



THE SWEDISH SCHOOL
OF TEXTILES
UNIVERSITY OF BORÅS

Livräddning vid drunkningstillbud

TEXTILTEKNISK FÖRDJUPNING

Elsa Gustafsson, M. Said Akil, Julia Hellmark Killick & Julia Svensson

DTEIN20h

2023

1. Introduktion	5
1.1 Problemformulering	5
1.2 Syfte	5
1.3 Frågeställning	6
1.4 Kravspecifikation	6
1.5 Avgränsningar	7
2. Omvärldsanalys	8
2.1 Dagens utrustning vid vattenlivräddning	8
2.2 Laminering	9
2.3 Friktionsreduktion	10
3. Produktutveckling	12
3.1 Konzeptutveckling	12
3.1.1 Dräkt i modul	12
3.1.2 Material, beredning och metod för minimerad friktion	13
3.1.3 Utveckling av konceptet	13
3.2 Produktutveckling	14
3.2.1 Produktutveckling utifrån kravspecifikation	14
3.2.2 Materialval	15
3.2.2.2 Material för nötning	15
3.2.2.3 Material för isolation	15
3.2.2.4 Material för elasticitet	16
3.2.3 Metodval	16
3.2.3.1 Väv	16
3.2.3.2 Triå	16
3.2.3.3 Laminat	17
3.2.5 Tester och utvärdering	18
3.2.5.2 Bestämning av tygers nötningshårdighet med Martindalemetoden	18
4. Slutresultat	18
4.1 Prototyp 1	18
4.2 Prototyp 2	19
4.3 Minimerad friktion	20
4.5 Sammanfattning av resultat	21
4.6 Förslag på fortsatt arbete	21
5. Diskussion	23
Referenser	26
Bilagor	28
1. Test av laminat	28
2. Textil - Bestämning av tygers nötningshårdighet med Martindalemetoden - Del 2: Bestämning av brott (ISO 12947-2:2016)	29

Förord

Tack till Christian Carlsson och Aron Mathiasson, kontaktpersoner på Räddningstjänsten Göteborg för aktivt deltagande för problematisering, pågående forskning och delade kontakter samt tillhandahållandet av vådräcker.

Jan Karlsson, projektledare för fridykning inom kommunal räddningstjänst, för integreringen av gruppen i dagens arbete kring och om räddningsdykning.

Personal på Södra Älvsborgs räddningsförbund (Borås) Guttasjön för väl mottagande vid test av värmedykning.

Ett sista tack till alla labbtekniker på Textilhögskolan för all hjälp med projektet.

Sammanfattning

Räddningstjänsten associeras med ingripanden vid bränder men måste enligt lagkrav uttrycka vid trafik- och vattenolyckor. Vattenlivräddning delas in i ytlivräddning och räddningsdykning där det idag finns fler stationer med kapacitet för ytlivräddning än för räddningsdykning. Ytlivräddning sker över vattenytan medan räddningsdykning sker under vattenytan. Vid räddningsdykning används torrdräkter under vinterhalvåret och våtdräkter sommartid som inte är optimala för det snabba och effektiva arbete som krävs. Torrdräkterna är enklare att ta på än våtdräkterna men inkapslar luft och komplicerar därmed dykningen. Våtdräkterna är effektiva för dykning men problematiska vid påklädning. Räddningstjänsten efterlyser en dräkt vid räddningsdykning för användning året om och som kan effektivisera arbetet vid olyckor under vattenytan. I produktutvecklingen av en dräkt som är enkel att ta på och fungerar oavsett vattentemperatur undersöker rapporten vilka möjligheter det finns inom fiber-, garn-, material-, struktur- och beredningsval. Baserat på teori och tillgänglig utrustning laboreras de olika parametrarna med. Rapporten undersöker och fokuserar på hur laminerade tyglager tillsammans med beredningar kan komma att användas för en dräkt som är optimalt anpassad till räddningsdykning för räddningstjänsten. Två vattentäta och elastiska prototyper tas fram där en rundstickad jersey lamineras på en tre-lagers flatstickad vara. Skillnaden mellan prototyperna är det använda laminatet samt att hur den ena prototypen får sin vattentäta egenskap med hjälp av ett membran istället för ett laminat.

1. Introduktion

Lagen om skydd och olyckor (LSO) styr hur räddningstjänsten ska agera vid olyckor och i förebyggande arbete inom brand, trafik och säkerhet (serf.se 2023). Räddningstjänsten förknippas ofta med bränder men arbetar även med vattenlivräddning. Antalet insatser räddningstjänsten gjort har ökat de senaste åren och år 2018 uppgick insatserna inom drunkningstillbud till 710 stycken (Mattsson, R. 2020). Vattenlivräddning delas in i två kategorier, ytlivräddning och räddningsdykning. Insatsen vid ytlivräddning sker ovan vattenytan, vanligen där insatsstyrkan är iklädda torrdräkt. Vid räddningsdykning söks den drabbade under vattenytan varpå dykning sker. Utrustningen vid denna typ av tillbud är torrdräkt vintertid, våtdräkt sommartid samt att dykningen sker parvis. Torrdräkten stänger ute vattnet och håller utövaren torr och varm genom ett underställ som bärs under (friluftaren.se 2023). Våtdräkten släpper däremot in vatten i dräkten som värms upp av kroppen och håller på så sätt utövaren varm. Arbetsmiljöverket reglerar kraven för utförande av räddningsdykning som kräver både medicinsk undersökning samt särskild påbyggd utbildning. Svenska livräddningssällskapet rapporterar 63 omkomna i drunkningsolyckor år 2022 (svenskalivreddningssallskapet.se 2023). Drunkningsolyckor sker, enligt statistiken år 2022, året om med en markant ökning under sommarmånaderna.

Enligt Christian Carlsson, utvecklingsledare vid räddningstjänsten Storgöteborg, minskar sannolikheten att rädda liv med tiden (Carlsson, C. 2023). En snabb process från larm till första fordon på plats är nödvändigt för ett positivt utfall. Carlsson beskriver komplikationen med den utrustning som används idag vid räddningsdykning som både är tidskrävande vid påklädnad och inte särskilt anpassad till vare sig individen som agerar vid olyckan eller den arbetsmetod som används. Räddningstjänsten söker därför en mer anpassad våtdräkt för att effektivare kunna agera och arbeta vid drunkningsolyckor under vattenytan där dykning krävs.

1.1 Problemformulering

För ytlivräddning finns utvecklad och anpassad utrustning vilket inte utrustningen för räddningsdykning är. Sommartid består utrustningen för räddningsdykning av vanliga våtdräkter som tar lång tid (2-3 minuter) att få på sig på grund av att de är tajta. Dräkterna kan inte heller fås på själv utan kräver assistans av den kollega som åker med på uppdraget då räddningsdykning inte sker allena. Vintertid används torrdräkter vid räddningsdykning som bärs med ett underställ under. Torrdräkterna är dock anpassade för livräddning ovan vattenytan och komplicerar dykningen på grund av den inkapslade luftansamlingen inuti dräkten. Räddningstjänsten har en limiterad tid från larm till att befinna sig på plats. Därav är det viktigt att den aktuella utrustningen är snabb, enkel och effektiv att ta på samtidigt som dräkten uppfyller dess funktion. Ju snabbare räddningsinsatser kan påbörjas tillsammans med kortare tid i vatten ökar sannolikheten för överlevnad. En anpassad dräkt för räddningsdykning vid drunkningstillbud är efterfrågat för att snabbt, effektivt och säkert kunna rädda liv.

1.2 Syfte

I dagsläget finns ingen dräkt som uppfyller alla Räddningstjänstens önskemål. Syftet med arbetet och, i förlängningen, rapporten är att utforska laborativt huruvida det är möjligt att konstruera en materialsammansättning som uppfyller dessa önskemål. Arbetet kommer inte behandla konfektionstekniska frågor och heller inte utreda vilken industriell process som bäst lämpar sig för produktion av den dräkt som kan komma att tillverkas. Befintlig kunskap kommer även sökas genom

vetenskaplig litteratur, analys av befintliga produkter på marknaden samt samarbeta med Textilhögskolans tekniker och Räddningstjänsten för att skapa ett underlag till en dräkt som uppfyller kraven på en optimerad och anpassad dräkt för räddningsdykning.

1.3 Frågeställning

- Vilka textila material skulle lämpa sig väl för en räddningsdykardräkt, enligt Räddningstjänstens önskemål?
- Är det möjligt att uppfylla samtliga av Räddningstjänstens önskemål i en och samma dräkt?

1.4 Kravspecifikation

För räddningsdykning finns inga standarder för metod eller utrustning. Då det inte finns några standardiserade krav eller regelverk att förhålla sig till baseras kravspecifikationen på önskade egenskaper som räddningstjänstens fridykare har på dräkten. Räddningstjänstens krav på dräkten sammanställs i tabellen nedan.

Tabell 1. Kravspecifikation.

Krav	Beskrivning
Optimal passform för olika kroppstyper	Dräkten bör vara anpassad för olika längder och storlekar så att insatsen ska kunna utföras på ett komfortabelt och effektivt sätt för livräddaren.
Snabb att ta på	Tidskraven från larm till uttryckning varierar beroende på station. Tidsramen för påklädnad av dräkten på stationen är i bästa världar en minut.
Enkel att ta på	Dräkten tas idag på med assistans. Bälteskrav i trafiken medför även att dräkten till största del ska tas på innan uttryckning och inte under transporten.
Användas året runt	Samma dräkt ska kunna användas året om.
Skydda livräddaren i vattnet upp till en timme	Tiden livräddningen pågår varierar men dräkten ska skydda livräddaren i en timme i vattnet.
Önskvärda krav för ett effektivare arbete	Beskrivning
Synas under vattenytan	Forskning har visat att kommunikation mellan livräddare sinsemellan under vattenytan är viktigt och dräkten bör därför synas under vattnet.

Utöver de önskvärda kraven ställs även funktionella krav på dräkten. De funktionella kraven innefattar resistens mot vatten och nötning. De funktionella kraven beskrivs i tabellen nedan.

Tabell 2. Funktionell kravspecifikation.

Krav	Beskrivning
Resistens mot vatten	Dräkten bör stänga ute vatten för att kunna användas oavsett vattentemperatur.
Vattentäta (eventuella) sömmar	För att dräkten ska vara vattentät bör eventuella sammanfogningar vara vattentäta.
Resistens mot nötning	Dräkten bör tåla nötning och slitage.

1.5 Avgränsningar

Utrustningen som idag används inom räddningstjänsten vid fridykning är simfenor, viktbälte, vådräkt, handskar, huvudbonad, skor, flytväst och cyklop. Rapporten fokuserar endast på utveckling av dräkten för ett effektivare arbete inom räddningsdykning. Material, struktur, process och beredning för dräkten är centrala delar av produktutvecklingen. Design, mönsterkonstruktion och sammanfogningar av dräkten utesluts. Konzeptutvecklingen omfattar moduler, ett underställ och en dräkt som tillsammans ska skapa optimala förutsättningar för ett effektivare arbete inom räddningsdykning. Understället testas inte i praktiken utan grundar sig i den litteraturstudie som gjorts. Utveckling och testning görs endast av dräktens material. En utvecklad kravspecifikation utifrån avgränsningen beskriver de krav rapporten fokuserar på.

Tabell 3. Utvecklad kravspecifikation.

Krav
Snabb att ta på
Enkel att ta på
Användas året runt
Skydda livräddaren i vattnet upp till en timme
Resistens mot vatten
Resistens mot nötning

2. Omvärldsanalys

2.1 Dagens utrustning vid vattenlivräddning

Utrustningen som används skiljer sig beroende på vilken typ av vattenlivräddning som utförs samt vilken årstid. Vid ytlivräddning används torrdräkt som även används vintertid vid räddningsdykning (Carlsson, C. 2023). För att hålla värmen i vatten med lägre temperatur bärs ofta ett underställ under. Vid räddningsdykning sommartid används kommersiella våtdräkter som är tajtare än torrdräkter vilket medför att de tar längre tid att få på. Utöver dräkterna ingår fler material i utrustningen för livräddning. Simfenor, cyklop, handskar, huvudbonad, skor, viktbälte och flytväst är några exempel (Karlsson, J. 2023). Både torr- och våtdräkten räddningstjänsten nyttjar är inte utformade efter aktören utan är gjorda för allmänhetens fritidsaktiviteter såsom segling och surfing. Christian menar att dagens utrustning fungerar i verksamheten men inte är optimal vad gäller räddningstjänstens tidskrav och arbetsmetoder. Christian och andra kollegor inom räddningstjänsten påpekar vilken positiv inverkan en unik framtagen dräkt skulle ha i tjänsten. För att dessutom ta hänsyn till individen och att denne ska kunna arbeta effektivt efter sina förutsättningar, samt vara en inkluderande enhet, är det även viktigt att dräkten finns i olika storlekar för att passa olika kroppstyper och på så sätt effektivisera och optimera räddningsdykningen oavsett biologiska och fysiska förutsättningar hos dykaren.

Informationen angående material som används för våt- och torrdräkter som finns på marknaden visar att alla huvudsakligen är gjorda av neopren. Neopren är ett syntetiskt gummi som tillverkas vid polymerisering av kloropren och har ett väldigt lågt pris jämfört med andra syntetiska gummisorter (Graff, S. R. 1999). Vid framtagningen av neopren blandas additiv in i polymeren för att ge önskade egenskaper. Neopren används bland annat som bindemedel för beläggningar, inom transport-, energi- och konstruktionsindustrin samt i hemmet. Neopren används för aktiviteter i vatten på grund av dess hydrofoba egenskaper samtidigt som det verkar termiskt isolerande, är slit- och nöttåligt, elastiskt, relativt kemiskt stabilt och av lätt vikt (panaprium.com 2023). Neopren är billigt att framställa och har därav blivit populärt att använda inom mode och sport. Neopren har kritiserats på grund av hur utvinningen och framställningen påverkar naturen och hälsan. Även mikropartiklar frigörs från materialet vid användning vilken påverkar miljön och människan negativt.

En analys av de våtdräkter som används av räddningstjänsten visar att de huvudsakligen är gjorda i neopren men det tillkommer ytterligare material, något som inte framkommer av hemsidorna som säljer våtdräkterna. För att förstå hur våtdräkten är uppbyggd har gruppen granskat dess material och struktur. Våtdräkten är, förutom vid vissa delar som ärm- och fotslut, i tre lager. Det yttersta lagret består av en tunn stickad vara som är vidhäftad ett tjockare material - neopren. Närmast kroppen finns ett lager i frotté som är vidhäftat neoprenen. Nedan visas bild, i relativ skala, på hur våtdräkten är uppbyggd.



Fig. 1. Genomsnitt av materiallager hos våtdräkter.

Sophie Bremholt, undervisningstekniker på Högskolan i färg och tekniklabb, kommenterar att det stickade, yttersta lagret troligtvis är för att skydda mot slitage då neoprenet är gummiliknande och kan därmed nötas ut (Bremholt, S. 2023). Detsamma menar forskare, att det ofta är en jersey-vara i nylon som täcker in- och utsida på neoprenet för förstärkning (Smith et al. 2020). Samma forskare skriver även att den tunna ytan också ska hålla vatten på våtdräktens yta för kroppstemperaturen ska kunna spridas till omgivningen.

Termoregleringen hos våtdräkter utgör en viktig funktion på grund av att utövaren utsätts för både kyla och vatten. Rapporten *Effect of wetsuit outer surface of material on thermoregulation during surfing* har undersökt materialets påverkan av termoregleringen hos surfare som använder våtdräkt (Smith et al. 2020). Forskarna undersökte förändringar av kroppstemperaturen hos surfare iklädda två typer av våtdräkter. Studien jämförde en tajt, tunn våtdräkt av neopren med en våtdräkt av ett tjockare lager neopren. Hypotesen var att kroppstemperaturen skulle vara högre med tajta våtdräkter än med den tjockare våtdräkten. Studien kom fram till att när solen inte låg på fanns det ingen signifikant skillnad på vilken typ av våtdräkt som behåll högst kroppsvärme. Det fanns inget i studien som kunde bevisa att någon av våtdräkterna var bättre på att behålla kroppsvärmen i kontakt med vatten. Att den termiska komforten upplevdes bättre för våtdräkten av tunnt neopren berodde troligtvis på exponeringen av värme från solen och vattenavstötningen.

Information om torrdräkters materialegenskaper är likaså knapphändiga på säljares hemsidor men anger att neopren är vanligt förekommande. De består också av ett membran som gör dräkten vattentät. Vilket membran som används framgår inte, troligtvis på grund av tillverkarnas patent och sekretess. Tommi Ahonen, sales director på ursuit, skriver i ett mail att deras våtdräkter består av laminerade material med ett membran (Ahonen. T. 2023). Sammanfattningsvis är både torr- och våtdräkter uppbyggda av flera olika lager som på så vis ger dräkten dess funktion.

2.2 Laminering

Ett material bestående av två eller flera sammansatta lager, varav en är en textil, med hjälp av en vidhäftande polymer är definitionen av en laminerad produkt (Fung, W. 2022). Historiskt sett har det länge använts olika former av laminat och beläggningar för att påverka varans funktion. Belagda och laminerade textilier har de senaste åren blivit alltmer förekommande och används inom bland annat transport, medicin, hemtextilier och kläder. Inom sportindustrin har beläggningar och laminat betydelse då de ofta eftersträvas vattentäthet tillsammans med produktens termiska komfort såsom Luftgenomsläpplighet som är också känt som "andningsförmåga". Vid beläggning och laminering behöver textilens egenskaper, kemin, polymerer och teknologi tas i beaktande. Polymerens vidhäftning kräver ofta förbehandling av textilen för att uppnå ett gott resultat samt att torkning och härdning av sammanfogningen är viktiga parametrar. Miljön är även en del att ta hänsyn till då processen kan skapa hälsoproblem i arbetsmiljön samtidigt som det blivit alltmer viktigare att kunna återvinna produkten. Att kombinera rätt fiber och polymer för att uppnå önskade egenskaper är därmed väsentligt.

Ett vanligt problem är att behålla elastiska egenskaper vid laminering. Därav bör ett passande laminat väljas när elasticiteten ska bestå. Vattentäta laminat med god Luftgenomsläpplighet är ofta tunnare. Resistansen mot vatten delas in i tre kategorier, lätt vattenavvisande, vattenavvisande och vattentät. Vattentäta produkter framställs av nylon eller polyester som är laminerade med en film bestående av akryl, polyuretan, polyvinylklorid eller neopren (Fung, W. 2022).

Laminering kan göras med filmer som har fördelen att de genererar 100% täckfaktor. Processen innefattar upphettning för att få laminatet att vidhäfta vid substratet. Det finns speciella filmer framtagna för att göra ett material vattentätt med bra Luftgenomsläpplighet. Solida filmer är starka med god nöthållfasthet medan mikroporösa filmer, filmer med små hål i, ger bättre elasticitet och kan stretchas upp till 300%. Vanliga polymerer som används i laminat är filmer av polyuretan (PU) som är relativt dyra men används för vattentäta, andningsbara funktionella textilier (Fung, W. 2022).

Termoplastisk polyuretan (TPU) har utöver dessa egenskaper även andra fördelar vid laminering av textilier (erez-therm.com 2023). Det är nöt- och slittåligt, har god riv- och dragstyrka och kan behålla tygets flexibilitet. TPU är dessutom resistent mot UV-strålning, kemikalier och syre och har god vidhäftningsförmåga till polyester och nylon.

Polyvinylklorid (PVC), akryl, polyolefiner, silikon och PTFE är andra polymerer som används för laminering av olika typer av medicinsk utrustning, skyddande kläder och presenningar (Fung, W. 2022). Etylen akryl acetat (EVA) är en annan polymer som kan lamineras som en film med god vidhäftning till alla fibertyper. Att återvinna laminerade textilier är komplicerat på grund av att de sammanfogade lagren är av olika kvalitet. Författaren menar dock att pågående arbete görs där lagar och institutioner jobbar med insamling av textilier för att minska att de kastas. Termoplastiska laminat har fördelen att de kan smältas igen och återanvändas (Fung, W. 2022).

Rapporten *Ranking of Potential Hazards from Microplastics Polymers in the Marine Environment* undersöker risken för spridning i havet av mikropartiklar hos olika polymerer (Yuan, Nag, & Cummins, 2022). Forskarna visar att störst andel mikropartiklar i havet kom från polypropen, polystyren, polyester, polyvinylklorid och lågdensitetspolyeten. De polymerer forskning bör fokusera på är polyuretan, polyvinylklorid och polymetylmetakrylat, trots att de inte är vanligt förekommande i havet, utan för att de är de vanligaste polymererna med störst potentiell risk att skapa oönskade miljöeffekter. Likaså med TPU, trots sin förmåga att återvinnas och låga avkastning, utgör polymeren en potentiell fara för miljön (Yuan, Nag, & Cummins, 2022).

2.3 Friktionsreduktion

Friktion är den kraft som strävar mot att två ytor, som är i kontakt med varandra, rör sig i relation till varandra. Den uppstår eftersom kontakten mellan ytorna är en typ av ihakning av ojämnheter på makroskopisk eller elektronattraktioner på molekylär nivå. Denna ihakning behöver brytas för att rörelse ska kunna möjliggöras. Med andra ord reduceras friktionen genom att minska möjligheten för ihakning makrostrukturellt, genom att plana ut ytorna så mycket som möjligt, eller på molekylär nivå då det snarare handlar om att motverka den elektromagnetiska attraktionen som uppstår när ytorna är i nära kontakt.

Ett sätt att minska friktionen är genom smörjning. Smörjmedel förekommer i vätskeform och i fast form. Exempel på flytande smörjmedel är fetter, oljor, silikoner och tensid-lösningar mm. Exempel på fasta smörjmedel är främst kemikalier (1.) vars molekylära struktur bildar plana lameller (Rodriguez, Sukumaran, Schlarb, De Baets 2016), (2.) kan karaktäriseras som hydrofob eller bidrar till förändrad ytspänning (Burton & Bhushan 2005), eller (3.) som inte uppvisar stark polariserbarhet och ger därför inte upphov till så värst starka van der Waals-krafter (Rodriguez et al. 2016). Icke-oljebaserat flytande smörjmedel är lämpligt för textila ändamål och kan beläggas på eller impregneras i materialet följt av torkning och härdning i spannam. Smörjmedel i fast form kan antingen inkorporeras i polymer-smältan vid smältspinning (Faga et al. 2022) av garn eller rimligtvis beläggas på tygets yta

genom exempelvis knivrakling eller 3D-printing. I *Influence of solid lubricants on tribological properties of polyetheretherketone (PEEK)* beskriver Rodriguez, Sukumaran, Schlarb och De Baets att de vanligast förekommande lubricerande kemikalierna i fast form är grafit och molybdendisulfid (MoS₂), vars molekyler ordnas i plana lameller, samt polytetrafluoreten (PTFE), vars hydrofobicitet bidrar till mindre adhesion och friktion i gränssnittet mellan två kroppar (Burton. & Bhushan 2005) samt vars intramolekylära bindningsstyrka motverkar starka van der Waals-krafter (chemguide.co.uk 2014). Mindre vanliga fasta smörjmedel inkluderar bornitrit, talk, volframdisulfid, kalciumfluorid och ceriumfluorid, vilka i majoriteten av fallen har plana hexagonformade lamellära strukturer (Kumar, H. & Jain, P. K. 2020). I polymera material där grafitpartiklar lagts till har styvheten visat sig öka (Faga, M. et al. 2022) vilket kan vara negativt i en dräkt där rörlighet är prioriterat. Det är troligt att även MoS₂ och samtliga nämnda mindre vanliga smörjmedel har en sådan inverkan på materialets styvhet eftersom de är icke-vatten/oljelösliga partiklar av plan lamellstruktur. PTFE räknas till per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) och valdes bort på grund av potentiellt toxikologiska skäl (www.kemi.se 2023) som lett till substansens utredning av Europeiska Unionens kemikaliemyndighet, ECHA (echa.europa.eu 2023).

3. Produktutveckling

Produktutvecklingen indelas i konceptutveckling och produktutveckling. Konceptutvecklingen behandlar kraven om en dräkt som är snabb och enkel att ta på, skydda livräddaren i vattnet i upp till en timma samt att använda dräkten året om. Även produktutvecklingen bidrar till att uppfylla kraven om en dräkt som är snabb att ta på, skydda livräddaren i upp till en timme och användas året om men fokuserar också på de funktionella kraven som resistens mot vatten och nötning. Medan konceptutvecklingen tittar brett på produktens funktion fokuserar produktutvecklingen på dess detaljer såsom val av material, struktur och beredning. Produktutvecklingen omfattar materialval, struktur och beredning som gör konceptet möjligt.

3.1 Konceptutveckling

Utifrån tidigare nämnda krav och önskemål som räddningstjänsten har på en dykningsdräkt har ett koncept tagits fram. Konceptet minimerar friktionen mellan två ytor, i detta fall mellan dräkt och underställ. Med minimerad friktion mellan ytorna ska materialet också vara elastiskt vilket bidrar till att dräkten blir lättare att ta på för utveckling av en effektiv och anpassad utrustning för räddningstjänsten vid räddningsdykning. Konceptet omfattar funktionen mellan lagren samt hur de kan integreras i räddningstjänstens vardag. Konceptet består även av att utveckla en dräkt anpassad för alla säsonger, som möjliggörs genom anpassning av underställets tjocklek. Idag bär arbetarna på räddningstjänsten skjorta och byxor på stationen. Vid larm byter de om till underställ och aktuella skyddskläder. Understället med lågfriktionsyta på utsidan ska kunna användas som ett vanligt underställ för att simplificera utrustningen för arbetarna. Understället är därför anpassat för såväl räddningsdykning såväl som för andra insatser.

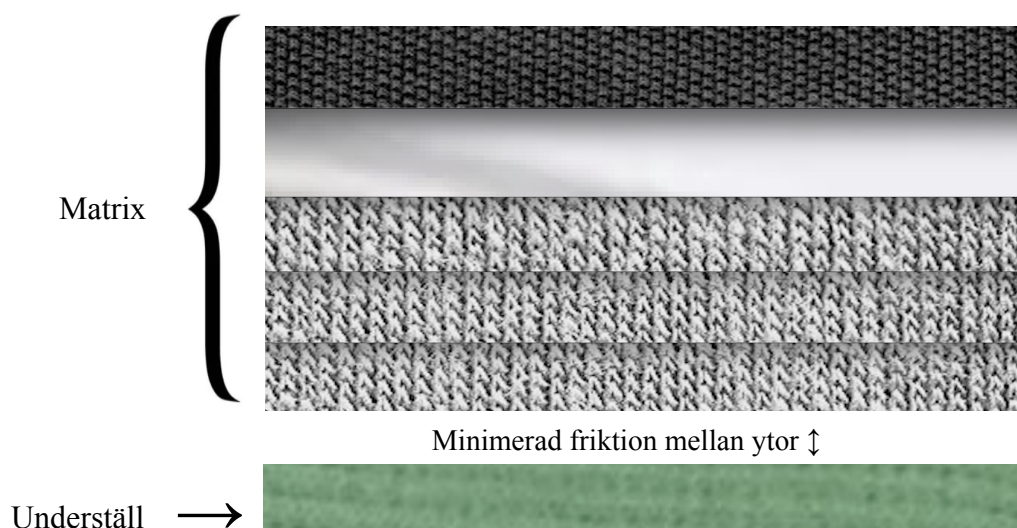


Fig. 2. Koncept med minimerad friktion.

Dräkten består av laminerade tyglager som benämns som *Matrix* i Fig. 2. just för det är en sammanfogad produkt med speciella egenskaper. Egenskaperna för vardera lager i matrixen beskrivs under 3.2 Produktutveckling.

3.1.1 Dräkt i modul

Att vattentemperaturen varierar stort mellan årstiderna tillsammans med kravet om att dräkten ska hålla livräddaren skyddad upp till en timme i vattnet bidrar till utveckling av en produkt i moduler. Det första lagret, närmast kroppen, är ett underställ som är anpassat för årstiden. Vintertid är understället tjockare medan det sommartid är tunnare. Understället är komfortabelt, bekvämt och enkelt att ta på, precis som de flesta underställ som finns på marknaden idag. Vad som gör understället speciellt är dess låga friktion på utsidan. Detta för att minimera friktionen och maximera glidet mellan underställets utsida och torrdräkts insida för att snabbt och enkelt få på sig dräkten.

3.1.2 Material, beredning och metod för minimerad friktion

Friktionen mellan underställ kontra dräkts insida ska minimeras och därför undersöks vilka material som genererar så låg friktion som möjligt. Med utgångspunkt ur principen att friktion minskas med färre ytojämnheter väljs garn till prototypen ut. Stapelfiber undviks på grund av dess luddiga tvärsnitt med utstickande fiber. Orienterade filament med slätt, runt tvärsnitt prioriteras för att finna glatta garn. Det bästa alternativet är att undvika eventuella beredningar då det blir ett mindre processteg samtidigt som kemikalieanvändningen blir mindre.

I kombination med garnval testas beläggningar och impregneringar av olika typer av kemikalier för att uppnå så lite friktion som möjligt mellan materialen. Impregnering av OrganoClick utfördes i syfte att undersöka om man med hjälp av vattenavvisande kemi kan efterlikna de friktionsreducerande egenskaper som exempelvis PTFE besitter (Burton. & Bhushan 2005). NanoFlam HP-11 belades på materialet för att utröna om en ännu mer utjämnad yta skulle ha positiv inverkan på materialet. Impregnering av de mjukgörande kemikalierna Zirkonium acetat och n-octyltriethoxysilan på stickade provbitar gjordes utifrån teorin om ytspänningsmodifikation för minskad kemi (Burton & Bhushan 2005). Impregnering utfördes med hjälp av IMOGO hydraulisk spray eftersom friktionsreduktionen enbart var önskvärd på ena sidan av tyget, medan NanoFlam HP-11 belades på tyget genom knivrakling.

3.1.3 Utveckling av konceptet

Utvecklingen av konceptet grundar sig i räddningstjänstens önskade krav på dräkten. Med hjälp av kravspecifikationen problematiseras dagens problem och möjliga lösningar sammanställs. Konceptet att arbeta med moduler i klädval grundas i kravet på att använda samma dräkt året om oavsett vattentemperatur. Utveckling av endast en anpassad våt- eller torrdräkt är möjlig men fortsatt genererat olika dräkter beroende på säsong. Konceptutvecklingen innebar även forskning hur situationen på stationerna ser ut idag.

Andra alternativ som är möjliga för konceptet att enkelt få på sig dräkten är att använda material som krymper vid kontakt med vatten. Genom att dräkten är större vid påklädnad och krymper vid kontakt med vattnet är det enklare än en våtdräkt att få på samtidigt som den krymper i vattnet. Problemet med idén är vart den inkapslade luften tar vägen när dräkten krymper då detta är ett problem idag som räddningstjänsten anser bör lösas för en effektiv arbetsinsats. Dräkten och utrustningen som används vid insatsen ska inte släppa in vatten, vilket betyder att den är tät, vilket medför att den insamlade luften inte kommer ut. Då denna lösning inte uppfyllde kraven på dräkten togs beslutet att inte arbeta vidare med den.

En annan lösning som diskuterades var att arbeta med Phase Changing Materials (PCM). Genom behandling av textilen kan material lagra och utsöndra t.ex. värme. Kombinationen av PCM med en dräkt för räddningsdykning analyserades det hur dräkten skulle kunna inkapsla värme vid kontakt med vatten eller ändra form vid kontakt med värme, såsom det tidigare lösningsförslaget. På grund av den komplicerade kemin och icke-konventionella beredningen ansågs förslaget för komplicerat. Dessutom är Räddningstjänstens budget en faktor att ta hänsyn till.

3.2 Produktutveckling

Produktutvecklingen omfattar fiber, garner, struktur, produktionsmetod, eventuella polymerer för beläggning samt andra beredningsmetoder. Genom litteraturstudien hittades olika alternativ på material och polymerer som kunde uppfylla kraven, samt från laborationerna i Högskolans lokaler. Genom att titta på befintliga våtdräkter, dess material och strukturer gjordes liknande prover. Produktutvecklingen efterforskar hur en vara i flera lager kan agera som matrix för dräkten. Samt vilka fibrer och processer som bör användas tillsammans med eventuella beredningar för att skapa en prototyp som uppfyller kravspecifikationen. Flertaliga diskussioner om att ta fram en flerlayersvara för att på så sätt kunna kombinera en lågfriktionsyta, ett isolerande lager samt en vattentät eller optimal yta för beläggning, fördes. Genom laborationer av olika material, processer och beredningar användes uteslutningsmetoden samt utvärdering av framtida utvecklingsmöjligheter. Produkten består således av en flerlager-vara med en laminerad textil ovanpå för att kombinera elastiska egenskaper, isolation, vattentäthet och resistens mot nötning. Dräkten är anpassad för räddningsdykning men kan även användas vid ytlivräddning. Därmed kan en dräkt användas till all typ av vattenlivräddning vilket medför att endast en dräkt behövs på stationerna. Fig. 3-7 visar lagren hos prototyp 1.

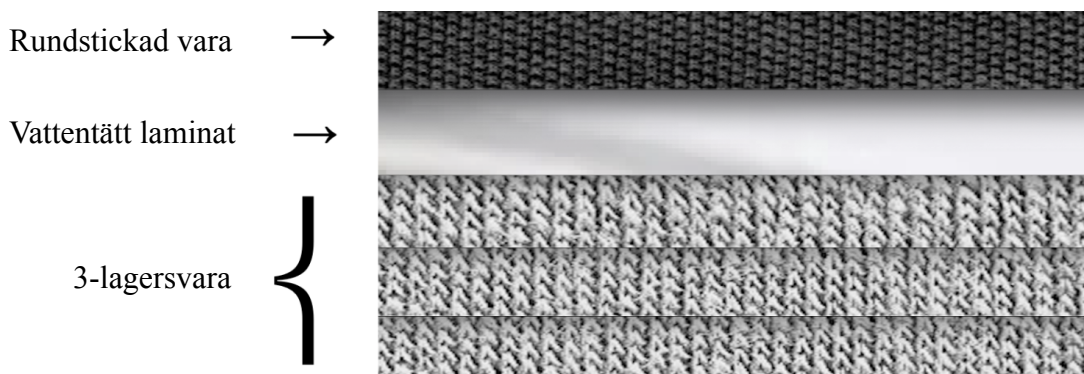


Fig. 3. Genomskäring av dräkten.

3.2.1 Produktutveckling utifrån kravspecifikation

En sammanställning av kravspecifikationen (1.4 Kravspecifikation) visas i tabellen nedan. Här listas de krav som rapporten behandlar samt hur kraven uppfylls.

Tabell 4. Utvecklad kravspecifikation.

Krav	Hur kraven uppfylls
Snabb att ta på	Möjliggörs genom en elastisk vara tillsammans med låg friktion mellan ytor.

Enkel att ta på	Möjliggörs genom en elastisk vara tillsammans med låg friktion mellan ytor. Har stora utvecklingsmöjligheter inom design- och konfektionsområdet.
Användas året runt	Anpassning av underställets tjocklek och material bidrar till att dräkten kan användas året om.
Skydda livräddaren i vattnet upp till en timme	Anpassning av underställets tjocklek och material bidrar till att dräkten kan användas året om. Behöver vidare testas.
Resistens mot vatten	Laminering med TPU har visat uppfylla kravet.
Resistens mot nötning	Det yttersta laminerade lagret gör dräkten nöttålig. Testmetoden angiven i ISO 12947-2:2016 användes för att utvärdera nötningshärdighet.

3.2.2 Materialval

Torr- och våtdräkter är idag ofta gjorda av neopren. Egenskaperna hos materialet gör det isolerande. Forskning har dock visat att tjockleken av neopren inte hade någon signifikant betydelse (S. Carly, Saulino, M, Luong, K, Simmons, M, Nessler, A. J & Newcomer, C. S. 2020). Studien grundade valet att undersöka möjligheten att undgå lagret av neopren då det gör produkten svår att ta på. För en vattentät vara krävs laminering med ett vattentätt laminat, något som idag används för att göra torrdräkter vattentäta (Ahonen, T. 2023).

3.2.2.2 Material för nötning

I boken Polyester and Polyamides skriver B.L. DEOPURA(2009) om Nylons och dess egenskaper, Enligt boken är nylon slitstark, vilket innebär att den kan motstå mycket slitage. Detta är särskilt användbart för utomhuskläder som behöver tåla tuffa förhållanden, som klättringsrep eller vandringskängor. enligt en artikel skriven av Yaping Cai, Denise M. Mitrano, Rudolf Hufenus, och Bernd Nowack (2021) där mikroplast släpp från olika syntetisk fiber material där författarna komma på att nylon släppte betydligt mindre mikroplaster vid slitage jämfört med polyester.

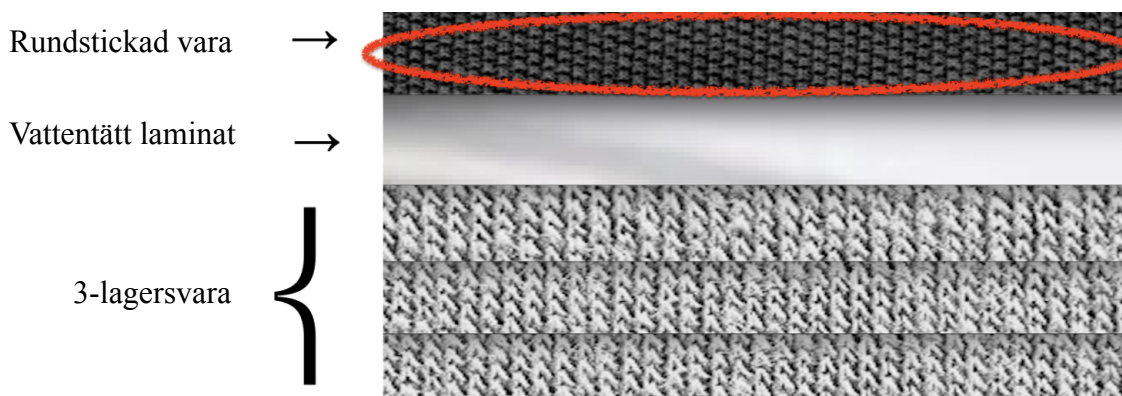


Fig. 4. Lager med resistens mot nötning.

3.2.2.3 Material för isolation

Att uppnå jämvikt i isoleringen av en dykardräkt är avgörande för en dykardräkt. Isolering spelar en stor roll för att reglera kroppstemperatur och skydda dykaren från vattnet. Målet är att uppnå en balans mellan värme och rörlighet, att överisolera kan göra materialet tjockare och obekvämt, samt att dykaren kan överhettas eller uppleva det svårt att dyka djupare på grund av luften som är i mellan lagren i materialet. Underisolering kan leda till hypotermi som leder till att dykare inte kan utföra sina uppdrag ordentligt.

Diskussioner kring vilket garn som skulle användas i mittenlagret av fler-lagers varan fördes. Mittenlagrets primära egenskap skulle vara att isolera och på så sätt göra dräkten användbar året om, tillsammans med understället under. Ullens isolerande egenskaper kunde vara ett alternativ. Det som sade emot var hur ull skulle reagera vid kontakt med vatten. "Om insidan blev blöt, skulle då dräkten bli alltför tung för att fortfarande vara optimal och effektiv att arbeta i" var aspekter som befarades. Fyllnadsgarnar testades också för att öka isolation.

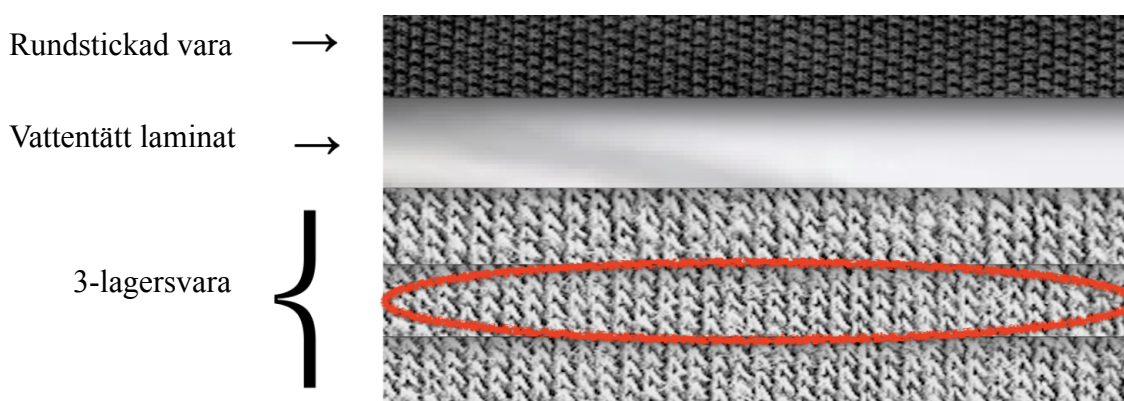


Fig. 5. Lager för isolation.

Passformen påverkar isoleringsförmågan av dykardräkten och mönsterkonstruktionen har störst påverkan på det. Därför är det viktigt att testa konceptet. Genom prover kan frågor som: "krävs exempelvis samma isolationsvärde över hela kroppen eller kan isolering placeras strategiskt?" besvaras. Testas konceptet kan man även identifiera alla områden som kräver modifiering eller optimering, samt att vid test av prototypen fås möjligheten att utvärdera olika material alternativ för isolering. Vid jämförelse av prestandan hos de olika materialen i en kontrollerad testmiljö kan en bättre identifikation om vilka material som är bäst lämpade för produktens specifika behov.

3.2.2.4 Material för elasticitet

Elasticitet är bland den viktigaste egenskaperna i konceptet. För att uppnå god elasticitet användas ett stickat tyg med elastangarn i bindningen och för att vidare bibehålla elasticitet i varan kommer ett elastiskt PU-laminat användas för att sammanfoga tygerna.

3.2.3 Metodval

Tillgängliga processer på Textilhögskolan i Borås för att skapa en flerlayers-vara är genom vävning, flat- och rundstickning. Alla processer testades och utvärderades för att identifiera möjliga lösningar. Vävda varor blir stumma men med elastiska trådar i väften kan produkten stretchas. Proverna som vävdes blev just elastiska med hjälp av elastan men kunde inte beredas på grund av tygets ojämna struktur. Prover på rundsticksmaskinen fick mer elasticitet men inte den önskade fyllnaden för

isolering. För ökad isolation och en tjockare vara användes en flatsticksmaskin för att sticka upp nya prover. Metoder som användes i syfte att uppnå de ställda kraven kring vattentätthet och låg friktion var laminering och beläggning av olika polymerer och kemikalier.

3.2.3.1 Väv

Olika bindningar och material testades på en jacquard-vävstol i syfte av att ta fram en tre-lagers väv med god isolationsförmåga, elasticitet och slät yta. Strukturen gjordes i programmet ScotWeave. Ytterst hade proverna bindningen tu-skaft för att få en tät konstruktion som är beläggningsbar. Mittenlagret hade bland annat en väffelbindning där även olika typer av garner testades. För att få en yta med få kontaktpunkter för att minska friktionen användes olika typer av satiner på vävens tredje lager. På grund av den begränsning i väven som gör att den elastiska väfttråden är utsträckt när den binds med varpen gör att materialet krymper när den har tagit ut ur maskinen. Den stora krympningen leder till flotteringar i ytan som försvårar laminering- och bstrykningsprocesser.

3.2.3.2 Trikå

Eftersom önskemålen om elasticitet och släthet inte lyckades uppfyllas i vävmaskinerna togs beslut om att experimentera vidare med andra tillverkningsmetoder, i detta fall trikå. På en 20-delnings rundstickmaskin stickades tre olika prover av en distans-vara fram. Egenskaper som önskade uppnås var att varan skulle vara slät, isolerande samt elastisk. Med hjälp av en programvara ritades bindemönster upp och överfördes via diskett till maskinen. Det första mönstret som stickades upp resulterade i en vara med lodräta kanaler. Tanken med kanalerna vara att skapa luftrum som skulle fungera som isolering. Andra provet resulterade i ett liknande tyg fast med bredare kanaler, och det tredje provet blev mer som ett rutnät av många små luftfickor. För ökad isolation integrerades även fyllnadsgarn i konstruktionen.

Rundstickade tyger ger bra elasticitet och god möjlighet till släthet, men något som visade sig vara en stor begränsning var konstruktionen för att uppnå volym och isolation i den här typen av vara. För att uppnå stor volym och tjocklek i materialet måste trådar bindas med varandra mellan de yttre lagren, vilket leder till kanaler eller andra former på ytan som cirklar, diamanter osv. och dessa former gör att ytan inte längre blir slät. Därför uteslöts metoden för just det isolerande lagret i utvecklingen av produkten.

Ett område där rundstick däremot visade sig användbart var som det yttre lagret av produkten, vilket kräver elasticitet och god nöttålighet. Idén till att använda ett singeljersey-tyg som yttre lager av produkten föddes av att ett high-visibility-tyg i singeljersey stickades upp i samband med de första rundstickade proverna, i syfte att användas för synlighet i prototypen. High-visibility-garnet byttes, efter lite research om nöttåligt material, ut till en polyamid vilket idag är en del av den slutgiltiga prototypen. Inspiration hämtades även från de befintliga dräkterna som används i dykningssammanhang idag.

I hopp om att kunna konstruera ett material med mer volym och isolation valde gruppen att gå vidare från rundsticksmaskinerna och i stället experimentera med högskolans flatsticksmaskiner och utforska dess möjligheter. Med hjälp av tekniker i trikålabbet konstruerades och stickades ett prov av en distans-vara i polyester på en 12-delars flatsticksmaskin. Provet uppfyllde inte önskade elasticitet- och materialegenskaper, vilket bidrog till ytterligare experiment av samma konstruktion där material som elastan och viskos användes för att modifiera och förbättra olika egenskaper.

Strukturen hos de rundstickade proverna gav en glatt yta, men den var begränsad till en specifik riktning. Med hänsyn till önskemålet om en glatt yta med så låg friktion som möjligt visade alltså de rundstickade proverna på ett bättre resultat än de flatstickade proverna. De flatstickade proverna har däremot goda förutsättningar för att kunna beläggas med diverse lågfriktions-beläggningar.

3.2.3.3 Laminat

Färg- och beredningslabbet i Borås har tillgång till två olika laminat, ett tunnare och ett tjockare. Laminat gjort av polymeren etylvinylacetat (EVA) är en tunn, flexibel film som sammanfogas med värme. Laminaten är kosteffektiva med låg energikonsumtion då maxtemperaturen vid applicering är 80°C. Termoplastisk polyuretan (TPU) är en annan typ av laminat labbet har tillgång till. Jämfört med EVA kräver TPU högre temperatur vid sammanfogningen. Den termoplastiska egenskapen hos polyuretan tillåter den att ändra kemiska egenskaper vid upphettning varav den kemiska reaktionen är reversibel vid kylning. Därmed kan själva laminatet återvinnas vilket är positivt i hänseende till eventuellt spillmaterial i produktionen. Vid sammanfogning av tygprover gjordes tester där tid och temperatur var parametrar som avgjorde valet mellan laminaten (bilaga 1). För att möta kravspecifikationen om ett elastiskt material behövdes ett relativt elastiskt laminat som också skulle bidra till vattentätheten. Med avseende på elasticiteten var EVA-laminatet bäst men var dock inte vattentätt. TPU-laminatet var aningen styvare med mindre elasticitet men gjorde materialet vattentätt. Teori visar att PU kan användas till vattentäta och elastiska varor (erez-therm.com 2023) medan EVA har andra användningsområden (Fung, W. 2022). Ett tunnare TPU-laminat efterforskas för att kunna behålla elasticiteten samtidigt som materialet blev vattentätt.

Forskning har visat att TPU utgör en fara för den marina miljön på grund av utsöndring av farliga mikropartiklar (Yuan, Z., Nag, R. & Cummins, E. 2022). I det hänseendet är TPU inte en optimal polymer att använda trots sin förmåga att återvinnas. På grund av de krav som ställs på dräkten bör den vara vattentät vilket är till TPUs fördel. Miljöaspekter bör dock varsamt beaktas genom att följa lagar och rekommendationer. Eftersom forskning i marin miljö hänvisat till försiktighet med TPU är det viktigt att den potentiella risken analyseras då produkten kommer användas i vatten. Om däremot inte ett vattentätt laminat behövs utan endast ett laminat som sammanfogar tyglager samtidigt som elasticiteten ska behållas är EVA ett bra alternativ.

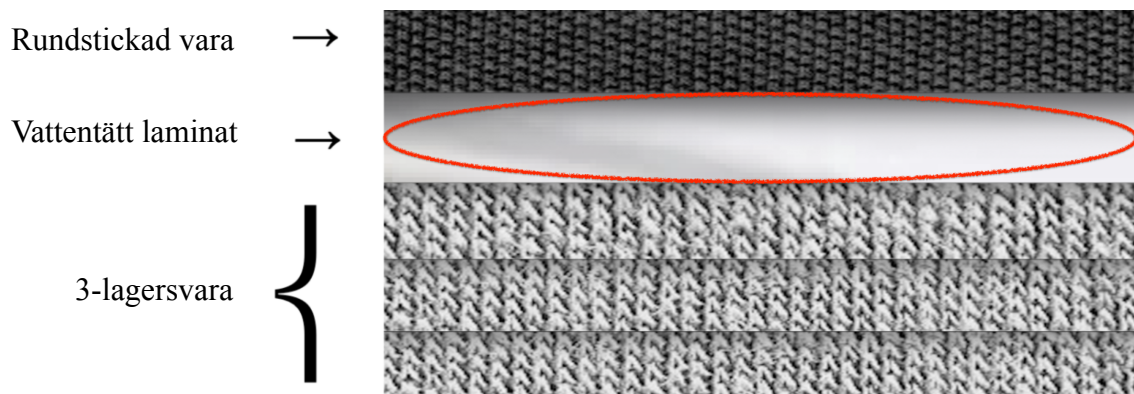


Fig. 6. Laminat för prototyp 1.

3.2.5 Tester och utvärdering

Det stickade tyglager som lamineras ytterst på flerlayers-varan är det lager som kommer utsättas för mest slitage vid användning. Att materialet och strukturen kan motstå nötning är därav viktigt för att dräkten ska behålla sin funktion.

3.2.5.2 Bestämning av tygers nötningshärdighet med Martindalemetoden

Efter att alla tyglager laminerats ihop placeras prototyp 1 och 2 i konditionering i 65%(+/-4%) luftfuktighet och 20(+/-2) grader celsius i minst 18 timmar. Därefter skärs provkroppar ut enligt mall och körs i en frekvens av 1000 cykler åt gången tills dess att trådbrott upptäcks.

4. Resultat

Rapporten har undersökt textila parameter för framtagning av en dräkt anpassad till räddningsdykning. Prototypen är ett resultat av laboration med olika fiber, garner, strukturer, processer och beredningar där tillgänglig utrustning använts. Prototypen bygger på de prover som gjorts under projektets gång som väglett i vilken riktning projektet fortsattes. Två prototyper har tagits fram där de båda är uppbyggda på samma vis men med olika lösningar för att vara vattentäta. För prototyp 1 är all material känd och gruppen av exakt förståelse på vilket sätt varan får sina egenskaper. Hos prototyp 2 används ett membran som fått av Mats Johansson. Membranet är vattentätt men det är inte allmänt känt huruvida det är uppbyggt. Därför kan bara gissningar göras.

4.1 Prototyp 1

Prototyp 1 består av en rundstickad jersey, ett TPU laminat och en flatstickad tre-lagersvara. Denna prototyp är uppbyggd på så vis att det yttersta lagret ska skydda mot nötning, laminatet binder samman tygerna samt är vattentätt och 3-lagers varan bidrar med elasticitet, isolering och minskad friktion. Materialen som använts har valts efter de egenskaper produkten och processerna kräver. Prototyp 1 är den vara där gruppen har full förståelse om dess uppbyggd och vad varje lager bidrar med för egenskaper. Prototyp 1 grundar sig i prototyp 2 som beskrivs nedan men benämns som prototyp 1 just för att gruppen utvecklade prototypen med kända material.

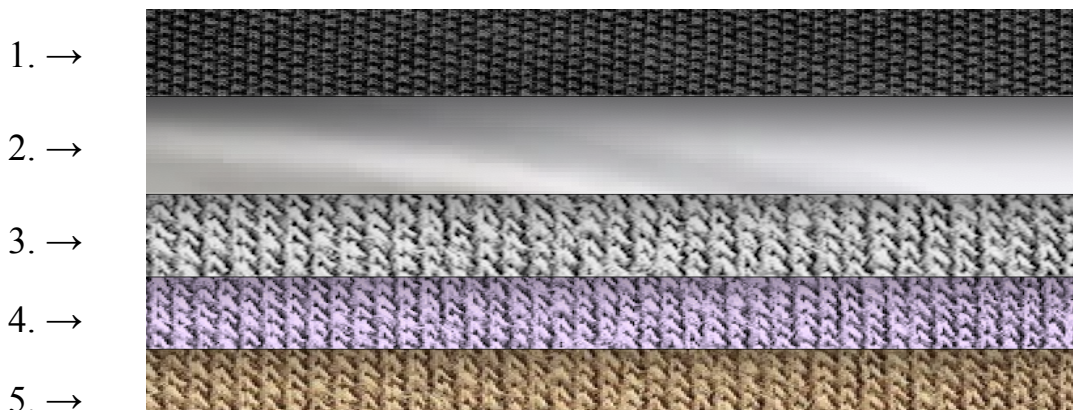


Fig. 7. Lager för prototyp 1.

Tabell 5 beskriver de olika lagren samt redogör vilka egenskaper de bidrar med för prototyp 1.

Tabell 5. Prototypspecifikation 1.

Lager	Material	Bindning	Process	Egenskap
1	Polyamid dtex 78, 2-trådig	Single jersey, delning 18	Rundstickad	Resistent mot nötning, elastisk god vidhäftning till laminatet.
2	TPU, laminat	-	Värmepress; 135°C;40sek	Vattentät och elastisk. Vidhäftar lagren.
3	Polyester dtex 167	-	Flatstickad 3-lagersvara	God vidhäftning till laminatet.
4	Lycra dtex 89	-	Flatstickad 3-lagersvara	Ökad elasticitet.
5	Viskos dtex 167	-	Flatstickad 3-lagersvara	Minskad friktion.

4.2 Prototyp 2

Prototyp 2 är uppbyggd på samma sätt som prototyp 1 men har istället ett membran som vattentätt lager. Därför behövs inte ytterligare ett vattentätt laminat, och istället är membranet laminerat med EVA då laminatet hade mycket bättre elasticitet jämfört med TPU. Membranet, tillverkat av Tek Series, tillgavs av Mats Johansson och visade sig vara både elastiskt och vattentät. För att förstå hur membranet var uppbyggt försökte tillverkaren kontaktas utan resultat. Membranet är, enligt Mats, uppbyggt av två lager varptrikå med ett väldigt tunt, vattentätt laminat emellan. Lagren är sammanfogade med hjälp av punktvis mönstrad limfilm. Vilken polymer varje lager består av är dock oklart. Prototyp 2 har således fler lager än prototyp 1 i och med de tre lagren hos membranet.

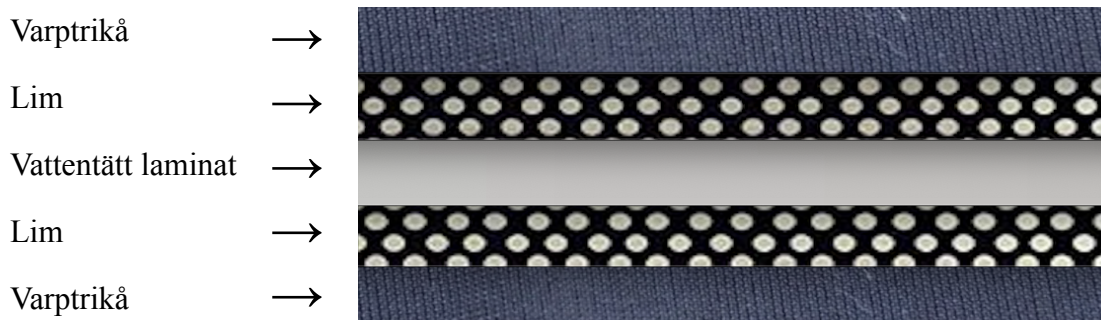


Fig. 8. Trolig uppbyggnad av membran.

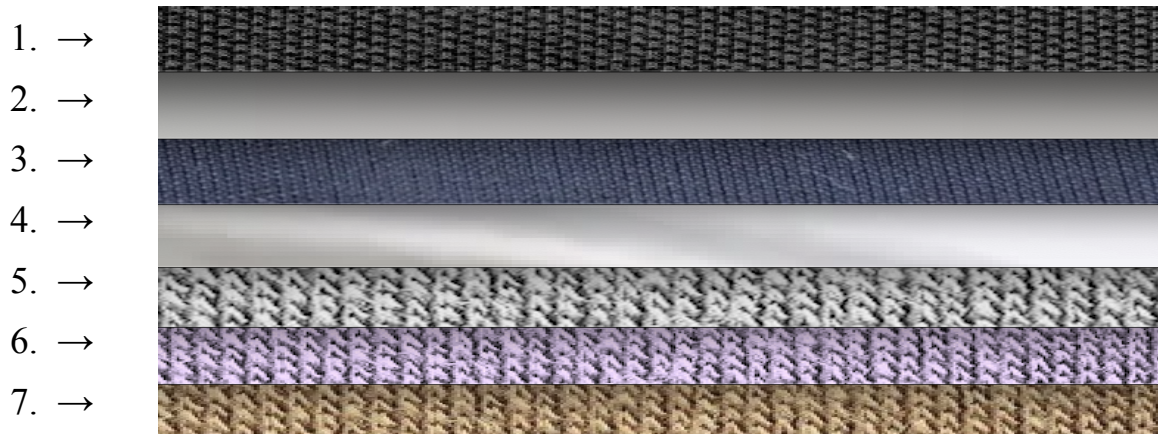


Fig. 9. Lager för prototyp 2.

Genomskärningen av lagren hos prototyp 2 visas dock membranet (2) som ett enda lager. Tabell 6 ger en översikt av bland annat material och egenskaper hos lagren för prototyp 2.

Tabell 6. Prototypspecifikation 2.

Lager	Material	Bindning	Process	Egenskap
1	Polyamid dtex 78, 2-trådig	Single jersey	Rundstickad	Resistent mot nötning, elastisk god vidhäftning till laminatet.
2	EVA	-	Värmepress; 100°C;40sek	God elasticitet. Vidhäftar till jerseyn och membranet.
3	Membran	?	?	Vattentätt och elastiskt.
4	EVA	-	Värmepress; 100°C;40sek	God elasticitet. Vidhäftar till membranet och polyestern,
5	Polyester dtex 167	-	Flatstickad 3-lagersvara	God vidhäftning till laminatet.
6	Lycra dtex 89	-	Flatstickad 3-lagersvara	Ökad elasticitet.
7	Viskos dtex 167	-	Flatstickad 3-lagersvara	Minskad friktion.

4.3 Minimerad friktion

Bland de tillverkningsmetoder, material och beredningar som har undersökts, så har flatstickat viskosfilamentgarn visat sig vara det bästa alternativet när det kommer till materialval. Beredningar som impregnering med en silikonbaserade mjukgörare visade sig också vara ett bra alternativ.

4.4 Nötningshårdighet med Martindale-metoden

Nötningshårdighet enligt Martindale-metoden (SS-EN ISO 12947-2:2016) går ut på att en provkropp skärs ut ur ett material som konditionerats i $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ och $65\pm 4\%$ relativ luftfuktighet under 18 timmar. Provkroppen placeras sedan i en hållare i Martindale-maskinen, med en liten skumplastdyna på avigsidan, för att uppnå en särskild välvd form. Därefter nöts provkroppen mot ett vävt referensmaterial, multiaxialt, i 1000 cykler åt gången. Provet avbryts då ett trådbrott sker. Sker inga trådbrott avbryts provet efter 50000 cykler.

Resultat:*

Prototyp 1:

- Provkropp 1: 10000 cykler
- Provkropp 2: 7000 cykler

Prototyp 2:

- Provkropp 3: 11000 cykler
- Provkropp 4: provet avbröts vid 11000 cykler eftersom det fanns misstanke om avvikelse mellan provkropp 4 och övriga provkroppar. Provkroppens form var inte lika välvd som övriga vilket kan ha lett till en tendens i nötningsmönstret.

*Se *bilagor* för dokumentation av provet.

4.5 Sammanfattning av resultat

Genom att kombinera olika fiber och garner kan optimala förutsättningar för slitage, vidhäftning och andra egenskaper som exempelvis isolation fås. Strukturena gruppen arbetat med har i kombination med processmetod gett bra elasticitet. Den rundstickade varan var anpassad för att agera som yttersta lagret för att tåla slitage. Den flatstickade flerlagers-varan gav bäst resultat för att kombinera vidhäftande och isolerande egenskaper samtidigt som den gav bäst fyllnad. Någon form av vattentätt skikt behövs för att ge materialet dess vattentäta egenskap. Det kan göras med antingen ett vattentätt laminat (prototyp 1) eller med ett membran (prototyp 2). För att sammanfoga tyglager behövs ett laminat med elastiska egenskaper.

5. Slutsats

Störst fokus har legat på att åstadkomma en elastisk, vattentät och isolerande vara där en yta är inert nog att inte bidra till friktion och motsatt sida innehar god nötningshårdighet. Två prototyper med de sagda egenskaperna är inkluderade har redovisats. Den ena där ett jerseytyg lamineras med termoplastiskt polyuretan (TPU) på en flatstickad tre-lagersvara. Den andra, med enda skillnaden att ett vattentätt membran lamineras med hjälp av etenvinylacetat (EVA).

Förutsatt avgränsningen som angavs i *Syfte* har strävan varit att, genom materialval och sammansättning, uppfylla Räddningstjänstens önskemål. Vilka material som visade sig vara mest lämpliga för att uppfylla dessa bör sättas i relation till varandra. Det som angivits i resultatet visar en möjlig materialsammansättning som skulle kunna tillfredsställa Räddningstjänstens behov. Fler undersökningar krävs för att säkerställa att de applicerade funktionerna är dugliga, därav kan inte alla önskemål sägas vara uppfyllda.

I tabellen nedan kommenteras och redovisas slutsatsen för alla krav som hittas under rubrik 1.4 Kravspecifikation, vilka möjligheter det finns att uppfylla dem och hur de vidare kan arbetas med.

Tabell 7. Kravspecifikation med kommentarer.

Krav	Kommentar
Optimal passform för olika kroppstyper	Elasticiteten möjliggör storlekskombinationer men innefattar till stor del mönsterkonstruktion. Detta krav kan delvis uppfyllas vid design och konstruktion av dräkten.
Snabb att ta på	Möjliggörs genom en elastisk vara tillsammans med låg friktion mellan ytor. Kravet blir en viktig aspekt vid mönsterkonstruktionen och designen när sömmar och dragkedjor ska placeras.
Enkel att ta på	Möjliggörs genom en elastisk vara tillsammans med låg friktion mellan ytor. Har stora utvecklingsmöjligheter inom design- och konfektionsområdet där smart placering av dragkedjor kan underlätta påklädnaden.
Användas året runt	Anpassning av underställets tjocklek och material bidrar till att dräkten kan användas året om. Vidare bör dräkten i kombination med understället testas i praktiken för att undersöka optimal tjocklek samt material av understället.
Skydda livräddaren i vattnet upp till en timme	Anpassning av underställets tjocklek och material bidrar till att dräkten kan användas året om. Behöver vidare testas i praktiken där understället och dräkten testas tillsammans.
Synas under vattenytan	Potentiella möjligheter att uppfylla kraven finns genom användning av viss kemi vid beredning. På grund av tidsbrist har kravet inte fokuserats

	på.
Vattentät	Laminering med TPU har visat uppfylla kravet. Vidare forskning om mer elastiska laminat bör göras i kombination med att hitta bättre alternativ ur miljöhänsyn.
Vattentäta (eventuella) sömmar	Avgränsning till att endast fokusera på material, struktur och beredning har gjort att detta krav undgått. Är dock en viktig aspekt att ta hänsyn till vid konstruktion då dräkten ska vara vattentät för att uppfylla sin funktion.
Resistens mot nötning	Det yttersta laminerade lagret har avsikt att göra dräkten nöttålig. Testmetoden angiven i ISO 12947-2:2016 användes för att utvärdera nötningshärdighet.

6. Diskussion

Räddningstjänstens krav på dräkten var alla relevanta men vissa krav fick uteslutas på grund av tidsbrist eller rapportens avgränsningar. Dräktens primära krav var att fungera för dykning, vara snabb och enkel att ta på och kunna användas året om. Dessa krav har varit i fokus i projektarbetet då optimal passform för alla typer bäst behandlas genom god mönsterkonstruktion. Likaså fordrar synbarhet under vattnet mer omfattande kunskap om kemi. Avgränsningarna blev viktiga aspekter att ta hänsyn till för att fullt kunna fokusera på de primära funktionerna. Därav är det inte sagt att de bort-prioriterade kraven är irrelevanta eller omöjliga att uppnå, men kräver personer med bredare kompetens för att undersökas.

Resultatet visar att det krävs något slags laminat för att dräkten ska få sin vattentäta egenskap. Detta uppnåddes i vårt fall med hjälp av ett vattentätt laminat som TPU, eller med ett vattentätt membran. För att dräkten ska passa fler kroppar behöver materialet dräkten är uppbyggd av vara elastiskt. Det kräver elastiskt material i både textila komponenter och laminat, annars begränsar det icke-elastiska materialet samtliga lager. Fördelen med att laminera ett rundstickat tyg ovanpå är att det skyddar mot slitage, någon som förlänger dräktens livslängd. En vara i flera lager skapar möjligheter att kombinera egenskaper, såsom: isolation, vidhäftning mot laminat och dylikt, samt glatta, inerta material. Laminering med det TPU som fanns på skolan gav en vara aningen för styv och oelastisk vara som dessutom hade stor volym utan att bidra till materialets isoleringsvärde. Fördelen med detta var att enbart laminering i ett steg behövdes för att uppnå god vidhäftning. Därtill finns tunnare, mer elastiska laminat av TPU på marknaden. Tyvärr begränsade tidsplanen oss från att införskaffa detta. Laminering med EVA gör materialet mer elastiskt, vilket anses positivt då elasticitet kan leda till bättre passform för personen som använder dräkten. Dessvärre var det EVA som fanns på skolan inte helt vattentätt. Därav sökte vi att uppnå denna egenskap med hjälp av ett vattentätt membran som ledde till en vara med större tjocklek och, i förlängningen, en förstyvad vara med begränsad elasticitet. För att laminatet skulle vidhäfta väl krävdes laminering i två steg, vilket fördröjer processen mot att endast laminera i ett steg. Prototyp 1 och 2 visar att en kombination av egenskaper kräver olika material och lager som kan sammanfogas eller vara uppbyggda på olika sätt.

Möjligheten att åstadkomma en väl isolerande vara – med andra ord, en som kapslar in stora mängder luft – är störst inom väv, då strukturer med stor volym kan konstrueras. Av denna anledning fokuserade gruppen mycket på att få fram ett vävt tyg med elastiska egenskaper initialt. Många modifikationer gjordes men de elastiska garnerna i kombination med vävstolens mekaniska principer orsakade en tygstruktur som omöjliggjorde laminering och beläggning. När prover i flat- och rundstick gjordes uppnåddes en kvalitet med både elasticitet och en slät yta som gick att belägga. Tyvärr begränsades möjligheterna till stor materialvolym av trikåmaskinernas konstruktion. Med facit i hand blir det tydligt att mer tid och energi hade kunnat läggas på att testa olika garn och strukturer i respektive trikå-klass, men i början var hoppet stort om att skapa en optimal väv vilket krävde mycket tid ur projektet. Laborerandet har dock lett till förvissningen att såväl fiberns, garnets, bindningens och programvarans beskaffenhet är av stor betydelse för att skapa en vara med optimala egenskaper. Fel i programvaran kan med andra ord få stora konsekvenser.

Befintlig litteratur har lagt en stor grund till arbetet och varit viktig att hänvisa till. Genom etablerad forskning har potentiella lösningar som t.ex. en friktionsfri yta med OrganoClick kunnat undersökas.

Dock har det varit en utmaning att verifiera att våra åtgärder för att få till en näst intill friktionsfri yta varit framgångsrika. För att kunna testa och få en objektivt mätning som ger en indikation på friktionsyta måste en standardiserad provningsmetod framtas. Denna testmetoden skulle fastställa alla variablerna som inte testats och kunna isolera just tygets ytfriktion.

Utöver de åtgärder som redan testats för att uppnå reducerad friktion planerades en impregnering med en silikonbaserad mjukgörare. Mjukgöraren som ämnades användas påstås vara tvättbeständig och ge upphov till en mjuk och slät yta på tyget (HT Fine Chemicals, u.å). Tyvärr fanns inte tid att testa denna impregnering. Impregneringen kan vara högst relevant för fortsatt arbete på dykardräkten.

För övriga egenskaper, såsom exempelvis nötningshårdighet, vattentäthet och volym, fanns standarder att följa med tidsbrist ledde till att flera prov uteblev. Nötningshårdighet genom Martindale gav goda resultat med tanke på användningsområde. Dock baseras datan på enbart fyra provkroppar med en provkropp som troligtvis avvek och bildade tendens. Samtliga parametrar bör testas mer utförligt innan materialet tas i bruk.

Projektarbetet har visat sig vara tidskrävande då val behövt grunda sig i teori samt anpassning till skolans laborationstillfällen. När en obefintlig produkt ska tas fram behöver många olika parametrar testas vilket tar tid och omfattar personer med olika kunskaper. Som tidigare nämnt har teorin och kontakten med olika personer med olika kunskap inom garner, processer och beredning varit avgörande för att kunna ta fram en prototyp utifrån de krav som fanns för dräkten.

En aspekt som borde ha undersökts tidigt under projektarbetet är den isoleringsgrad som skulle krävas av materialet. Data borde ha sökts utifrån den värme som kan väntas genereras av en livräddares metabolism i relation med den temperatur som kan uppmätas under absolut kallaste undervatten-scenario. Detta hade gett oss större riktning i val av isolerande material samt indikerat vilken volym av detta material som skulle varit tillräckligt. Även om isolationsgraden var begränsad i fallet med trikå-processerna skulle korrekt isolering kunnat kompletteras av det tänkta understället.

Moral är även det en viktig aspekt i produktutvecklingen och användningen av TPU. Huruvida en människas liv står över potentiella miljöhot är ett dilemma. Ett laminat helt utan potentiella risker hade varit optimalt men på grund av TPUs teoretiska vattentäta förmåga är det detta laminat projektet arbetat utifrån. Även övriga material skulle kunna analyseras utifrån miljösynpunkt. Idealet skulle givetvis vara att i framtiden producera en prototyp som varken sätter människoliv eller klimat och miljö på spel.

Då en helt ny typ av dräkt skulle utvecklas, något som inte finns på marknaden idag, har mycket tid lagts på studier för att välja rätt typ av material eller process. På grund av bristande information om dagens våt- och torrdräkter har även kontakt med leverantörer varit viktig för att få förståelse hur liknande befintliga produkter är uppbyggda för att prototypen ska motsvara och uppfylla kravspecifikationen.

6. Förslag på fortsatt arbete

- Undersöka möjligheter att sticka en flerlagers varptrikå med integrerad nonwoven-film för att kombinera elasticitet och isolerande lager samtidigt som en vattentät nonwoven film stickas in i varan.
- Undersöka andra garn, strukturer och processer för minimal friktion.
- Undersöka fibers isoleringsgrad för optimal isolationsförmåga.
- Undersöka påverkan av ett tunnare laminat för behållning av elasticiteten samtidigt som den vattentäta egenskapen återstår. Även hitta ett alternativ på biologiskt framställda och nedbrytbara laminat som inte är miljöfarliga.
- Minimerad friktion kunde inte undersökas till en tillfredsställande grad under projektets tidsspann. Detta är en nödvändighet att undersöka för att kunna verifiera försöken som utfördes under projektet. Därav bör en standardiserad testmetod för testning av en textils ytfriktion utvecklas.
- Enbart membranet som användes i prototyp 1 skulle kunna användas som vattentätt och högelastiskt lager, utan att lamineras ihop med det flatstickade inre materialet och rundstickade yttre jersey-materialet. Med detta skulle, likt våra prototyper, underställ anpassade efter säsong användas. Sömmar skulle givetvis behöva tejpas under konfektion. Ändar såsom muddar eller handskar, simfötter och gränsen mot ansiktet skulle potentiellt kunna vara i material av Nano Textile Solutions (www.nanotextile.se 2023) med storleksändrande egenskaper. Om membranet är tillräckligt elastiskt för att passa storlek S till L samt Nano Textile Solutions material är tillräckligt vattentätt och praktiskt gällande storleksförändring återstår att efterforska.
- Material för isolation, det mittersta lagret i flerlagersvaran är något som kan utforskas vidare.

Referenser

- Ahonen. T. (2023). Sales Director; Ursuit. [internt material].
- Bremholt, S. (2023). Undervisningstekniker i färg och tekniklabb. Högskolan i Borås. [internt material].
- Carlsson, C. (2023). Utvecklingsledare vid räddningstjänsten Storgöteborg. [internt material].
- erez-therm.com (2023). *The Most Common Uses of Waterproof TPU Fabric - is it Right for Your Product?* Publicerad: 2018-04-30.
<https://erez-therm.com/most-common-uses-of-waterproof-tpu-fabric/> [2023-03-05]
- friluftaren.se (2023). *Våtdräkt eller torrdräkt*. Publicerad 2020-05-01.
<https://friluftaren.se/vatdrakt-eller-torrdrakt/> [2023-01-30]
- Fung, W. (2022). *Coated and laminated textiles*. Cambridge, England ; Boca Raton, Florida.
- Karlsson, J. (2023). Projektledare för fridykning inom kommunal räddningstjänst. [internt material].
- Mattsson, R. (2020). *Vattenlivräddning inom räddningstjänst*. Lunds Universitet.
- panaprium.com (2023). *The Truth About Neoprene Fabric You Need to Know*.
<https://www.panaprium.com/blogs/i/neoprene-fabric> [2023-02-09]
- serf.se (2023). *Vad gör räddningstjänsten?*
<https://serf.se/utbildning/for-kommunanstallda/grund-brand/sodra-alvsborgs-raddningstjanstforbund/vad-gor-raddningstjansten/> [2023-01-29]
- svenskativräddningssällskapet.se (2023). *Drunkningsstatistik*.
<https://svenskalivradningssallskapet.se/sakerhet/drunkningsstatistik> [2023-01-29]
- Smith, C, Saulino, M, Luong, K, Simmons, M, Nessler, A. J & Newcomer, C. S. (2020). *Effect of wetsuit outer surface material on thermoregulation during surfing*. International Sports Engineering Association 2020
- Graff, S. R. (1999). *Rubber Technology*. Third edition. Edited by Morton, M. Akron, Ohio.
- Yuan, Z., Nag, R. & Cummins, E. (2022). *Ranking of Potential Hazards from Microplastics Polymers in the Marine Environment*. Journal of Hazardous Materials. Vol. 429.
- Rodriguez, V., Sukumaran, J., Schlarb, Alois K. & De Baets, P. (2016) Influence of solid lubricants on tribological properties of polyetheretherketone (PEEK). *Tribology international*. [Online] 103 p.45.

- Burton, Z. & Bhushan, B. (2005) Hydrophobicity, Adhesion, and Friction Properties of Nanopatterned Polymers and Scale Dependence for Micro- and Nanoelectromechanical Systems. *Nano letters*. [Online] 5 (8), p.1607.
- Faga, M., Duraccio, D., Di Maro, M., Pedraza, R., Bartoli, M., d' Ayala, G., Torsello, D., Ghigo, G. & Malucelli, G. (2022) Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Containing Waste Hemp-Derived Biochar Fibers: Mechanical, Electrical, Thermal and Tribological Behavior. *Polymers*. [Online] 14 (19), p.14.
- Intermolecular bonding and the physical properties of PTFE (2014) <https://chemguide.co.uk/qandc/ptfe.html> [2023-03-04]
- Kumar, H. & Jain, P. K. (2020) 'Calcium Fluoride a Potential Solid Lubricant for Green Tribology and Sustainability', in *Recent Advances in Mechanical Engineering*. [Online]. Singapore: Springer Singapore Pte. Limited. p. 587–595.
- PFAS (2023) <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/pfas> [2023-03-17]
- Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) (2023) <https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas> [2023-03-20]
- Cai, Y. *et al.* (2021) "Formation of fiber fragments during abrasion of polyester textiles," *Environmental Science & Technology*, 55(12), pp. 8001–8009. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00650>.
- B.L. DEOPURA. "Polyamide Fibers." Handbook of Textile Fibre Structure, edited by Stephen Eichhorn and J.W.S. Hearle, Woodhead Publishing, 2009, pp. 1–34. ScienceDirect, doi: 10.1016/B978-1-84569-298-8.50002-X.
- Schindler, W.D. and Hauser, P.J. (2004) *Chemical finishing of textiles*. Cambridge (GB): Woodhead Publishing.
- Webbida: HT Fine Chemicals. (u.å.). List of Chemicals Used in Textile Industry - Silicone Softeners. Retrieved from <https://www.htfine-chem.com/list-of-chemicals-used-in-textile-industry/silicone-softeners.html> [2023-03-18]
- SS-EN ISO 12947-2:2016 *Textil - Bestämning av tygers nötningshårdighet med Martindalemetoden - Del 2: Bestämning av brott*. Svenska institutet för standarder (SIS).
- Nano Textile Solutions (2023) <https://www.nanotextile.se/> [2023-03-19].

Bilagor

1. Test av laminat

Laminering av spacervara (rundstick; polyester och viskos med jersey)

EVA

Prov nr.	Temperatur (celsius)	Tid (sek)	Resultat
1	80	20	Fäster ej
2	100	20	Bättre än prov 1 men fäster ej
3	120	20	Bra Vattentest: repellent men ej vattentätt
3.1 Elasticitet av matrix+jersey i samma riktning	120	20	Elasticitet bra Bra fäst
4	80	40	Fäster ej
5	100	40	Bättre fäste än prov 4 men släpper
11	120	40	Bra men prov 3 bättre

TPU

Prov nr.	Temperatur (celcius)	Tid (sek)	Resultat
6	80	20	Fäster inte alls
7	100	20	Fäster ok
8	120	20	Fäster bra
9	80	40	Dåligt fäste
10	100	40	Bra fäste
12	120	40	Bra fäste
13	135	20	Fäster väldigt bra
14	135	40	Jättebra fäste Vattentest:vattentätt
14.1	135	40	Lite elastiskt men

Elasticitet av matrix+jersey i samma riktning			stummare än EVA
---	--	--	-----------------

2. Textil - Bestämning av tygers nötningshårdighet med Martindalemetoden - Del 2:
Bestämning av brott (ISO 12947-2:2016)



Prototyp 1: (från vänster) prov 1 och 2



Prototyp 2: (från vänster) prov 3 och 4