd och högre luftgenomsläpp tillåter högre fukttransport (Bhatia & Malhotra 2016).

Beredningsprocesser av textila material som färgning och efterbehandlingar kan påverka materialets funktionella egenskaper. Ett exempel är att applicera fuktkontrollerande ytbehandlingar som bland annat en hydrofilisk yta på fibrerna eller en plasmabehandling vilket kan öka absorptionsförmågan och därmed förbättra

fukttransporten (Mather & Wardman 2015). Tvättbehandling kan också påverka fukttransporten och värmeisolationen, exempelvis leder användning av tvättmedel som innehåller enzymer högre fukttransport då ytskyddsämnen bryts ner på fibrerna vilket ökar absorptionsförmågan. Värmeisolationen hos en textil kan förbättras genom att applicera en värmeisolerande beläggning på textilerna. Detta kan bidra till att minska värmeförlusten och därmed öka textilens förmåga att behålla värme (Cloud, Cao & Song 2013).

FIBRERS TEKNISKA EGENSKAPER

COOLMAX

Coolmax är ett multifilamentgarn bestående av modifierade polyesterfilamentgarn vars tvärsnitt har tetrakanaler, innebärande ett tvärsnitt med fyra kanaler längs filamenterna. Tetrakanalerna har förmågan att transportera fukt från omgivningen eller huden. Mer specifikt absorberar och diffunderar Coolmax fukt genom kapillärerna som transporterar fukten över en större yta av tyget vilket leder till en förbättrad evaporerande torkning. Detta på grund av att ytan hos Coolmax är 20% större jämfört med garn med samma linjära densitet. Under absorptionen hjälper luftflödet att hålla kroppen torr och sval (Kan, Yam & Ng 2014). Filamentet har en diameter på 600~710 nm (Musaddaq et al. 2018). Den specifika värmekapaciteten hos torra polyesterfibrer: 1,03 J/(g K). För polyestrar är fuktupptagningen 0,4% vid 65% luftfuktighet och 20°C (Morton & Hearle 2008). Den termiska konduktiviteten hos Coolmax är ca 45,5 W/mK och den termiska resistansen är ca. 28,7 m²K/W. Den termiska kapaciteten hos Coolmax-tyger ökar med en ökad fukthalt i tyget, medan värmekonduktiviteten i ett Coolmax-tyg med en fukthalt över 22 % är relativt linjär. Detta kan förklaras av polyesterns hydrofobicitet och utformningen av filamenterna. (Onofrei, Maria Rocha & Catarino 2012). Kristalliniteten hos polyester ökar vid elongation och når ca 50% kristallinitet vid töjning (Morton & Hearle 2008).

FASOMVANDLINGSMATERIAL

Fasomvandlingsmaterial, ofta kallat PCM från engelska phase change material, bygger på beläggning av garn eller mikroinkapsling (MEPCM) och termisk energilagring (Mondal 2008; Zhao & Zhang 2011). Mikroinkapsling innebär att ett material är omslutet i en kapsel mindre än 2000 mikroner i diameter (Celanese 2001). Fasomvandlingsmaterial har förmågan att ändra fas från till exempel fast till flytande genom att nyttja latent värme som lagras från kroppen eller solen, och därmed frigör energin och en omvänd kylningsprocess sker. Isoleringseffekten av materialet består av mikrokapslarnas specifika värme och temperaturintervallet för fasomvandling. Då denna typ av isolation är temporär benämns det som en dynamisk termisk isolation (Mondal 2008). Fasomvandlingsmaterial produceras vanligtvis som multifilamentgarn med ett nästan cirkulärt tvärsnitt. Ett flertal olika variationer av PCM går att producera, med melamin-formaldehyd och urea-formaldehyd som två av dem mest använda omkapslande materialen, med paraffiner i kärnan som hexadekan, n-eikosan eller n-oktadekan som termiskt stabila kärnor. Mikrokapslar med ett högre förhållande kärna till skal förbättrar textilens värmereglerande förmåga. Behandlat tyg med additiv kan absorbera 4,44 kJ/kg värme om mikrokapslarna i textilen genomgår en smältprocess. Mikroinkapsling innehållande oktadekan i kärnan visade en fasförändring vid 29–30°C. (Zhao & Zhang 2011). I

en studie undersöktes termoreglerade kompositfibrer med 4-24% mikroinkapslad n-oktadekan i kärnan. Resultaten indikerade att entalpin för fibrerna cirkulerade 11 kJ/kg. Dessutom påvisades fibrerna uppvisade god mekanisk hållfasthet applicerbar på textilier och kläder då MEPCM inte översteg 20% av viktprocenten (Zhang, Wang, Tao & Yick 2005).

BAMBUVISKOS

Bambuviskos är en cellulosabaserad regenererad fiber som består av 61% cellulosa och 32% lignin. Fiberlängden ligger mellan 38–76 mm och fiberdiameter är cirka 20 μm . Vid en temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 65% kan viskosfibern absorbera 12-14 % fukt och dess specifika värmekapacitet är 1,35 – 1,59 J/(g K) (Mather & Wardman 2015). Fiber tvärsnittet är sågtandat med flera mikrohål vilket ger textilen en sval känsla, god andningsförmåga och hygroskopiska egenskaper (Muthu 2014). Bambuviskosen har en amorf struktur vilket bidrar till dess goda absorptionsförmåga. Utöver detta uppvisar fibern imponerade fuktransportegenskaper och snabb överföringshastigheten från vatten till ånga (Akbar, Su, Amjad, Cai & Lin 2017).

TENCEL

Tencelfibrer är regenererade cellulosafibrer som skapas från organiskt upplösande av cellulosa och har ett cirkulärt tvärsnitt. Cellulosamolekylen består av glukosringar med hydroxylgrupper längst ut på molekylkedjan. Bindningen mellan fibrillerna är svag vilket ofta leder till släpp av fibriller, och materialet uppfattas som mjukt (Morton & Hearle 2008). Fiberlängd hos standard Tencel är runt 38–55 mm och har en finhet runt 1,3-2,2 dtex (Chen 2014). Tencel produceras vanligtvis som stapelfibrer med cirkulära tvärsnitt där fibrernas yta är jämn (Xu, Lu & Tang 2007). Vid produktion av Tencel kan uppnå hög kristallinitet och orientering genom skapandet av kristallkanaler eller fibriller längs fibers yttre, men sidogrupperna på cellulosan leder till en lättbräcklig fiber (Morton & Hearle 2008). Kristalliniteten hos Tencel är ca 42% på grund av de yttre fibrillerna. I fiberns inre struktur finns många kanaler eller system av porer på \varnothing 5-10 nm med kort diffusionsväg (Militký, Venkataraman & Periyasamy 2022). Tencel har goda hygroskopiska egenskaper, en hög vågmodul och våtstyrka på grund av de inre kanalerna. (Morton & Hearle 2008).

MERINOULL

Merinoull är en naturfiber uppbyggd av makrofibriller bestående av flercelliga proteiner. Fibern är en stapelfiber med en öppen och porös delkristallin struktur. Fiberlängden ligger mellan 60–100 mm och fiberdiametern mellan 15–25 μm . Fibern har en fuktupptagningsförmåga på 14–18% vid en temperatur på 20°C och en relativ fuktighet på 65% (Mather & Wardman 2015). Tvärsnittet är cirkulärt till elipsformat och längs med fibern är den fjällad. Värmeisoleringen i ulltextilier beror på luftutrymmen i materialen och inte i fibern. På grund av ullens krusning har fibern förmåga att fånga in luft vilket ger materialet bra värmeisolation och dess specifika värmekapacitet är 1,36 J/(g K) (Morton & Hearle 2008).

AKTIVITETSNIVÅER KOPPLAT TILL KOMFORT OCH MILJÖ

Sport- och vardagskläder behöver uppfylla särskilda krav för att användas utefter sitt användningsområde och passa användarens krav på termofysiologi (Daanen, Hatcher & Havenith 2005). Utöver reglering av temperatur och fukttransport är plaggets möjlighet att torka, luftgenomsläpp och vikt tillhörande aspekter (Bhatia & Malhotra 2016). Underställ kan avlägsna fukt från perspiration och bidra till komfort hos användaren (Mather & Wardman 2015).

Vid fokus gällande värmereglering behöver förändringen av användares metaboliska värmeproduktion (M) beaktas. Vid lägre aktivitetsnivåer, som att sitta eller stå, produceras cirka $M = 90-115$ W. En lättare promenad eller en rask promenad på 4-5 km/h producerar $M=280-350$ W (Daanen 2015). Vid lägre aktivitet kan ett absorberande underställ bidra till komforten, exempelvis material av viskos, Tencel eller bomull (Mather & Wardman 2015). Den metaboliska värmeproduktionen kan öka till över 2000 W i ytterliga fall av träning och fysisk påfrestning, som intensiv löpning eller skidåkning, hos en person med förhöjt syreintag som upprepat utför intensiv träning (Daanen 2015). Under intensiv träning ökar även luftfuktigheten i mikroklimatet på grund av perspiration. Under intensiv träning kan hydrofobiska material som polyester med icke-cirkulärt tvärsnitt bidra till komforten om textilen behandlas med en hydrofil yta. Detta för att attrahera perspiration som sedan leds bort och inte penetrerar på djupet (Bhatia & Malhotra 2016; Mather & Wardman 2015). Perspiration kan användas som en kylmekanism vid hög metabolisk värmeproduktion då vätskan förångas med energi från tillgänglig värme och en fasomvandling sker. Det är möjligt att uppnå sådan effekt i textilier med låg motståndskraft mot ångöverföring vilket ofta är svårkompatibelt med hög termisk isolering. (Shishoo & Bechtold 2015). Garn eller beläggningar med fasomvandlingsmaterial kan motverka användarens termiska fluktuering mellan olika aktivitetsnivåer och metabolisk produktion (Mather & Wardman 2015).

I varma såväl kalla klimat är det viktigt att plagget reglerar användarens kroppstemperatur och transporterar fukt. I kalla klimat går 80–85% av användarens metaboliska energianvändning till värmereglering. Vid kalla klimat finns fara för köldskador som kan leda till kroniska köldskador, där personer med dålig cirkulation bär en större risk (Wang 2014). Brist på absorption och fukttransport i underställ kan leda till att vätskan kyler ner användaren (Rossi 2015). Hög luftgenomsläpplighet, exempelvis när utrymmet mellan plagg och användare överstiger 10 mm, kan leda till en sämre värmeisolation på grund av luftcirkulationen i kalla klimat (Shishoo & Bechtold 2015). Högre vindhastighet leder även till lägre värmeisolation (Bhatia & Malhotra 2016).

Vid träning i varma miljöer kan man utsättas för värmestress eller värmepåslag vilket är livshotande och har förgjort flera idrottare (McArdle, Katch & Katch 2007). Sportplagg med varierande textilstuktur och värmeledningsförmåga i kartlagda områden anpassade efter användning kan påverka användarens värmestadie och prestanda (Jiao et al. 2017). När evaporation av perspiration begränsas i varma eller humida klimat kan leda till värmereservoarer vilket ökar användarens inre temperatur. Om personen acklimatiserat sig till extremklimat ökar dess uthållighet för den omgivningen och mindre energi går åt att hålla värmebalansen (Morrissey &

Wang 2014). I en studie undersöktes önskan på sportplagg hos cyklister utförande uthållighetsträning i tropiska klimat. I studien svarade fyra fokusgrupper bland annat att de önskar nerkylande sportkläder för att leda kroppsvärme och blockera solljus (Wickramarathne & Al Mahmud 2021).

Värmeisolation och fukttransport i textilier kan analyseras, testas, och modelleras matematiskt för att beakta dess kapacitet under användning. Tester på ett materials termiska egenskaper kan genomföras exempelvis genom att mäta hastigheten för kylning, värmeabsorption, värmemotstånd eller värmeledningsförmåga (Bhatia & Malhotra 2016; Rossi 2015). Fukt från plagg kan överföras i ånga och flytande form. Ett materials fukttransport kan testas i flytande form genom mätning av vätning, fruktspridning, absorption, avdunstning. Fukttransport i ångform kan testas genom textilens diffusion, sorption, absorption, konvektion och kondensering. Simulering av olika klimat och aktivitetsnivåer genom test på material kan användas för att förutsäga dess applikationsmöjligheter (Bhatia & Malhotra 2016).

TEKNISK PRODUKTUTVECKLING AV FUNKTIONSKLÄDER OCH DESS MILJÖASPEKTER

Textilers tillverkning och dess miljöpåverkan ökar med samhällskonsumtionen och ett ökande konsumentbeteende gällande trender. Att integrera och angripa hållbara val i design- och planeringsstadiet kan bekämpa många miljörisker i ett tidigt stadiet av produktutvecklingen, och är en form av designprincip kallad ekodesign. Ekodesign innebär val av material, miljövänliga tekniker, produktutformning passad för funktion, och färg och beredning utan hälso- och miljöfara. Materialvalet i produkten kan betraktas på råmaterialens miljöpåverkan vid skörd och produktion av garn, till vilken grad materialet kan återanvändas eller återvinnas utan toxiska utsläpp (Militký, Venkataraman & Periyasamy 2022). Att välja material med produktens utveckling i åtanke kan underlätta vid avfallssorteringen på grund av de olika sätt på vilka material bearbetas. Förberedelse av syntetisk och naturlig återvinning kräver olika temperaturförhållanden, reagens och tekniska processer, såväl som textilier med samma material men med olika behandlingar. Att producera en textil i ett material utan behandlingar tillåter en mindre komplicerad utveckling av textilen (Girfanova & Abdyrasulova 2021)

Vid stickning av textilier beaktas material- och energikonsumtionen och dem närliggande faktorerna, som transport och energikälla. Logistik med lång frakt, och miljötunga energiutvinningsprocesser leder till en miljömässigt sämre produkt. Andra aspekter under produktion kan påverka en produkts miljöpåverkan som kemikalieanvändningen vid färgning och beredning där ett stort fokus i klimatomfattig design innebär att produktionen av färg sker utan giftiga ämnen. Tencel behöver exempelvis inte blekas på grund av att dess vita färg och låg användning av färgämnen vid lägre temperatur (Militký, Venkataraman & Periyasamy 2022).

Kroppsanpassade idrottskläder består i allmänhet av kompressionsplagg och underställ tillverkade av syntetiska material som polyester och elastan (Williams 2010). Mikrofiberavfall uppstår när lösa eller skadade fibrer lossnar från syntetiska textilmaterial. Textilmaterialen utsätts för nötning och slitage under alla stadier under livscykeln från produktion till avkastning, där användningsfasen orsakar upp

till 90% av skadorna på kläderna (Muthu 2021). Tvättning av syntetkläder står för 35% av dem primära mikroplastavfallen (Europaparlamentet 2018).

Hållbart mode och klädkonsumtion är även grundat i uppfattning under användning och slitage. Kläders kvalitet i relation till hållbarhet leder ofta till en prioritering av den statistiska slittåligheten över estetik och upplevd användningskvalitet där användarens relation är avgörande för långvarig användning av plagget. I med en ökad klädkonsumtion tillverkas inte plagg av samma kvalitet, dock förblir kvaliteten en högt prioriterad egenskap för många konsumenter som reflekteras i nöjdhet vid användning och därmed förlänger användningen av plagget (Connor-Crabb & Rigby 2019).

Den globala fiberproduktionen har kraftigt ökat den senaste åren där bomull och polyester står för över 70% av konsumtionen av textila råmaterial (Russell 2009). Ull påverkar den globala uppvärmningen under produktion med flera faktorer som djurens metanutsläpp och intensiv tvättning vid produktion (Keith 2003; Russell 2009). Ull är biologiskt nedbrytbart men kan ta längre tid att bryta ner än växtbaserade fibrer (Russell 2009). Tencel produceras genom att trä löses upp i ett lösningsmedel, vilket innehåller giftiga ämnen och kan återanvändas i en sluten loop-process (White 2001). Tencel kräver mindre energi att producera jämfört med bomull och syntetiska fibrer (Reddy & Yang 2014). Tencel är biologiskt nedbrytbart (White 2001). Viskos produceras vanligtvis med användning av stora mängder energi och farliga kemikalier, vilket orsakar betydande miljöpåverkan. Många av dessa kemikalier går förlorade i processen och kan leda till förorening om de inte behandlas korrekt (Wilkes 2001). Viskos är biologiskt nedbrytbar men nedbrytningshastigheten kan vara långsammare än bomull och ull på grund av de kemikalier som används i tillverkningsprocessen (Woodings 2001). Polyester är en syntetisk fiber som ofta tillverkas av råolja. Produktionen av polyester kräver mycket energi och leder till höga utsläpp av växthusgaser (Lin 2008). Under användningen kräver polyester inte en intensiv rengöring, vilket kan minska dess energianvändning under livscykeln och vattenanvändning (Kothari 2008). När polyester tvättas frigörs mikroplastfibrer som kan påverka marint liv (Muthu 2021).

3. MATERIAL OCH METODER

MATERIAL, MASKIN OCH DEN TEXTILA KONSTRUKTIONEN

Materialet som studerats presenteras i *tabell 1* där relevant fiber - och garninformation anges. Fiberlängden fastställdes enligt standarden ISO 1130:1975 och resterande data var produktinformation från respektive leverantörer. Textil A, Coolmax, var garnet som användes i en tidigare konstruktion av ett underställ från företaget Craft vilket omnämndes i studiens problembeskrivning.

TABELL 1 – TEKNISK INFORMATION AV GARNER SOM ANVÄNTS I DENNA STUDIE.

Textil	A	B	C	D	E
Leverantör	Contifibre	PingLai	Tearfil	Mundifios	Schoeller
Material	Coolmax	PCM*	Bambu-viskos	Tencel	Merinoull 19,5 µm
Fiber	Multifilament	Multifilament	Stapelfiber	Stapelfiber	Stapelfiber
Fiberlängd	-	-	38±2 mm	35±3 mm	105±5 mm
Snodd	Z	Ingen snodd	Z	Z	Z
Garnnummer	75,9/1 Ne	48/1 Ne	30/1 Ne	30/1 Ne	26/1 Ne
Antal filament	88	24	-	-	-
Antal trådar	Enkelgarn	Enkelgarn	Enkelgarn	Enkelgarn	Enkelgarn
Färgat garn	-	-	-	-	+

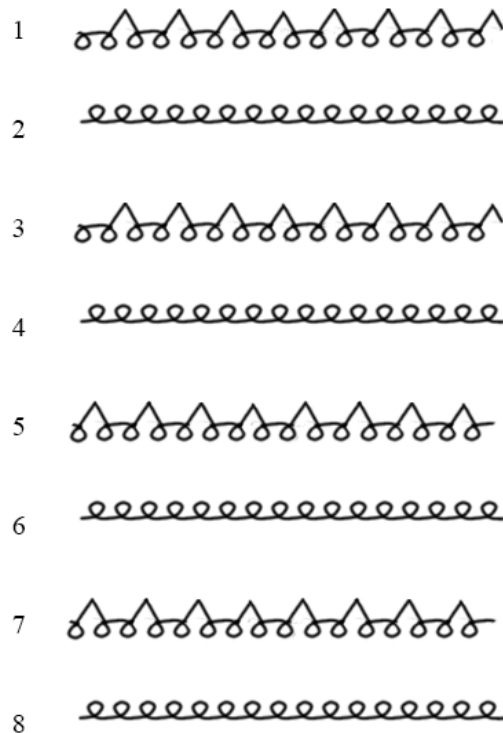
*PCM-garn, materialkomposition innehållande 80% polyester och 20% fasomvandlingsmaterial av N-oktadekan inkapslat med tripolycyanin.

Stickningen av textilproverna utfördes på en 24-delnings rundsticksmaskin hos företaget Seger och teknisk specifikation redovisas i *tabell 2*.

TABELL 2 – TEKNISK SPECIFIKATION AV RUNDSTICKSMASKINEN.

Maskin	Inovit 2.0 QC
Fabrikat	Mayer & Cie.
Maskinnummer	56767
Delning	24 E
Nålantal	2268 cylinder 2268 ribbskiva
Nominell diameter	762 mm, 30 tum

Trikåbindningen anges i *figur 2* och löper över åtta sticksystem. Det första sticksystemet stickade fangmaska på varannan nål med start på nål B och cylindern stickade maskor över alla nålar. I det andra sticksystem stickade ribbskivan maskor över alla nålar och cylindern sticker inga maskor över nålarna. Sticksystem tre var detsamma som sticksystem ett och sticksystem fyra var detsamma som sticksystem två. Sticksystem fem och sju stickade fangmaska på varannan nål i ribbskivan med start på nål A och cylindern stickade maskor över alla nålar. Sticksystem sex och åtta var detsamma som två och fyra.



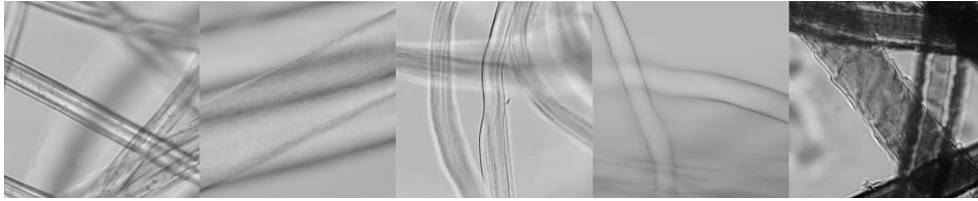
FIGUR 2 – BINDINGSRAPPORT ÖVER CYLINDERN OCH RIBBSKIVAN AV VALD TRIKÅBINDNING.

Textilerna tvättades för att avlägsna spinnoljor och förberedas inför testning av värmemotstånd och fukttransportegenskaper. Detta gjordes för att eliminera eventuellt felaktiga data på grund av hydrofoba molekyler i materialen eller andra potentiella störningar för mätningen. Textilberedning utfördes med en tvättmaskin av typ A enligt standarden ISO 6330:2012. Y3 flytande maskintvättmedel för ömtåliga textilier användes och doserades enligt produktens anvisningar. Bestämningen av textilernas areavikt fastställdes enligt standarden SS-EN 12127 och bestämningen av tjockleken utfördes enligt standarden ISO 5084:1996. Relevant data redovisas i *tabell 3*.

TABELL 3 – TEMPERATUR VID TVÄTT, TEXTILIERNAS AREAVIKT OCH TJOCKLEK.

Textil	A	B	C	D	E
Tvätt [°C] temperatur	60	60	60	60	30
Areavikt [g/m²]	148	206	335	321	389
Tjocklek [mm]	1,04	1,06	1,23	1,32	1,46

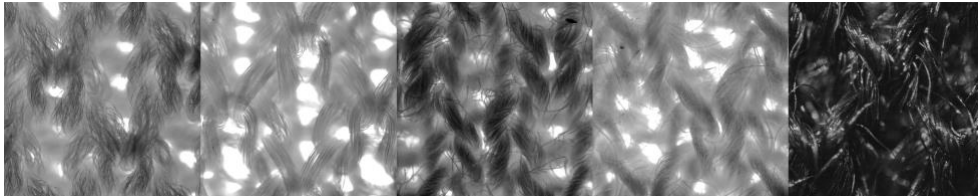
Nedan följer *figurerna 3–6* som inkluderar mikroskåpbilder på fibrer, garner och den textila trikåbindningen på materialet som användes vid provningsförändet. Bilderna togs med ett mikroskop av modellen Nikon Eclipse Ei.



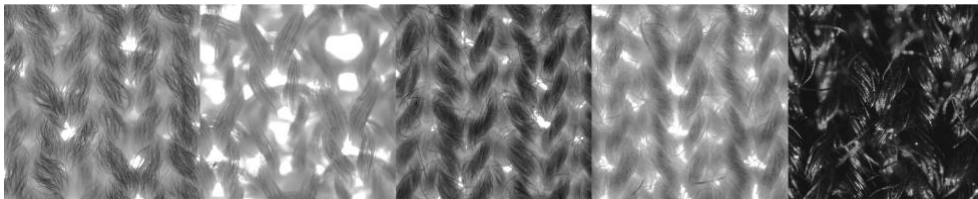
FIGUR 3 – MIKROSKOPBILDER PÅ TEXTILFIBRERNA I FÖLJANDE ORDNING: TEXTILPROV A-E.



FIGUR 4 – MIKROSKOPBILDER PÅ TEXTILGARNEN I FÖLJANDE ORDNING: TEXTILPROV A-E.



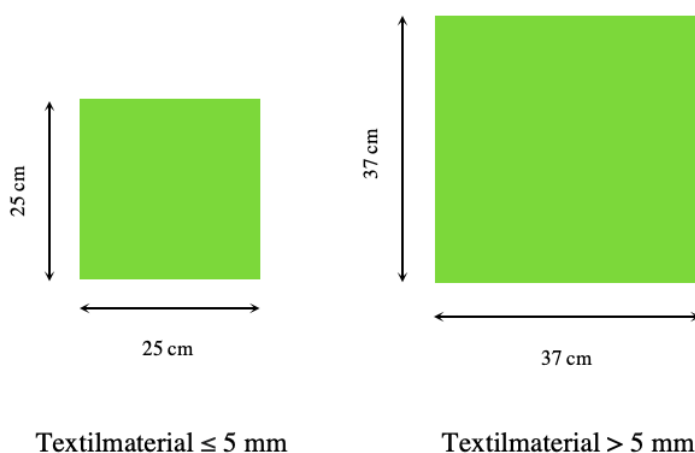
FIGUR 5 – MIKROSKOPBILDER PÅ TEXTILBINDNINGENS AVIGSIDA I FÖLJANDE ORDNING: TEXTILPROV A-E.



FIGUR 6 – MIKROSKOPBILDER PÅ TEXTILBINDNINGENS RÄTSSIDA I FÖLJANDE ORDNING: TEXTILPROV A-E.

BESTÄMNING AV VÄRMEMOTSTÅND

Hudmodellen användes som testutrustning vid metoden för bestämning av värmemotstånd i fortfarighetstillstånd och provningsförändet utfördes enligt standarden SS-EN ISO-11092:2014. Testerna för bestämning av materialens värmemotstånd utfördes av RISE (Research Institutes of Sweden AB). Dokumentationen av förförändet hänvisas till *bilaga 1*. Testmodellen, konstruerad vid den tyska institutionen Hohenstien, är en simulering av mänsklig hud. Utrustningen mätte termofysiologiska egenskaper hos material med en tjocklek upp till 150 mm och var utrustad med ett klimatskåp och en mätplatta. I klimatskåpet hölls temperatur och relativ fuktighet reglerat enligt standardens anvisningar. Mätplattan i klimatskåpet var elektrisk uppvärmd och höll en temperatur på 35,0°C. Det termiska skyddet runt mätplattan säkerställde att klimatet hölls tempererat genom att förhindra värmeläckage. Vid testningen av värmemotståndet beskar man ut två analysprover per textilmaterial utefter deras tjocklek enligt *figur 7*.



FIGUR 7 – ILLUSTRATIONEN VISAR MÄTTEN PÅ ANALYSPROVERNA SOM BESTÄMDES UTIFRÅN TEXTILMATERIALETS TJOCKLEK.

Textilproven konditionerades 24h innan mätningarna utfördes, där omgivningen hölls vid 20,0±2°C och en relativ luftfuktighet på 65±4% enligt standarden EN ISO 139:2005. Vid mätningen av materialets värmemotstånd hölls omgivningen vid 20,0±0,1°C med en relativ fuktighet på 65±3%. Textilens avigsida placerades mot mätplattan och vid jämvikt mättes den elektriska effekten som krävdes för att hålla mätplattan vid 35°C. Den elektriska effekten motsvarade värmeflödet genom materialet. Provmaterialets värmemotstånd bestämdes sedan med *ekvation 1*.

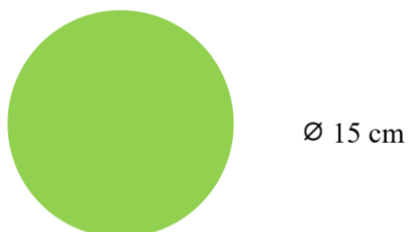
$$R_{ct} = \frac{(T_m - T_a) \times A}{H - \Delta H_c} - R_{ct0} \quad (1)$$

R_{ct} , värmemotståndet i enheten $m^2 \cdot K/W$, vilket motsvarade temperaturdifferensen mellan de två ytorna av materialet dividerat med det resulterande värmeflödet per areaenhet i gradientens riktning. Värmemotståndets mätvärden indikerade graden av isolationsförmåga, där ett högre värde på värmemotstånd visade på en bättre värmeisolering. Metoden mätte tygets inneboende motstånd i samband med ett övergångsmotstånd från textilen till luften. Detta övergångsmotstånd var beroende av värmeflödet genom konduktion, strålning och konvektion mellan textilen och omgivningen.

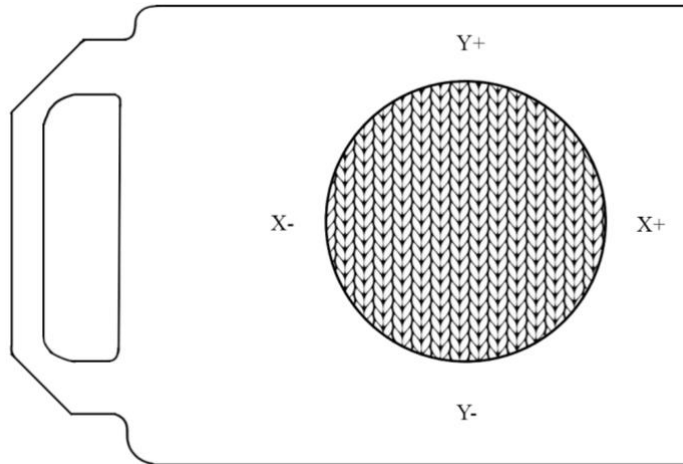
BESTÄMNING AV FUKTTRANSPORT

WickView är ett instrument av James Heal som använder ett bildsystem för att spåra och registrera överföringen av fukt genom en textil, vilket hjälper till att förstå dess fukthantering och absorptionsbeteende. Högupplösta kameror är placerade på vardera sidan av materialprovet för att registrera fuktens rörelse. Dessa kameror ger full synlighet av provet, och ultraviolett och infrarött ljus används under testprocessen. På grund av att testutrustningen är ny på marknaden finns ingen färdigställd standard, men följande testmetod användes:

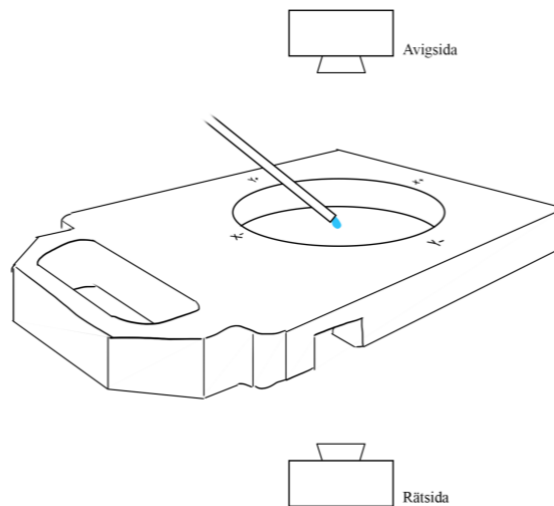
Två textilprover av vardera material beskars till \varnothing 15 cm, enligt *figur 8*. För att beräkna de olika materialens fukttransport spändes textilproverna individuellt på en kassett som fördes in i Wickview-maskinen. Textilproverna konditionerades 24h innan mätningarna utfördes där omgivningen hölls vid $20,0\pm 2^{\circ}\text{C}$ med en relativ luftfuktighet på $65\pm 4\%$. Respektive textilprover placerades i riktning med maskstavarna i y-axeln och maskrader i x-axeln enligt *figur 9*, med textilprovets avigsida mot fukttransportören illustrerat i *figur 10*, och eventuella fibrer och damm avlägsnas från ytan med luft och pincett. Kassetten med textilprovet fördes in i maskinen och proverna utfördes under 300 sekunder per material där textilens avigsida kom i kontakt med 0,2 ml destillerat vatten som matades ut centralt på proverna för att simulera perspiration, vilket illustreras i *figur 10*. När testerna utfördes var \varnothing 10 cm av textilprovets rätsida och avigsida synligt för kamerorna där två bilder togs per sekund som analyserades och mätvärden registrerade vätskans spridningsarea, spridningshastighet, och spridningsriktningar. Vid mätning av materialets fukttransport hölls omgivningen vid $20,0\pm 2^{\circ}\text{C}$ med en relativ luftfuktighetshalt på $65\pm 4\%$ enligt Standard EN ISO 139:2005.



FIGUR 8 - ILLUSTRATION ÖVER DE BESKURNA PROVKROPPARNAS FORM.



FIGUR 9 - ILLUSTRATION ÖVER KASSETT MED TEXTILERNAS PLACERING.



FIGUR 10 - ILLUSTRATION ÖVER KASSETTENS PLACERING I RELATION TILL KAMEROR PÅ PROVETS AVIG- OCH RÄTSDA SAMT FUKTTRANSPORTÖR.

Två prover utfördes per textilprov för att mäta den horisontella respektive vertikala fukttransportförmågan. Vid horisontellt test av fukttransport stod Wickview-maskinen i horisontell riktning och textilproverna hade en vinkelrät lutning, vilket innebär att textilerna var i en vertikal riktning. Vid vertikalt test av fukttransport stod Wickview-maskinen i vertikalt läge och textilproverna var därmed placerade i en horisontell riktning med fukttransportören ovanför provkropparna, enligt *figur 10*. Mätvärden som registrerades från test av horisontell respektive vertikal fukttransport var vätskespridning mätt i mm^2 , vätskespridningshastighet mätt i mm^2/s , samt vätskespridning i höjd (y-axel) och bredd (x-axel) mätt i mm. Procentuell areaspredning vid 300 sekunder kalkylerades med *ekvation 2*.

$$100 \times \frac{A}{(\pi r^2)} = B \quad (2)$$

Där A är ytans areaspredning i mm^2 vid 300 sekunder, $r=50$ och B resulterar i procentuell areaspredning.

4. RESULTAT

VÄRMEMOTSTÅND

Dokumentation på testresultaten från RISE hänvisas till *bilaga 1*. Merinoull påvisade högsta värmemotståndet och skiljde sig signifikant från de andra testresultaten. Materialet med det lägsta uppmätta värmemotståndet var fasomvandlingsmaterialet, PCM. Coolmax, bambuviskos och Tencel visade liknande värmemotstånds värden. Medelvärdena för de tre materialen låg mellan $25,1 - 28,3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Merinoullens hade ett medelvärde på $50,8 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$, medan fasomvandlingsmaterialets medelvärde var $18,4 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Merinoullens två testvärden visade på en liten differens. Resterande material visade på en differens upp till $3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Se *tabell 4* för testresultaten av värmemotståndet och det beräknade medelvärdet för respektive textilprover A-E.

TABELL 4 – VÄRMEMOTSTÅNDSTESTRESULTATEN MÄTT I $10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ PÅ TEXTILPROVERNA A-E.

Värmemotstånd [$10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]			
Textil	Analysprov 1	Analysprov 2	Medelvärde
Coolmax	26,5	23,7	25,1
PCM	19,5	17,3	18,4
Bambu	26,1	24,7	25,4
Tencel	30,0	26,5	28,3
Merinoull	50,7	50,9	50,8

FUKTTRANSPORT

FUKTTRANSPORT - WICKVIEW I HORISONTELL RIKTNING

Resultaten från fukttransport-testen med Wickviewmaskinen i horisontell riktning där provkropparna placerades i lodrät riktning presenteras i *tabell 5* och *tabell 6* för spridningsarea och riktning och *tabell 7* för spridningshastigheten.

I *tabell 5* visar resultaten på att spridningsarean hos bamuviskos och Tencel är signifikant högre i jämförelse med Coolmax och merinoull som påvisade lägst värde för spridningsarea. Fasomvandlingsmaterialet påvisade relativt låg spridningsarea, än om högre än Coolmax och merinoullen. För samtliga prover, med undantag för fasomvandlingsmaterialet, var spridningsarean större längsmed avigsidan vilken fukttransportören var placerad mot.

TABELL 5 – SPRIDNINGSAREA OCH PROCENTUELL AREASPRIDNING VID 300 SEKUNDER ÖVER AVIGSIDA RESPEKTIVE RÄTSIDA MÄTT I MM².

	Areaspridning [mm ²]		Procentuell areaspridning [%]	
	Avigsida	Rätsida	Avigsida	Rätsida
Coolmax (A)	14,715	13,900	0,2	0,2
PCM (B)	360,325	409,072	4,6	5,2
Bambu (C)	2808,270	2132,071	35,8	27,1
Tencel (D)	2071,019	1820,303	26,4	23,2
Merinoull (E)	12,26	5,957	0,2	0,1

Mätvärden för spridningsriktning av fukt över maskstavshöjd (y-axel) och maskradsbredd (x-axel) presenteras i *tabell 6*. Coolmax demonstrerade en högre fukttransport i x-axeln på textilens avigsida, medan rätsidans transportriktningar visade på lägre och homogenare spridning. Fasomvandlingsmaterialet påvisade en högre spridning i y-axeln på rät och avigsida. Hos Tencel- och bambuviskosmaterialen har fukten transporterats främst i x-axeln på avig- likaså rätsida. Merinoullen påvisade en högre fukttransport i y-axeln på avigsida, men på rätsidan relativt sammanställande värden i x- kontra y-axeln.

TABELL 6 - VÄTSKESPRIDNING I X-AXEL SAMT Y-AXEL MÄTT VID 300 SEKUNDER.

	Avigsida		Rätsida	
	y-axel [mm]	x-axel [mm]	y-axel [mm]	x-axel [mm]
Coolmax (A)	16,968	25,149	3,748	3,767
PCM (B)	54,385	34,255	46,852	35,791
Bambu (C)	66,567	100,163	52,006	106,902
Tencel (D)	54,385	90,190	52,006	101,251
Merinoull (E)	8,266	4,336	1,874	1,884

Spridningshastigheten vid olika tidpunkter för respektive material presenteras i *tabell 7*, sammanställd från *bilaga 2*. Spridningshastigheten registrerades vid ett fåtal punkter som en regression hos alla material. Prov A, Coolmax, påvisade en större spridning på avigsidan vid 10 sekunder men för övrigt en relativt jämn spridningshastighet över både rät och avigsida. Prov B, fasomvandlingsmaterialet, hade varierande värden inom spannet $0\pm 3,5\text{mm}^2/\text{s}$ under majoriteten av

datapunkterna vilket tyder på en jämn men låg spridning över längre tid och en svårare identifierbar topp. Prov C, bambuviskos, visade på en hög initial spridningshastighet över avigsidan, där fukttransportören var placerad, som sedan planades ut. Bambuviskos hade även en hög fuktgenomträngning ity rätsidans högsta registrerade värde var vid 10 sekunder, strax efter avigsidans vid 5 sekunder, som följdes av hög fukttransport som senare planades ut. Prov D, Tencel visade på en hög initial spridningshastighet likvärdig på rät och avigsida vilken sedan planade ut. Prov E, merinoull, påvisade en relativt låg fukttransport mellan 5–50 sekunder över avigsidan, och rätsidan inte påvisar någon spridning under intervallet.

TABELL 7 - SPRIDNINGSHASTIGHETEN I MM²/S VAR FEMTE SEKUND UNDER DE FÖRSTA 50 SEKUNDERNA. KOLUMN 1 REPRESENTERAR RESPEKTIVE TYGPROV A-E OCH DÄR R REPRESENTERAR PROVETS RÄTSIDA OCH A REPRESENTERAR PROVETS AVIGSIDA.

Tid s. /prov	5 s.	10 s.	15 s.	20 s.	25 s.	30 s.	35 s.	40 s.	45 s.	50 s.
A R	0,00	2,65	-0,43	2,20	1,32	1,32	0,44	-0,44	-0,88	1,76
A A	0,00	10,20	-1,50	0,75	-0,75	2,26	-0,75	1,89	1,88	1,50
B R	1,77	-6,16	3,50	-0,88	-0,44	1,76	3,09	1,33	-0,44	1,32
B A	0,38	-0,37	0,00	0,38	-0,38	0,00	-2,26	0,38	0,00	0,38
C R	99,55	192,51	81,89	35,37	- 17,14	3,98	25,12	-8,37	-4,03	17,54
C A	311,3 1	126,50	35,53	23,42	7,19	12,05	13,22	13,56	- 16,18	- 15,08
D R	55,09	88,80	34,35	36,11	13,24	15,03	6,21	24,75	1,78	7,09
D A	64,43	86,20	57,24	40,33	42,24	13,25	23,75	- 11,71	6,39	-1,90
E R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E A	0,00	2,63	0,37	0,00	0,00	0,38	0,00	0,75	-0,38	0,00

FUKTTRANSPORT - WICKVIEW I VERTIKAL RIKTNING

Resultaten från fukttransport-testen med Wickviewmaskinen i vertikal riktning presenteras i *tabell 8* och *tabell 9* för spridningsarea samt riktning och *tabell 10* för spridningshastigheten. Med Wickviewmaskinen i vertikal riktning placeras textilerna i vågrät riktning med fukttransportör centralt placerad ovanför tygets avigsida. För samtliga tabeller är merinoullens registrerade areaspredning över rätsidan är exceptionell då fukt transporterad genom provkroppen föll på glaset över kameran registrerande areaspredningen för rätsidan.

I *tabell 8* visar resultaten på att fukttransporten för bambuviskos och Tencel är signifikant högre än hos resterande material. Coolmax påvisade relativt låg spridningsarea. Fasomvandlingsmaterialets spridningsarea påvisades medelbar i relation till övriga material. För samtliga prover transporterades fukten främst över rätsidan.

TABELL 8 - SPRIDNINGSAREA OCH PROCENTUELL AREASPRIDNING VID 300 SEKUNDER ÖVER AVIGSIDA RESPEKTIVE RÄTSIDA MÄTT I MM².

	Areaspredning [mm ²]		Procentuell areaspredning [%]	
	Avigsida	Rätsida	Avigsida	Rätsida
Coolmax (A)	299,013	354,573	3,8	4,5
PCM (B)	679,146	915,888	8,6	11,7
Bambu (C)	1485,255	1851,855	18,9	23,6
Tencel (D)	2226,280	2750,754	28,3	35,0
Merinoull (E)	92,062	2940,286*	1,2	37,4*

*Avvikande mätvärden på grund av vattenspridning över kameraglasat.

Mätvärden för spridningsriktning av fukt över maskstavshöjd (y-axel) och maskradsbredd (x-axel) presenteras i *tabell 9*. Coolmax demonstrerade relativt likvärdiga resultat mellan rätsidan och avigsidan med en högre vätskespridning i y-axeln. Fasomvandlingsmaterialet påvisade en högre spridning i y-axeln över rätsidan, och avigsidan det motsatta med lägre spridning i y-axeln. Hos Tencel- och bambuviskosmaterialens har fukten transporterats främst i x-axeln på avig- likaså rätsida. Merinoullen påvisade en högre fuktspridning i x-axeln på avigsida.

TABELL 9 - VÄTSKESPRIDNING I X-AXEL SAMT Y-AXEL MÄTT VID 300 SEKUNDER.

	Avigsida		Rätsida	
	y-axel [mm]	x-axel [mm]	y-axel [mm]	x-axel [mm]
Coolmax (A)	22,624	20,813	22,020	20,721
PCM (B)	81,360	73,713	69,810	79,117
Bambu (C)	47,859	95,393	55,754	102,193
Tencel (D)	62,651	90,190	70,747	108,786
Merinoull (E)	17,838	23,415	83,397	96,071

Spridningshastigheten vid olika tidpunkter för respektive material presenteras i *tabell 10*, sammanställd från *bilaga 3*. Spridningshastigheten registrerades vid ett fåtal punkter som en regression hos alla material. Prov A, Coolmax, påvisade en större spridning på avigsidan vid 10 sekunder där rätsidans spridningshastighet var som högst vid 35 sekunder som sedan planar ut. Prov B, fasomvandlingsmaterialet, hade en högre initial spridning då avigsidans högsta registrerade värde vid 10

sekunder, strax efter rätsidans vid 5 sekunder vilket följdes av hög fukttransport som senare planades ut. Prov C, bambuviskos, visade på en hög initial spridningshastighet över avigsidan, där fukttransportören var placerad, som sedan planades ut. Bambuviskos hade även en hög fuktgenomträngning där rätsidans högsta registrerade värde var vid 10 sekunder, strax efter avigsidans, som följdes av hög fukttransport som efter ytterligare 20 sekunder avtog. Prov D, Tencel visade på en hög initial spridningshastighet på avigsidan och rätsidan vilka sedan planade ut. Prov E, merinoull, påvisade låg spridningshastighet över avigsidan mellan den angivna tidsramen, och rätsidan inte påvisar någon spridningsförändring under intervallet.

TABELL 10 - SPRIDNINGSHASTIGHETEN I MM²/S VAR FEMTE SEKUND UNDER DE FÖRSTA 50 SEKUNDERNA. KOLUMN 1 REPRESENTERAR RESPEKTIVE TYGPROV A-E OCH DÄR R REPRESENTERAR PROVETS RÄTSIDA OCH A REPRESENTERAR PROVETS AVIGSIDA.

Tid s. /prov	5 s.	10 s.	15 s.	20 s.	25 s.	30 s.	35 s.	40 s.	45 s.	50 s.
A R	0,00	0,88	2,19	1,32	0,44	0,88	5,29	3,10	2,65	2,21
A A	1,90	23,31	0,76	6,77	-3,74	1,13	2,64	4,53	-6,03	-0,74
B R	16,74	10,14	-3,95	1,76	-3,52	3,08	-2,17	6,56	5,72	-2,19
B A	4,53	20,76	3,34	12,37	11,69	-7,52	4,87	0,03	-15,78	3,40
C R	96,77	124,92	46,34	-7,01	12,79	31,57	-13,27	29,04	-0,75	23,38
C A	101,27	94,33	37,59	22,23	29,80	8,24	4,93	9,42	13,08	-7,16
D R	117,25	149,84	80,31	29,96	25,58	35,68	65,74	-7,93	-4,38	-49,11
D A	177,19	101,75	36,23	32,77	4,49	5,29	-9,05	-1,48	2,62	-37,18
E R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E A	7,55	6,80	-0,38	-0,37	0,78	-1,51	0,38	0,75	-0,38	0,75

5. DISKUSSION

RESULTAT VÄRMEMOTSTÅND OCH FUKTTRANSPORT

Diskussion resultat värmemotstånd

Merinoull visar högsta medelvärdet och Coolmax lägsta medelvärdet för värmemotstånd uttryckt i enheten kvadratmeter per kelvinwatt. Ett tydligt samband syns mellan högsta värmemotståndsvärdet och ökad tjocklek eller areavikt på materialen. Det testresultat som avviker från detta samband är värdet på PCM:s värmemotstånd. PCM visar lägst värmemotstånd men dess areavikt är avsevärt högre än den lägsta areavikten som är Coolmax på 148 g/m^2 . Coolmax och PCM skiljer sig minimalt i tjocklek med 0,02 mm och har ett värmemotståndsskillnad på $6,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Värmemotståndet för Tencel och bambuviskos sticker också ut, där Tencel har högre värmemotstånd och tjocklek men lägre areavikt. Detta skulle kunna påvisa att tjockleken spelar större roll än areavikten när det gäller sambandet med högre värmemotstånd.

De tre garnerna merinoull, Tencel och bambuviskos visar högst värmemotstånd och de har gemensamt att de är naturfibrer uppbyggda av stapelfibrer. Coolmax visar liknande värmemotstånd som bambuviskos med endast en liten marginal på $0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Tencel tjocklek är 1,32 mm, bambuviskos 1,23 mm och Coolmax 25,1 mm medan deras värmemotstånd visar värden på 28,3, 25,4 respektive $25,1 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Merinoullen har ett värmemotstånd på $50,8 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ och en tjocklek på 1,46 mm. De fyra materialen som visar högst medelvärde för värmemotstånd har gemensamt är att alla garner är av Z-snodd medan PCM med lägst värmemotstånd har ingen snodd. Materialet med lägst garnnummer har högst värde på tjocklek och areavikt medan det högsta garnnumret har lägst värde på tjocklek och areavikt.

Diskussion resultat fukttransport

Fuktspridningsarean är större över rätsidan för alla material i vertikalt Wickviewtest, medan de horisontella testerna visar på en större areaspridning över avigsidan, med undantag för PCM. Test av areaspridning med Wickview i horisontell och vertikal riktning visar att Tencel och bambuviskos har signifikant högre spridningsarea än de övriga textilproverna. Alla textilprover uppvisar en högre spridningsarea från test med Wickview i horisontell riktning än test i vertikal riktning med undantag för Tencel som visar på en högre spridning i vertikal riktning. Det material som uppvisar lägst spridningsarea för respektive prover är merinoullen, med bortseende för felkälla vid vertikalt Wickview-test. Även om textilprovet merinoull har högst areavikt och tjocklek, transporteras fukt genom materialet tillräckligt för att träffa glaset under textilprovet, även om spridningsarean är relativt låg för övrigt.

Över avigsidan, där fukttransportören är placerad, är spridningsriktningen högst längs maskraderna för Coolmax, bambuviskos och Tencel under det horisontella Wickviewtestet. Detta kan kopplas till att materialen alla har snodd på garnet, och att fukt transporteras längs garnen. Merinoull och PCM registrerar högre spridning i maskstavsriktning på avigsidan, även om merinoullens garn har snodd. Jämförelsevis visar vertikalt test att bambuviskos, Tencel och merinoull främst

transporterat fukt längs maskraderna. Över provernas rätsida visar Tencel och bambuviskos relativt likvärdiga värden mellan de horisontella och vertikala testerna. Spridningsriktningen hos Coolmax över rätsidan är likvärdig längs maskraderna och maskstavarna mellan Wickview horisontellt och vertikalt test, även om det vertikala testet visar på en högre generell spridning. Coolmax spridning längs maskraderna på avigsidan kan vara en effekt av att materialet har snodd (Bhatia & Malhotra 2016). Textilprovet av PCM-garn visar över rätsidan en högre spridning längs maskraderna i det vertikala testet, medan det horisontella testet visar på högre fukttransport i maskstavsriktning. En jämförelse över merinoullens spridningsriktning på rätsidan går dessvärre inte att genomföra på grund av felaktigt mätvärde under vertikalt test. Rotationen av textilproverna och fukttransportörens vinkel påverkar i vilken längdriktning fukten transporteras.

Det finns betydande skillnader i spridningshastighet mellan materialen och mellan horisontellt och vertikalt Wickviewtest. Bambuviskos och Tencel uppvisar hög initial spridningshastighet i både horisontellt och vertikalt test, medan Coolmax och merinoull har en generellt låg spridningshastighet. Fasomvandlingsmaterialet visar varierande prestanda gällande spridningshastighet, med högre initial spridningshastighet i det vertikala testet.

MATERIAL OCH DEN TEXTILA KONSTRUKTIONEN

Diskussion Coolmax

Coolmax resultat indikerar på god värmeisolering och uppvisar liknande värmemotstånd som Tencel och bambuviskos. Coolmax uppvisar likvärdiga värden i värmemotstånd jämfört med bambuviskos och Tencel, men en mindre spridningsarea för fukttransport i både horisontell och vertikal riktning. Materialets spridningshastighet av fukt är jämn över tid, vilket kan indikera en långsam men konstant fuktspridning. Coolmax med initialt hög fukttransport är ett material som transporterar fukt snabbt men inte över en stor yta.

Coolmax indikerar på god värmeisolering och uppvisar liknande värmemotstånd som Tencel och bambuviskos, men med en mindre spridningsarea vid fukttransport. Dessutom uppvisar Coolmax en snabb initial fukttransport, speciellt på textilens avigsida, vilket tyder på att textilen kan transportera bort fukt snabbt men inte över en stor yta. Coolmax är ett multifilamentgarn med tetrakanaler i tvärsnittet, vilka tydligt kan ses i mikroskopsbilden över fibrerna i *figur 3*. Resultaten som visar låg spridningsarea kan bero på att kapillärerna från garnets snodd och tvärsnitt skapar reservoarer i garnstrukturen vilka adsorberar fukt som inte spridits ut. Variationer i vätskaflödes hastigheten uppstår bland annat mellan fibrer med varierande kanaldiametrar och tätpackade zoner (Stanelle, Sander & Marcus 2005).

Coolmax uppvisar medelhöga värden för både värmemotstånd och låga värden för fuktspridning. Detta gör det till ett potentiellt lämpligt material för användning i underställ, särskilt för aktiviteter med låg till måttlig intensitet och i varma klimatförhållanden. Dess låga spridningsarea jämfört med fasomvandlingsmaterialet innebär också att det kan ha en mindre kapacitet att snabbt fördela värme över dess yta, vilket kan påverka användarens komfort under högintensiva aktiviteter. Om svett inte tillåts att effektivt avdunsta eller ledas bort minskar isolationen och leder

till en köld hos användaren när den metaboliska värmeproduktionen är låg (Bhatia & Malhotra 2016; Mather & Wardman 2015). Coolmax som polyestergarn är hydrofobt med låg förmåga att absorbera fukt in i fiberstrukturen och med en större filentyta, jämfört med filament med samma linjära densitet, vilket kan förbättra dess torkning (Onofrei, Maria Rocha & Catarino 2012; Varshney, Kothari & Dhamija 2010). Polyesterbaserade tyger torkar också snabbare än många naturfibrer då fuktupptagningen är lägre, vilket minskar energiöverföringen till huden och dämpar värmebelastningen (Eimer & Eimer 2014; Morton & Hearle 2008). Dock är Coolmax inte lika effektivt när det gäller att behålla värme, vilket gör det mindre lämpligt för kalla klimatförhållanden (Morton & Hearle 2008). Detta kan innebära att Coolmax inte är särskilt effektivt som värmeisolator men potentiellt lämpligt material för användning i underställ, särskilt för aktiviteter med måttlig intensitet i humida och torra, men ej extrema klimat.

Diskussion PCM

PCM, eller fasomvandlingsmaterialet, visar på lägst värmemotstånd av alla de testade materialen. Detta tyder på att det inte är särskilt effektivt för värmeisolering jämfört med de andra materialen. Dessutom visar PCM en relativt låg spridningsarea vid fukttransport-testerna. Materialets spridningshastighet och spridningsarea varierade men indikerar generellt låga värden en potential för fuktavlägsning. Fuktgenomträngningen hos materialet är högt, i relation till de andra materialen, då textilen är den enda vars fuktspredningsarea var högre över rätsidan under båda testerna.

Parallelliteten hos filamenterna kan ha lett till den låga men konstanta fruktspridningen hos fasomvandlingsmaterialet (Nyoni & Brook 2006). Enkelt garn utan snodd kan vara mer effektivt när det gäller värmeisolering då strukturen i flertalet fall leder till parallella fibrer med stora tomrum mellan filamenter (Bhatia & Malhotra 2016). Men trots detta uppvisade PCM-garnet det lägsta termiska motståndet av alla de testade materialen vilket kan förklaras av det faktum att det trots sin filamentuppbyggnad har en relativt gles stickning, vilket kan ses i mikroskopbilderna, *figur 5–6*. Denna glesa struktur kan leda till mindre kontakt mellan fibrerna, vilket minskar värmeöverföring genom konduktion och därmed minskar det termiska motståndet. Dessutom ger en lägre täckningsfaktor för textilerna en lägre vätningsstid, minskad absorptionshastighet och spridningshastighet (Wardini & Troynikov 2012).

Det valda PCM-garnet består endast av 20% fasomvandlingsmaterial vilket kan förklara de uppmätta värdena för värmeresistens. PCM-garnet bestod även av 80% polyester vilket inte attraherar fukt lika effektivt som naturfibrer. Polyesterandelen kan bidra till materialets förmåga att avleda fukt, vilket kan minska energiöverföringen till huden och på så vis minska termisk belastning (Eimer & Eimer 2014; Morton & Hearle 2008).

PCM-textilens värmemotstånd är 26,4% lägre än Coolmax vilket kan bero på andelen PCM, ingen garnsnodd, garntjocklek och textilens porositet snarare än areavikt. Trots fasomvandlingsmaterialets avsevärt högre areavikt visar det lägst värmemotstånd, vilket indikerar dålig värmeisolering. Dess fuktgenomträngning från testerna kan möjliggöra god bortförsel av fukt. Även om resultatet av materialets

spridningshastighet varierar mellan testerna, indikerar det höga initiala värden i det vertikala testet en medelhög potential för fukttransport. Textiler med PCM kan lagra värme och frigöra den vid behov, vilket gör materialet lämpligt för dynamisk termisk isolering vid variation av aktivitetsnivåer (Mondal 2008). Denna insikt, tillsammans med det faktum att PCM har det lägsta uppmätta värmemotståndet, antyder att PCM kan vara mindre lämpligt för underställ som kräver både isolering och fukttransport, men potentiellt lämpligt material för användning i underställ för aktiviteter med måttlig eller varierande intensitet i ej extrema klimat.

Diskussion bambuviskos

Bambuviskos indikerar på god värmeisolering och uppvisar liknande värmemotstånd som Coolmax och Tencel. Materialet visar på stor spridningsarea på fukttransport i både horisontell – och vertikal riktning. Textilen har en lite större areaspridning än Tencel i horisontell riktning men i vertikal visar bambuviskosen på 11,4% lägre areaspridning än Tencel som visar på högsta värdet. Spridningen av fukten visar sig i framför allt x-led, maskradernas riktning. Bambuviskos visar hög initial spridningshastighet som sedan planar ut.

Mikroskåpsbilden på fibern visar att bambuviskosen har en strukturerad yta vilket stärker att fibern har ett sågtandat tvärsnitt (Muthu 2014). Bambuviskosen har god absorptionsförmåga då dess amorfa struktur bidrar till fukttransportegenskaperna (Akbar et al. 2017). Eftersom materialet visar på stor spridningsarea och hög initial spridningshastighet visar att bambuviskosen fibrer absorberar och transporterar fukten snabbt för att processen sedan avtar. Sorption mellan bindningarna från det destillerade vattnet i fukttransporttestet med bambuviskosens OH-grupper förklarar absorptionsförmågan hos fibrerna (Booth 1982).

Vätning är förutsättningen för mekanismen ska påbörja och för att fiberns kapillärer ska transportera fukten (Mather & Wardman 2015). När det inte längre finns fria bindningar kommer bambuviskosen behålla vätskan i de stickade strukturutrymmena vilket resulterar i en våt känsla från materialet och en längre torktid (Crow & Osczevski 1998). Vid desorption visar bambuviskos på bättre förmåga att behålla och frigöra vatten jämfört med Tencel (Xu, Lu & Tang 2007).

Garnet är twistat men tvinningskoefficienten är okänd. En högre tvinningskoefficient skapar en mer kompakt struktur vilket minskar en maximal absorptionshastighet, spridningshastighet och maximal vätningsradie (Pruchova et al. 2009). Bambuviskosens större yta från fiberns sågtandade tvärsnitt förklarar den höga initiala spridningshastigheten. Vid sammanslagning av de icke cirkulära fibrerna till garn leder till ökad porositet vilket resulterar i det högre värmemotståndet och en varmare känsla (Varshney, Kothari & Dhamija 2010).

Värmemotståndet på bambuviskosen är ett värde från fysikaliska mekanismerna konduktion, konvektion och strålning i de textila fibrerna där värmeöverföring från fukttransport inte är medräknat. Eftersom värme som genereras beror på fiberns absorptionsförmåga snarare än fiberns värmekapacitet gör detta att man inte kan dra en korrekt slutsats av materialets värmeisolering då det är flera parametrar som spelar in vid termofysiologisk komfort (Morton & Hearle 2008). Ett exempel på detta är att värmeöverföring från vätningsprocesser är högst i högabsorberande

fibrer. Bambuviskos har lägre grad av kristallinitet och studier visar att ökning av fibertäthet och kristallinitet leder till en ökad konduktivitet (Koru, Büyükkaya & Kan 2022). Detta styrker bambuviskosens goda värmemotstånd.

Mängd svett bambuviskosen absorberar bör vara mer jämfört med de andra materialen i studien på grund av andel massa hygroskopiska fibrer, textilens tjocklek och areavikt (Stuart, Schneider & Turner 1989). Bambuviskosens förmåga att transportera bort fukt från kroppen och dess viss isolerande egenskaper kan bidra till att hålla användaren torr och bekväm. Fiberns sågtandade tvärsnitt och mikrohål ger textilen en svag känsla och en god andningsförmåga (Muthu 2014). Dessutom har bambuviskosen en kylande effekt vid höga temperaturer och en värmande effekt vid låga temperaturer. Den största påverkan på värmeförlusten eller värmeupptagningen hos ett textilmaterial beror på omgivningsförhållanden (Morton & Hearle 2008). Bambuviskosen uppvisade medelhöga värden för både värmeisolering och fukttransport. Textil till underställ utifrån termofysiologiska egenskaper är materialet särskilt användbart vid aktiviteter med låg till måttlig intensitet och i varierande klimatförhållanden (Daanen 2015).

Diskussion Tencel

Tencel indikerar på god värmeisolering och uppvisar liknande värmemotstånd som Coolmax och bambuviskos. Tencel, likt bambuviskos, visar på en signifikant hög spridningsarea vid fukttransporttesten vilket tyder på att materialet sprider ut fukten över ett större område. Likt bambuviskos fukttransport beteende visar Tencel också en hög initial spridningshastighet vilket indikerar att materialet snabbt absorberar och transporterar bort fukt från kroppen.

Då Tencel är ett cellulärbaserat kan den stora spridningsarean bero på dess fiberstruktur med många kanaler vilka tillåter en högre fukttransport (Militký, Venkataraman & Periyasamy 2022) (Morton & Hearle 2008). Cellulosafibrer har hydroxylgrupper i molekyllkedjan vilka kan attrahera fukt och troligtvis lett till en stor påverkan av fuktspredningen (Morton & Hearle 2008)(Booth 1982). Tencelgarnet hade snodd och bestod av kortare stapelfibrer jämfört med de andra garnerna vilket kan ha lett till en struktur som tillåter många luftfickor och därmed hög fuktspredning (Bhatia & Malhotra 2016; Nyoni & Brook 2006). Mikroskopbilderna på materialet i *figur 4* visar hur flertalet fibrer sticker ut från garnet. Dessutom har Tencel god värmeisoleringsförmåga på grund av dess fiber och struktur som innehåller luftfickor vilka hindrar värmefflöde.

Garnet från Tencel är twistat och en högre tvinningskoefficient skapar en mer kompakt struktur, vilket kan minska den maximala absorptionshastigheten, spridningshastigheten och maximala vätningsradien. Trots detta har Tencel visat en hög initial spridningshastighet, vilket kan förklaras av dess struktur och fuktabsorptionsegenskaper. Tencel absorberar fukt effektivt, vilket bidrar till en reglering av kroppstemperaturen. Tidigare studier visar att Tencel har en lägre förmåga att behålla och frigöra vatten, lägre absorptionshastighet samt minskad vätningsstid jämfört med bambuviskos. (Xu, Lu & Tang 2007). (Karthikeyan et al. 2017). Det kan innebära en längre torktid, vilket kan leda till en våt känsla vid högre aktivitetsnivåer eller i varma klimat med hög luftfuktighet. Tencel, likt bambuviskos,

har goda termofysiologiska egenskaper vilket gör det användbart för underställ vid aktiviteter med låg till måttlig intensitet i varierande klimatförhållanden.

Diskussion merinoull

Merinoull uppvisar högt värmemotstånd, vilket indikerar på ett utmärkt material för att uppnå god värmeisolation. Materialet visar minimal spridningsarea på fukttransporten både i horisontell och vertikal riktning. Textilerna tillverkad av merinoullfibrer visar den lägsta spridningen i både x- och y-led i horisontell riktning. Denna spridning visar minimala värden, medan testet i vertikal riktning visar en något större spridning. Merinoullen har en låg spridningshastighet, vilket innebär att det tar längre tid för fukt att tränga igenom till textilens rätsida. Merinoullens garn är färgat vilket kan påverka materialets funktionella egenskaper och kan därmed påverka testresultaten (Mather & Wardman 2015).

Mikroskåpsbilden av fibern visar att merinoullen har en fjällad yta längs fibern och bekräftar att det är en naturfiber uppbyggd av makrofibriller bestående av flercelliga proteiner (Mather & Wardman 2015). Bilden visar att fibern är avrundad och har ett cirkulärt till elipsformat tvärsnitt (Morton & Hearle 2008). Merinoullens långa stapelfiber med en öppen och porös delkristallin struktur påverkar fukttransporten och hastigheten för diffusion (Mittemeijer 2021). Fibern har också en mycket god absorptionsförmåga på grund av sin struktur, vilket gör att spridningsarean minskar eftersom den kan behålla stora mängder vätska i varje fiber. Den låga spridningshastigheten beror på materialets höga fuktupptagningsförmåga, vilket leder till en sämre fukttransport när fibrerna sväller (Bhatia & Malhotra 2016). Merinoullen har ett lägre garnnummer, vilket förklarar textilens tjocklek och är ytterligare en faktor som bidrar till den låga spridningshastigheten. Det tunna garnet ökar den maximala absorptionshastigheten, spridningshastigheten och den maximala vätningsradien, vilket stärker de goda resultaten för fukttransport hos merinoullen (Pruchova, Süpüren, Özdil & Özçelik 2009).

Fibrens krusning möjliggör luftreservoarer, vilket ger materialet dess goda värmemotstånd. Materialets höga tjocklek och areavikt minskar värmeförlusten och ger textilerna en bra värmeisolerings (Booth 1982; Bhatia & Malhotra 2016). Ullens hyroskopiska fibrer bidrar till ökad termisk komfort genom förmågan att generera värme från absorptionsmekanismen. Detta är särskilt märkbart vid låga temperaturer eller hög fuktighet (Stuart, Schneider & Turner 1989). Den goda förmågan att absorbera fukt gör att materialet upplevs torrt även under fuktiga förhållanden. Generellt sett visar resultaten för värmemotstånd och fukttransport att merinoull kan vara ett utmärkt material för underställ som kräver värmeisolerings och effektiv fukttransport under kortare perioder av intensiv aktivitet. Dock kan materialet vara mindre effektivt på att transportera fukt under längre perioder av intensiv aktivitet vilket kommer ge materialet en våt känsla och sämre komfort för användaren (J Fan 2009; Karthikeyan et al. 2017). Materialet har utmärkt förmåga att behålla värme vilket är fördelaktigt under kalla förhållanden (Stuart, Schneider & Turner 1989). Därför kan merinoull vara lämpligt för användning i underställ för aktiviteter vid låg till måttlig fysisk ansträngning i varierande förhållanden där värmeisolerings är viktigare än snabb fukttransport.

Diskussion trikåbindningen och den textila konstruktionen

Den textila trikåbindningen som används har olika struktur på avigsida och rätsida vilket kan betyda att den textila strukturen i sig kan påverka värmeisolering och fukttransporten (Jhanji, Gupta & Kothari 2015). Bindningen skapar olika mönster av öppningar och täthet mellan garnerna, vilket påverkar textilens egenskaper. Materialens areavikt spelar också en roll då ökad volym hindrar luftgenomsläpp och påverkar värmeisoleringen (Bhatia & Malhotra 2016). Textilens värmemotstånd och fukttransportegenskaper kan även påverkas genom att använda olika garn med ribbskiva och cylinder vid stickning av bindningen. Denna tvåvägsstruktur kan optimera textilens funktion genom att avigsidan, närmast huden, har en god fukttransportförmåga och rätsidan i det yttersta lagret kan absorbera och avdunsta fukten till omgivningen (Patnaik 2006).

För att hantera spridningshastigheten och kontrollera fukt kan hydrofoba fibrer användas på avigsidan för att transportera svett enkelriktat genom textilen (Jhanji, Gupta & Kothari 2015). Genom att ändra materialkompositionen från 100% stickade tyger till en kombination av två material kan önskad värmeisolering och fukttransport uppnås. Ett exempel från studien är att använda ull på avigsidan och bambuviskos på rätsidan av textilen för att reglera värmeisoleringen och skapa en funktionell textil som kan anpassas för olika aktivitetsnivåer och omgivningsförhållanden (Troynikov & Wardiningsih 2011).

BESVARANDE AV FORSKNINGSFRÅGOR

Hur fungerar värmeisolering och fukttransport hos de valda fibrerna i trikåbindningen?

Merinoull visar högt värmemotstånd och ger därmed en hög grad av värmeisolering. Tencel, bambuviskos och Coolmax visar medelhögt värmemotstånd. Fasomvandlingsmaterialet har det lägsta uppmätta värmemotståndet. När det gäller fukttransport visar resultatet att merinoull har den lägsta spridningsarean och spridningshastigheten. Coolmax har en låg spridningsarea, medan fasomvandlingsmaterialet har något högre spridningsarea. Tencel och bambuviskos visar hög initial spridningshastighet och är de material med störst spridningsarea. Särskilt Tencel har betydligt större spridningsarea vid det vertikala fukttransporttestet. Merinoull och Coolmax har de bästa egenskaperna när det gäller hantering av fukt.

Vilka av materialen är lämpliga för att användas i underställ med avseende på att uppnå god fukttransport och värmeisolering?

För att uppnå god fukttransport och värmeisolering är merinoull det mest lämpliga materialet att använda i underställ. Efter merinoull kommer Coolmax med hänsyn till dess resultat. Bambuviskos rekommenderas sedan eftersom dess kombination av fukttransport och värmeisolering visar bättre resultat än Tencel. Slutligen, med lägst resultat när det gäller värmeisolering och fukttransport, rekommenderas PCM-garnet som mindre lämpligt för underställ.

Utifrån resultaten av materialens termofysiologiska egenskaper, vilket användningsområde hänvisas textilierna till baserat på utförd aktivitetsnivå och omgivningsfaktorer?

Merinoull lämpar sig väl som underställsmaterial där värmeisolering är viktigt vid aktiviteter med låg till måttlig intensitet i varierande förhållanden och låg till hög intensitet i kallare förhållanden. Underställ av merinoull kan upplevas mindre behagliga under längre perioder av intensiv aktivitet på grund av dess låga fukttransport.

Coolmax är särskilt lämpligt för underställ vid aktiviteter med låg till måttlig intensitet i varma klimatförhållanden. Materialet passar även för användning vid högentensiv aktivitetsnivå i varierande förhållanden. Coolmax har goda fukttransportegenskaper men inte särskilt effektiv värmeisolering, vilket gör materialet mindre lämpligt vid användning i kallare klimatförhållanden.

Bambuviskos erbjuder goda termofysiologiska egenskaper för användning vid låg till måttlig intensitet i varierande klimatförhållanden. Materialet passar inte för högentensiv aktivitet på grund av dess spridningsarea vid fukttransport. Den goda fukttransporten och dess anpassningsförmåga till olika temperaturer gör det användbart för underställ.

Precis som bambuviskos har Tencel goda termofysiologiska egenskaper som gör det användbart för underställ vid aktiviteter med måttlig intensitet i varierande klimatförhållanden. Materialets höga spridningsarea vid fukttransport gör det inte lämpligt för högre aktivitetsnivåer eller i varma klimat med hög luftfuktighet.

PCM är lämpligt för användning vid aktiviteter med låg till hög intensitet i icke-extrema klimat. Materialet har den lägsta uppmätta värmeisolationen, vilket gör det mindre passande för kalla klimatförhållanden. Dock kan dess förmåga att lagra och frigöra värme göra det användbart för dynamisk termisk isolering, men mindre lämpligt för underställ som kräver både värmeisolering och fukttransport.

UTVÄRDERING AV STUDIEN

Miljö och etik

Bambuviskos, merinoull, Tencel och PCM-material jämförs med Coolmax i studien för att bedöma deras lämplighet som material i underställ med avseende på termofysiologisk komfort. Ur en miljösynvinkel analyserades materialens användningsområden för ett mångsidigt funktionsplagg med en hundra procentig materialkomposition för att därmed möjliggöra en klimatsmartare garderob. Inledningsvis undersöktes alternativa fiber ur hållbarhetsperspektiv då största delen av klimatavtryck kan härledas till materialvalet.

Studien syftade även till att undersöka hur dessa textilfibrer kan användas för att skapa funktionsplagg som erbjuder optimal fukttransport och värmeisolering. Men det kan krävas mer forskning för att utvärdera hur väl dessa material i vald bindning uppfyller användarnas behov och förväntningar, och om de faktiskt bidrar till att minska klädkonsumtionen genom att erbjuda hållbara alternativ, kvalitet och plagg anpassade efter aktivitetsnivå och klimat. Det är också viktigt att överväga andra

aspekter av social och ekonomisk hållbarhet, såsom arbetsförhållanden och kostnadseffektiviteten av de icke-konventionella materialen och dess potentiella produktion till underställ.

Studien strävar efter att bidra till de globala målen för hållbar utveckling, särskilt med avseende på hållbar konsumtion och produktion. Projektet nyttjar en befintlig, oanvänd maskin hos Seger, vilket optimerar resurseffektiviteten och stödjer lokal produktion genom att påvisa stickmaskinens möjligheter. De omnämnda faktorerna i kombination med studiens användande av mestadels europeiska garner främjar inhemsk ekonomi. En lokal produktion i Sverige ger bättre insyn och kontroll över arbetsförhållandena.

En viktig utmaning är att hitta lösningar för att använda biologiskt nedbrytbara, återanvändbara eller återvinningsbara material i funktionskläder. Genom att skapa funktionsplagg med en ren materialkomposition blir återvinning enklare och mer effektiv jämfört med plagg som innehåller blandade material. Coolmax, som är tillverkat av polyester har bra fukttransporterande egenskaper men har nackdelen av att vara en icke-biologiskt nedbrytbar syntetisk fiber. Ett underställ med dynamisk termisk isolering kan leda till ett konsumentbeteende vilket nyttjar färre plagg till en bredare användning, och därmed möjliggöra en klimatsmartare garderob. Dessvärre består PCM av en stor andel polyester vilket har en negativ påverkan på miljön under produktion och avveckling. Merinoull passar till underställ där värmeisolering är betydande. Bambuviskos, Tencel och merinoull har fördelen att de är biologiskt nedbrytbara och kan därmed minska miljöpåverkan i jämförelse med syntetiska fibrer som polyester. Dock påverkar merinoull den globala uppvärmningen under produktion med faktorer som djurens metanutsläpp och intensiv tvättning vid produktion (Keith 2003; Russell 2009). Bambuviskos och Tencel produceras vanligtvis med användning av stora mängder energi och farliga kemikalier vilka måste hanteras i ett slutet system.

Genom att välja högkvalitativa material och ta hänsyn till termofysiologisk komfort kan möjliggöra skapandet av funktionsplagg som kan användas i flera sammanhang samtidigt som miljöpåverkan minskas. Studien belyser materialens termofysiologiska komfort i vald struktur och kan användas vid beaktning av alternativa fibrer till funktionsplagg för att i framtida studier utforska materialens hållbarhetsaspekter och livslängd. Genom att integrera miljöaspekter och hållbarhetsprinciper i utvecklingen av funktionsplagg kan en cirkulär ekonomi främjas och skapa en hållbar framtid för modeindustrin.

För att ytterligare förbättra hållbarheten och minska miljöpåverkan bör ekodesign och hållbara val bör integreras i design- och planeringsstadiet för att bekämpa miljörisker tidigt i produktutvecklingen. Detta inkluderar att välja material med lägre miljöpåverkan och använda miljövänliga tekniker och processer. Kvalitet och hållbarhet bör prioriteras för att främja långvarig användning av plaggen och minska klädkonsumtionen. Användningen av farliga kemikalier och energiintensiva processer under tillverkningen av textilier behöver dessutom minskas. Beakta hantering och återvinning av material vid produktens avveckling för att underlätta återvinning och minska avfallsmängden.

Validitet och reliabilitet

Testresultat från studien ger en insikt i materialens termofysiologiska komfort, men bör inte ses som en heltäckande bild av denna komfort. För att få en mer valid slutsats krävs ytterligare test och beaktande av fler faktorer. Detta skulle ge en bredare förståelse av de redan uppmätta värdena och materialens komfort.

En av de främsta felkällorna under testning var mätningen av fukttransporten för merinoull. Den uppmätta spridningsarean var större på grund av att vattendroppar fallit på glaset. Även fibrer och fukt från det konditionerade testlabbet kan felaktigt ha identifierats som vatten under test av fukttransport, vilket skulle kunna ha rubbat värdena. Vidare registrerades spridningshastigheten vid ett fåtal punkter som en regression hos alla material vilket kan ha påverkat resultaten och har en okänd uppkomst.

Ytterligare faktorer som kan ha påverkat resultaten inkluderar skillnader i areavikt, garn- och tygtjocklek mellan de olika materialen. Tvättning av textilierna kan också ha påverkat egenskaperna, exempelvis genom att materialet krympt eller att inte alla orenheter tvättats bort. För merinoullen kan det faktum att garnet var färgat också ha påverkat materialets resultat.

Värmemotståndet testades inte helt enligt standard, eftersom bara två av tre tester genomfördes. Dessutom finns det ingen standard att följa för fukttransporttestet, vilket gör det svårt att bedöma resultatet. Vidare uppvisade de testade materialen olika beteenden vid horisontell och vertikal fukttransport, vilket antyder att ytterligare test kan behövas för att bekräfta eller förkasta resultaten, alternativt dyka djupare inom ämnet för att förstå påverkan.

Slutsatsen grundar sig på en kombination av litteratursökning och de utförda testerna för värmemotstånd och fukttransport. Trots vissa begränsningar, ger dessa tester ändå insikt i materialens termofysiologiska komfort och ger grund för rekommendationer baserade på potentiella aktivitetsnivåer hos användaren. Studiens resultat kan tjäna som en grund för framtida forskning och tester för att ytterligare undersöka och jämföra dessa och andra material.

6. SLUTSATSER

Syftet med denna studie är att identifiera alternativa fibrer och jämföra dem med konventionella fibrer för underställ där man vill uppnå god fukttransport och värmeisolering. Vidare kartläggs materialens användningsområde för att ta fram en funktionell textil till ett mångsidigt funktionsplagg och möjliggöra en klimatsmart garderob.

Resultaten från studien indikerar att merinoull visar högst värmeisoleringsegenskaper bland de testade materialen. Coolmax, bambuviskos och Tencel visar medelhögt värmemotstånd, medan PCM uppvisar lägst värmemotstånd. När det gäller fukttransport har merinoull den lägsta spridningsarean och spridningshastigheten, medan Coolmax visar en låg spridningsarea men en högre spridningshastighet. Bambuviskos och Tencel har störst spridningsarea och snabb initial fukttransport. Resultaten indikerar att materialen till underställ kan ha potentiella användningsområden i olika klimat och aktivitetsnivåer.

Med dessa resultat kan slutsatsen dras att merinoull och Coolmax har de mest fördelaktiga termofysiologiska egenskaperna bland de testade materialen. Dessa material kan därför rekommenderas för användning i underställ där både värmeisolering och fukttransport är viktigt. Merinoull passar dock bättre för kallare klimat. Bambuviskos och Tencel kan vara lämpliga alternativ för användning i underställ vid aktiviteter av måttlig intensitet i olika klimatförhållanden, men kanske inte vid höga aktivitetsnivåer eller i varma och fuktiga klimat. PCM, med sitt låga värmemotstånd och medelhöga fukttransport, gör materialet mindre lämpligt för underställ.

Studien ger insikter i materialens termofysiologiska komfort, men det krävs ytterligare tester och forskning för att validera slutsatserna. Felkällor inkluderar brister i mätning av fukttransport och variationer i materialens tekniska egenskaper. Trots dessa begränsningar kan resultaten användas som grund för framtida forskning och jämförelser av material.

Från en miljö- och etisk synvinkel, är det av stor vikt att leta efter alternativ till syntetiska material som är svåra att återvinna och bryta ner. Även om syntetiska material som Coolmax och PCM erbjuder goda fukttransporterande egenskaper, bör deras miljöpåverkan under produktion och avveckling beaktas. Bambuviskos, Tencel och merinoull, som alla är biologiskt nedbrytbara, kan vara mer miljövänliga alternativ. Ändå bör det noteras att produktionen av dessa material också kan ha betydande miljöpåverkan, till exempel metanutsläpp från får vid produktion av merinoull och användningen av stora mängder energi och farliga kemikalier vid produktion av bambuviskos och Tencel.

Denna studie bidrar till att belysa potentialen hos alternativa fibrer för användning i funktionsplagg och kan utgöra en viktig grund för framtida forskning och utveckling av mer hållbara textilier. Genom att fokusera på att utveckla funktionella textilier med en ren materialkomposition kan återvinning bli mer effektiv, vilket hjälper till att främja en cirkulär ekonomi och en mer hållbar framtid för textilindustrin.

Dessa resultat kan uppmuntra branschen att omvärdera sin användning av konventionella fibrer och istället överväga användningen av alternativa fibrer där det är möjligt. Detta kan resultera i ett mångsidigt underställ som fungerar inom olika användningsområden och leder till en linjär konsumtion, vilket resulterar i en mindre och smartare garderob för slutanvändaren. Dessutom kan studien fungera som en värdefull grund och utgångspunkt för att utvärdera materialval för Segers fabrik vid uppstarten av den lokala produktionen på 24-delningstickmaskinen. I det större perspektivet kan denna studie främja svenskt näringsliv genom att skapa produktionsmöjligheter i Sverige och inspirera internationella företag att utforska nya hållbara lösningar och materialval, vilket i sin tur bidrar till att driva textilindustrin framåt.

7. FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

I framtida studier av liknande projekt rekommenderas att undersöka material med liknande garnnummer, tjocklek och areavikt. Genom att hålla dessa faktorer konsekventa blir det lättare att jämföra resultaten och materialens inverkan på de mätta egenskaperna. Att göra en mer detaljerad studie om varje enskilt material; Coolmax, PCM, bambuviskos, Tencel och merinoull, kan vara intressant för framtida forskning. Detta ger insikt i de specifika egenskaperna och fördelarna med varje material och hur de kan användas på bästa sätt inom textilindustrin.

En intressant aspekt är att jämföra olika bindningar och hur de påverkar egenskaperna för att kartlägga vilka bindningar i vald maskin som passar syftet. En annan aspekt är att testa olika behandlingar för att undersöka de färdigberedda textilernas egenskaper både före och efter behandling. För att vidare utveckla projektet kan en variation av materialkompositioner eller nya material undersökas för att belysa vilka material som är kompatibla, förbättrar egenskaperna och vilket material som är lämpligt på avig eller rätsida. En kombination av Coolmax för snabb fukttransport, PCM för termoreglering, och bambuviskos eller Tencel för ytterligare fuktupptagning kan till exempel vara en intressant kombination att utforska.

Det finns många andra egenskaper som kan vara relevanta att testa för att förstå den termiska komforten vid användning som vattenångmotstånd, avdunstning och luftgenomsläpp. Dessutom bör materialen testas för egenskaper som motstånd mot slitage, rivning, elasticitet samt hur väl materialen behåller sina egenskaper efter upprepade tvättar. Det är också viktigt att undersöka möjligheterna till återvinning och återanvändning av dessa material i stickad struktur och att bedöma hur väl de presterar i förhållande till olika hållbarhetsindikatorer och andra funktionsplagg. Denna typ av livscykelanalys skulle ge en mer komplett bild av materialens miljöpåverkan.

8. REFERENSER

- Akbar, A. R., Su, S., Amjad, B., Cai, Y. & Lin, L. (2017). Effect of Bamboo Viscose on the Wicking and Moisture Management Properties of Gauze. *IOP conference series. Materials Science and Engineering*, 275(1), s. 12042. doi:10.1088/1757-899X/275/1/012042
- Bhatia, D. & Malhotra, U. (2016). Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An of *Textile Science & Engineering*, 06(2). doi:10.4172/2165-8064.1000250
- Booth, J. E. (1982). *Principles of textile testing*. Butterworth Scientific.
- Celanese (2001). Complete Textile Glossary. *Complete Textile Glossary*. Celanese Acetate LLC.
- Çengel, Y. A. (1997). *Introduction to thermodynamics and heat transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., Kanoglu, M. & Turner, R. H. (2017). *Fundamentals of thermal-fluid sciences*. Fifth edition in SI units. uppl.: McGraw-Hill Education.
- Chen, J. (2014). Chapter 4 - Synthetic Textile Fibers: Regenerated Cellulose Fibers. Elsevier Ltd, ss. 79-95. doi:10.1016/B978-1-84569-931-4.00004-0
- Cloud, R. M., Cao, W. & Song, G. (2013). Functional Finishes to Improve the Comfort and Protection of Apparel. ss. 258-279. doi:10.1533/9780857097613.2.258
- Connor-Crabb, A. & Rigby, E. D. (2019). Garment Quality and Sustainability: A User-Based Approach. *Fashion practice*, 11(3), ss. 346-374. doi:10.1080/17569370.2019.1662223
- Crow, R. M. & Osczevski, R. J. (1998). The Interaction of Water with Fabrics. *Textile research journal*, 68(4), ss. 280-288. doi:10.1177/004051759806800406
- Daanen, H. (2015). 7 - Physiological strain and comfort in sports clothing. Elsevier Ltd, ss. 153-168. doi:10.1016/B978-1-78242-229-7.00007-2
- Daanen, H., Hatcher, K. & Havenith, G. (2005). Determination of clothing microclimate volume. *Elsevier Ergonomics Book Series*, 3, ss. Pages 361-365. doi:[https://doi.org/10.1016/S1572-347X\(05\)80057-6](https://doi.org/10.1016/S1572-347X(05)80057-6)
- de Gennes, P. G. (1987). Polymers at an interface; a simplified view. *Advances in colloid and interface science*, 27(3), ss. 189-209. doi:10.1016/0001-8686(87)85003-0
- Eimer, D. & Eimer, D. (2014). Desorption. United Kingdom: John Wiley & Sons, Incorporated, ss. 319-332. doi:10.1002/9781118877746.ch17
- Europaparlamentet (2018). *Mikroplaster: ursprung, effekter och lösningar*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/society/20181116STO19217/mikroplaster-ursprung-effekter-och-losningar>
- Europaparlamentet (2021). *Circular economy: MEPs call for tighter EU consumption and recycling rules*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/press-room/20210204IPR97114/circular-economy-meps-call-for-tighter-eu-consumption-and-recycling-rules>
- Europaparlamentet (2022). *Textilproduktionens och textilavfallets inverkan på miljön*. <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/society/20201208STO93327/textilproduktionens-och-textilavfallets-inverkan-pa-miljon>
- Fan, J. (2009). 8 - Physiological comfort of fabrics and garments. *Engineering apparel fabrics and garments*. Elsevier Ltd, ss. 201-250. doi:10.1533/9781845696443.201
- Fan, J. & Chen, Y. S. (2002). Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapour resistance using a novel perspiring fabric thermal manikin. *Measurement science & technology*, 13(7), ss. 1115-1123. doi:10.1088/0957-0233/13/7/320
- Ghiaasiaan, S. M. (2007). *Two-phase flow, boiling and condensation in conventional and miniature systems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Girfanova, L. R. & Abdyrasulova, R. R. (2021). Improvement of Textile Waste Sorting Processes. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 666(2), s. 22027. doi:10.1088/1755-1315/666/2/022027
- Globala målen* (2023). <https://www.globalamalen.se>
- Hahn, D. W. & Özişik, M. N. (2012). *Heat conduction*. 3rd uppl. Hoboken, N.J: Wiley.
- Havenith, G. (1999). Heat balance when wearing protective clothing. *The Annals of occupational hygiene*, 43(5), ss. 289-296. doi:10.1016/S0003-4878(99)00051-4

- Howell, J. R., Menguc, M. P. & Siegel, R. (2015). *Thermal radiation heat transfer*. Sixth edition. uppl. Boca Raton, FL: CRC Press, an imprint of Taylor and Francis.
- Incropera, F., DeWitt, D., Bergman, T. & Lavine, A. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Sixth edition uppl. United States of America, MA: John Wiley & Sons.
- Ira, M. C. & Pijush, K. K. (2007). *Fluid Mechanics, 4th Edition*. Academic Press.
- J Fan, L. H. (2009). *Engineering Apparel Fabrics and Garments*. Cambridge: Elsevier Science.
- Jhanji, Y., Gupta, D. & Kothari, V. K. (2015). Moisture management properties of plated knit structures with varying fiber types. *Journal of the Textile Institute*, 106(6), ss. 663-673. doi:10.1080/00405000.2014.934044
- Jiao, J., Li, Y., Yao, L., Chen, Y., Guo, Y., Wong, S. H. S., Ng, F. S. F. & Hu, J. (2017). Effects of body-mapping-designed clothing on heat stress and running performance in a hot environment. *Ergonomics*, 60(10), ss. 1435-1444. doi:10.1080/00140139.2017.1306630
- Kan, C.-W., Yam, L.-Y. & Ng, S.-P. (2014). Effect of Stretching on Ultraviolet Protection of Cotton and Cotton/Coolmax Blended Weft Knitted Fabric in a Wet State. *Materials*, 7(1), ss. 58-74. doi:10.3390/ma7010058
- Karthikeyan, G., Nalakilli, G., Shanmugasundaram, O. L. & Prakash, C. (2017). Moisture Management Properties of Bamboo Viscose/Tencel Single Jersey Knitted Fabrics. *Journal of natural fibers*, 14(1), ss. 143-152. doi:10.1080/15440478.2016.1187700
- Keith, S. (2003). 5 - Yarn production. Elsevier Ltd, ss. 40-60. doi:10.1016/B978-1-85573-541-5.50008-1
- Koru, M., Büyükkaya, K. & Kan, M. (2022). The Effect of Orientation, and Temperature on Thermal Conductivity in Nettle Fiber/Polyester Composites. *International journal of thermophysics*, 43(10). doi:10.1007/s10765-022-03079-w
- Kothari, V. K. (2008). 14 - Polyester and polyamide fibres – apparel applications. Elsevier Ltd, ss. 419-440. doi:10.1533/9781845694609.3.419
- Lin, C. A. (2008). 3 - Manufacture of polyester fibres. Elsevier Ltd, ss. 62-96. doi:10.1533/9781845694609.1.62
- Malhotra, U. & Bhatia, D. (2016). Thermophysiological Wear Comfort of Clothing: An Overview.
- Mather, R. R. & Wardman, R. H. (2015). *The chemistry of textile fibres*. 2nd uppl. Place of publication not identified: Royal Society of Chemistry.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2007). *Exercise physiology : energy, nutrition, and human performance*. 6. uppl. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Militký, J., Venkataraman, M. & Periyasamy, A. P. (2022). *Fibrous Structures and Their Impact on Textile Design*. Singapore: Springer.
- Mittemeijer, E. J. (2021). *Diffusion*. Switzerland: Springer International Publishing AG. doi:10.1007/978-3-030-60056-3_8
- Mondal, S. (2008). Phase change materials for smart textiles – An overview. *Applied thermal engineering*, 28(11), ss. 1536-1550. doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009
- Morrissey, M. & Wang, F. (2014). 12 - Air and water perfusion-based personal cooling systems (PCSs) to protect against heat stress in protective clothing. Elsevier Ltd, ss. 296-315. doi:10.1533/9781782420408.2.296
- Mortimer, R. G. (2000). *Physical Chemistry*. San Diego: Elsevier Science & Technology.
- Morton, W. E. & Hearle, J. W. S. (2008). *Physical properties of textile fibres*. 4th uppl. Cambridge: Woodhead.
- Musaddaq, A., Lubos, H. E. S., Jakub, W., Muhammad Tayyab, N., Azam, A. L. I. & Tariq, M. (2018). Comfort properties of nano-filament polyester fabrics: thermo-physiological evaluation. *Industria textilă (Bucharest, Romania : 1994)*, 69(4), ss. 315-321. doi:10.35530/IT.069.04.1529
- Muthu, S. S. (2014). *Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability*. Singapore: Springer Singapore Pte. Limited, ss. 239-276. doi:10.1007/978-981-287-065-0_8
- Muthu, S. S. (2021). *Domestic Laundry and Microfiber Shedding of Synthetic Textiles*. Singapore: Springer, ss. 127-155. doi:10.1007/978-981-16-0297-9_5

- Nationalencyklopedin, N. (2023). *Sorption - Uppslagsverk - NE.se*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sorption>
- Nield, D. A. & Bejan, A. (2013). *Convection in Porous Media*. 4. Aufl. uppl. New York, NY: Springer-Verlag.
- Nyoni, A. B. & Brook, D. (2006). Wicking mechanisms in yarns-the key to fabric wicking performance. *Journal of the Textile Institute*, 97(2), ss. 119-128.
 doi:10.1533/joti.2005.0128
- Onofrei, E., Maria Rocha, A. & Catarino, A. (2012). Investigating the effect of moisture on the thermal comfort properties of functional elastic fabrics. *Journal of industrial textiles*, 42(1), ss. 34-51. doi:10.1177/1528083711425840
- Pan, N. & Gibson, P. (2006). *Thermal and moisture transport in fibrous materials*. Cambridge, England ;: Woodhead Publishing Limited.
- Patnaik, A. (2006). *Wetting and wicking in fibrous materials*. Cambridge: Woodhead.
- Pruchova, J., Süpüren, G., Özdil, N. & Özçelik, G. (2009). A Study On The Moisture Transport Properties Of The Cotton Knitted Fabrics In Single Jersey Structure. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19(3), ss. 218-223.
- Reddy, N. & Yang, Y. (2014). The N-Methylmorpholine-N-Oxide (NMMO) Process of Producing Regenerated Fibers: Regenerated Cellulose Fibers. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, ss. 65-71. doi:10.1007/978-3-662-45136-6_18
- Rossi, R. M. (2015). 9 - Cold weather sports clothing. Elsevier Ltd, ss. 197-212.
 doi:10.1016/B978-1-78242-229-7.00009-6
- Russell, I. M. (2009). 3 - Sustainable wool production and processing. Elsevier Ltd, ss. 63-87. doi:10.1533/9781845696948.1.63
- Shishoo, R. & Bechtold, T. (2015). *Textiles for sportswear*. Amsterdam, [Netherlands: Woodhead Publishing.
- SIS (1975). *Textile fibres - Some methods of sampling for testing (ISO 1130)*. Svenska institutet för standarder.
- SIS (1996). *Textil - Bestämning av tjocklek hos textilier och textila produkter (ISO 5084:1996) (ISO 5084:1996)*. Svenska institutet för standarder.
- SIS (1997). *Textil - Tyger - Bestämning av areavikt genom användning av små prover (SS-EN 12127)*. Svenska institutet för standarder.
- SIS (2005). *Textil - Standardatmosfärer för konditionering och provning (ISO 139:2005) (ISO 139:2005)*. Svenska institutet för standarder.
- SIS (2014). *Textil - Bestämning av fysiologiska egenskaper - Mätning av värme- och vattenångmotstånd i fortfarighetstillstånd (ISO 11092:2014) (ISO 11092:2014)*. Svenska institutet för standarder.
- SIS (2021). *Textil - Förfaranden för hushållstvätt och torkning vid provning av textilier (ISO 6330:2021) (ISO 6330:2021)*. Svenska institutet för standarder.
- Slater, K. (1986). Assessment of comfort. *Journal of the Textile Institute*, 77, ss. 157-171.
 doi:10.1080/00405008608658406
- Song, G. (2011). *Improving Comfort in Clothing*. Cambridge: Elsevier Science & Technology.
- Stanelle, R. D., Sander, L. C. & Marcus, R. K. (2005). Hydrodynamic flow in capillary-channel fiber columns for liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1100(1), ss. 68-75. doi:10.1016/j.chroma.2005.09.014
- Stuart, I. M., Schneider, A. M. & Turner, T. R. (1989). Perception of the heat of sorption of wool. *Textile research journal*, 59(6), ss. 324-329.
 doi:10.1177/004051758905900603
- Troynikov, O. & Wardiningsih, W. (2011). Moisture management properties of wool/polyester and wool/bamboo knitted fabrics for the sportswear base layer. *Textile research journal*, 81(6), ss. 621-631. doi:10.1177/00405175110392461
- Varshney, R. K., Kothari, V. K. & Dhamija, S. (2010). A study on thermophysiological comfort properties of fabrics in relation to constituent fibre fineness and cross-sectional shapes. *Journal of the Textile Institute*, 101(6), ss. 495-505.
 doi:10.1080/00405000802542184
- Wang, F. (2014). 14 - Modelling of cold stress and cold strain in protective clothing. Elsevier Ltd, ss. 366-391. doi:10.1533/9781782420408.3.366
- Wardiningsih, W. & Troynikov, O. (2012). Influence of cover factor on liquid moisture transport performance of bamboo knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*, 103(1), ss. 89-98. doi:10.1080/00405000.2011.552253

- White, P. (2001). 4 - Lyocell: the production process and market development. Elsevier Ltd, ss. 62-87. doi:10.1016/B978-1-85573-459-3.50009-5
- Wickramarathne, T. I. & Al Mahmud, A. (2021). Considerations for Designing Sportswear for Low-Income Tropical Countries. *The Design journal*, 24(2), ss. 207-230. doi:10.1080/14606925.2021.1877236
- Wilkes, A. G. (2001). 3 - The viscose process. Elsevier Ltd, ss. 37-61. doi:10.1016/B978-1-85573-459-3.50008-3
- Williams, M. E. J. (2010). Form-Fitted Athletic Wear Comfort and Performance Optimization. doi:<http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/6350>
- Woodings, C. (2001). Appendix A - Lyocell end-use development datasheets. United Kingdom: Elsevier Ltd, ss. 290-317. doi:10.1016/B978-1-85573-459-3.50016-2
- Xu, Y., Lu, Z. & Tang, R. (2007). Structure and thermal properties of bamboo viscose, tencel and conventional viscose fiber. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 89(1), ss. 197-201. doi:10.1007/s10973-005-7539-1
- Yoo, S. & Barker, R. L. (2004). Moisture Management Properties of Heat-Resistant Workwear Fabrics— Effects of Hydrophilic Finishes and Hygroscopic Fiber Blends. *Textile research journal*, 74(11), ss. 995-1000. doi:10.1177/004051750407401110
- Zhang, X. X., Wang, X. C., Tao, X. M. & Yick, K. L. (2005). Energy storage polymer/MicroPCMs blended chips and thermo-regulated fibers. *Journal of materials science*, 40(14), ss. 3729-3734. doi:10.1007/s10853-005-3314-8
- Zhao, C. Y. & Zhang, G. H. (2011). Review on microencapsulated phase change materials (MEPCMs): Fabrication, characterization and applications. *Renewable & sustainable energy reviews*, 15(8), ss. 3813-3832. doi:10.1016/j.rser.2011.07.019
- Zhong, W. (2006). 4 - Surface tension, wetting and wicking. Elsevier Ltd, ss. 136-155. doi:10.1533/9781845692261.1.136

Appendix I.

BILAGA I

Dokumentation på provningsförande och testresultat från RISE vid bestämning av textilernas värmemotstånd.



REPORT

Contact person	Date	Reference	Page
Monica Cristea Division Materials and Production +46 10 228 46 85 monica.cristea@ri.se	2023-05-24	EXJOBBS THS 23	1 (2)
		Textilhögskolan Borås Moa Hollén Filippa Westerlund	

Determination of thermal resistance

Test material

1	Merinoull
2	Coolmax, PE
3	PCM (PE)
4	Bambu
5	Tencell

The test material was received from the client 2023-05-12.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postal address	Office location	Phone / Fax / E-mail
Box 857 501 15 BORÅS SWEDEN	Argongatan 30 431 53 M6lndal SWEDEN	+46 10-516 50 00 +46 33-13 55 02 info@rise

Confidentiality level
C2 - Internal

This document may not be reproduced
other than in full, except with the prior
written approval of RISE Research
Institutes of Sweden AB.



Procedure and results

Thermal resistance (R_{ct})

Thermal resistance (R_{ct}) was determined according to SS-EN ISO 11092:2014.

Conditioning climate: (20 ±2) °C at (65 ±4) % RH

Testing climate: (20 ±0.1) °C at (65 ±3) % RH

Arrangement of test specimens according to SS-EN ISO 11092:2014, 7.2

Deviation from the standard: two samples have been tested instead of three samples from each test material.

Date of test: 2023-05-15 – 17

Table 1. Thermal resistance

Test material	Thermal resistance [m ² K/W]			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Mean value
1	0.0507	0.0509	-	0.0508
2	0.0265	0.0237	-	0.0251
3	0.0195	0.0173	-	0.0184
4	0.0261	0.0247	-	0.0254
5	0.0300	0.0265	-	0.0283

The repeatability of measurements of materials with values up to 0.05 m² K/W is, according to SS-EN ISO 11092:2014, 0.003 m² K/W. For values higher than 0.05 m² K/W, it is estimated to 7 %.

The reproducibility is 0.0065 m²K/W as measured on foams.

All results relate only to the material tested.

Tested materials were sent back to the client

RISE Research Institutes of Sweden AB
Methodology, Textiles & Medtech - Textiles Testing, Certification&Analysis

Performed by

Examined by

Monica Cristea

Simonetta Granello

Verifikat

Transaktion 09222115557493320996

Dokument

Determination of thermal resistance
Huvuddokument
2 sidor
Startades 2023-05-24 09:59:45 CEST (+0200) av
Simonetta Granello (SG)
Färdigställt 2023-05-24 10:02:41 CEST (+0200)

Signerande parter

Simonetta Granello (SG)
RISE Research Institutes of Sweden AB
Org. nr 556464-6874
simonetta.granello@ri.se
+46 10 228 48 01
Signerade 2023-05-24 10:00:20 CEST (+0200)

monica cristeo (mc)
monica.cristea@ri.se
Signerade 2023-05-24 10:02:41 CEST (+0200)

Detta verifikat är utfärdat av Scrive. Information i kursiv stil är säkert verifierad av Scrive. Se de dolda bilagorna för mer information/bevis om detta dokument. Använd en PDF-läsare som t ex Adobe Reader som kan visa dolda bilagor för att se bilagorna. Observera att om dokumentet skrivs ut kan inte integriteten i papperskopian bevisas enligt nedan och att en vanlig papperutskrift saknar innehållet i de dolda bilagorna. Den digitala signaturen (elektroniska förseglingen) säkerställer att integriteten av detta dokument, inklusive de dolda bilagorna, kan bevisas matematiskt och oberoende av Scrive. För er bekvämlighet tillhandahåller Scrive även en tjänst för att kontrollera dokumentets integritet automatiskt på: <https://scrive.com/verify>



BILAGA 2

Resultatrapport från JamesHeal Wickview-test vid Fuktttransport horisontell riktning. Spridningshastigheten i mm²/s var femte sekund under de första 50 sekunderna över rätsida (Face) och avigsida (Skin). Textilproverna är benämnda 1 för Coolmax, 2 för PCM-matrealet, 3 för bambuviskos, 4 för Tencel och 5 för merinoull.

WickView Results

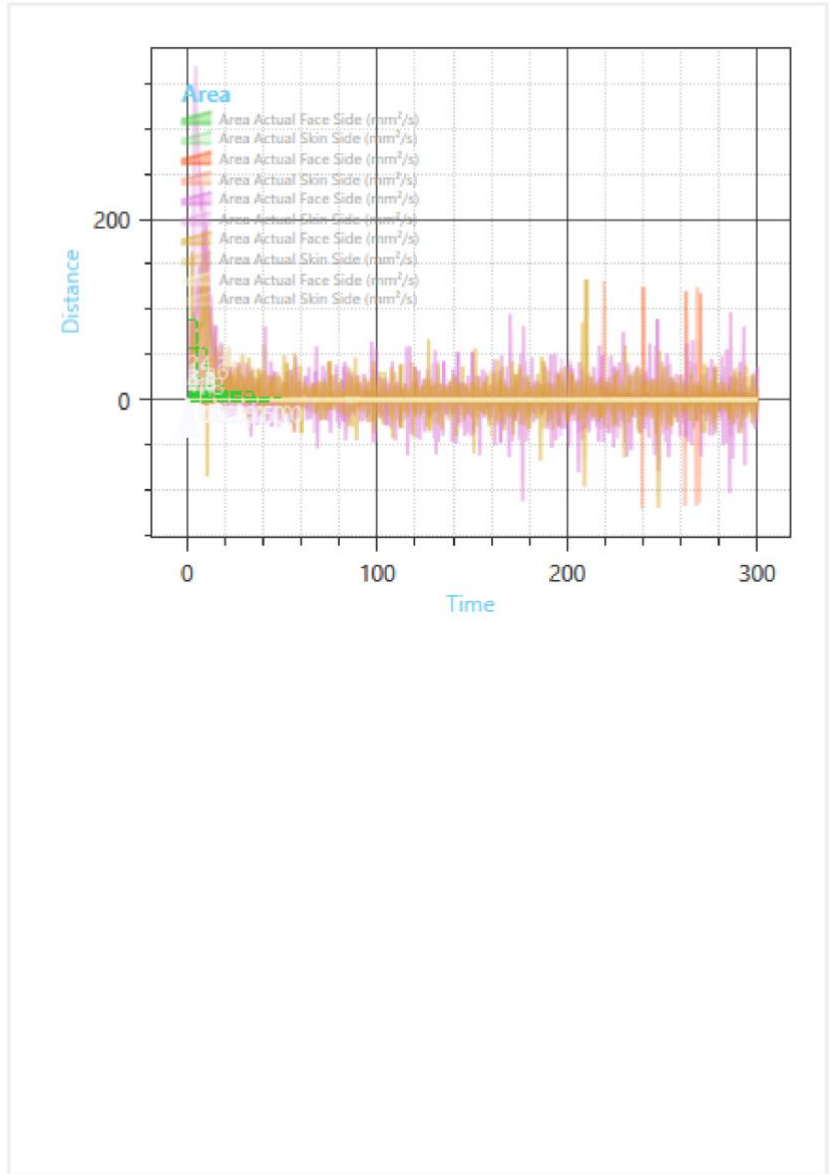
Specimen

Company	hb
Reference	Fuktttransport horisontell
Material	Merinoull
Mass	389 [g/m ²]
Comment	
Sample Width (mm)	100,000
Sample Height (mm)	100,000
Sample Thickness (mm)	0,400
Sample Aperture (mm)	150,0

Results

Face	Area Actual Rate At Time 5,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 10,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 15,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 20,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 25,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 30,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 35,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 40,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 45,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 50,00 (mm ² /s)
1	0,000	2,652	-0,439	2,209	1,318	1,316	0,439	-0,442	-0,875	1,756
2	1,767	-6,168	3,506	-0,884	-0,442	1,756	3,090	1,326	-0,443	1,324
3	99,554	192,512	81,885	35,367	-17,140	3,981	25,121	-8,369	-4,026	17,535
4	55,094	88,800	34,352	36,113	13,242	15,028	6,213	24,749	1,778	7,089
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Skin	Area Actual Rate At Time 5,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 10,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 15,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 20,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 25,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 30,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 35,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 40,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 45,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 50,00 (mm ² /s)
1	0,000	10,203	-1,501	0,754	-0,750	2,259	-0,746	1,891	1,876	1,501
2	0,377	-0,377	-0,001	0,378	-0,376	0,000	-2,264	0,378	0,001	0,378
3	311,305	126,498	35,529	23,423	7,189	12,047	13,217	13,562	-16,182	-15,081
4	64,431	86,202	57,244	40,328	42,236	13,247	23,755	-11,705	6,387	-1,897
5	0,000	2,630	0,375	0,001	0,000	0,375	0,000	0,754	-0,378	0,000



BILAGA 3

Resultatrapport från JamesHeal Wickview-test vid Fukttransport vertikal riktning. Spridningshastigheten i mm²/s var femte sekund under de första 50 sekunderna över rätsida (Face) och avigsida (Skin). Textilproverna är benämnda 1 för Tencel, 2 för bambuviskos, 3 för merinoull, 4 för PCM-materialet och 5 för Coolmax.

WickView Results

Specimen

Company	hb
Reference	Fukttransport vertikal
Material	Coolmax
Mass	148 [g/m ²]
Comment	
Sample Width (mm)	100,000
Sample Height (mm)	100,000
Sample Thickness (mm)	1,320
Sample Aperture (mm)	150,0

Results

Face	Area Actual Rate At Time 5,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 10,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 15,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 20,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 25,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 30,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 35,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 40,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 45,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 50,00 (mm ² /s)
1	117,253	149,838	80,305	29,958	25,577	35,682	65,743	-7,928	-4,379	-49,106
2	96,767	124,918	46,343	-7,011	12,792	31,565	-13,267	29,043	-0,751	23,377
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	16,743	10,142	-3,947	1,764	-3,519	3,084	-2,174	6,559	5,717	-2,188
5	0,000	0,879	2,187	1,318	0,439	0,884	5,293	3,099	2,649	2,207

Skin	Area Actual Rate At Time 5,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 10,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 15,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 20,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 25,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 30,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 35,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 40,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 45,00 (mm ² /s)	Area Actual Rate At Time 50,00 (mm ² /s)
1	177,186	101,750	36,234	32,774	4,494	5,293	-9,051	-1,477	2,620	-37,177
2	101,270	94,333	37,590	22,230	29,802	8,240	4,925	9,423	13,084	-7,159
3	7,546	6,795	-0,377	-0,374	0,748	-1,507	0,379	0,752	0,378	0,754
4	4,531	20,760	3,344	12,374	11,694	-7,520	4,875	0,028	-15,777	3,403
5	1,896	23,309	0,764	6,767	-3,738	1,132	2,640	4,531	-6,034	-0,741

