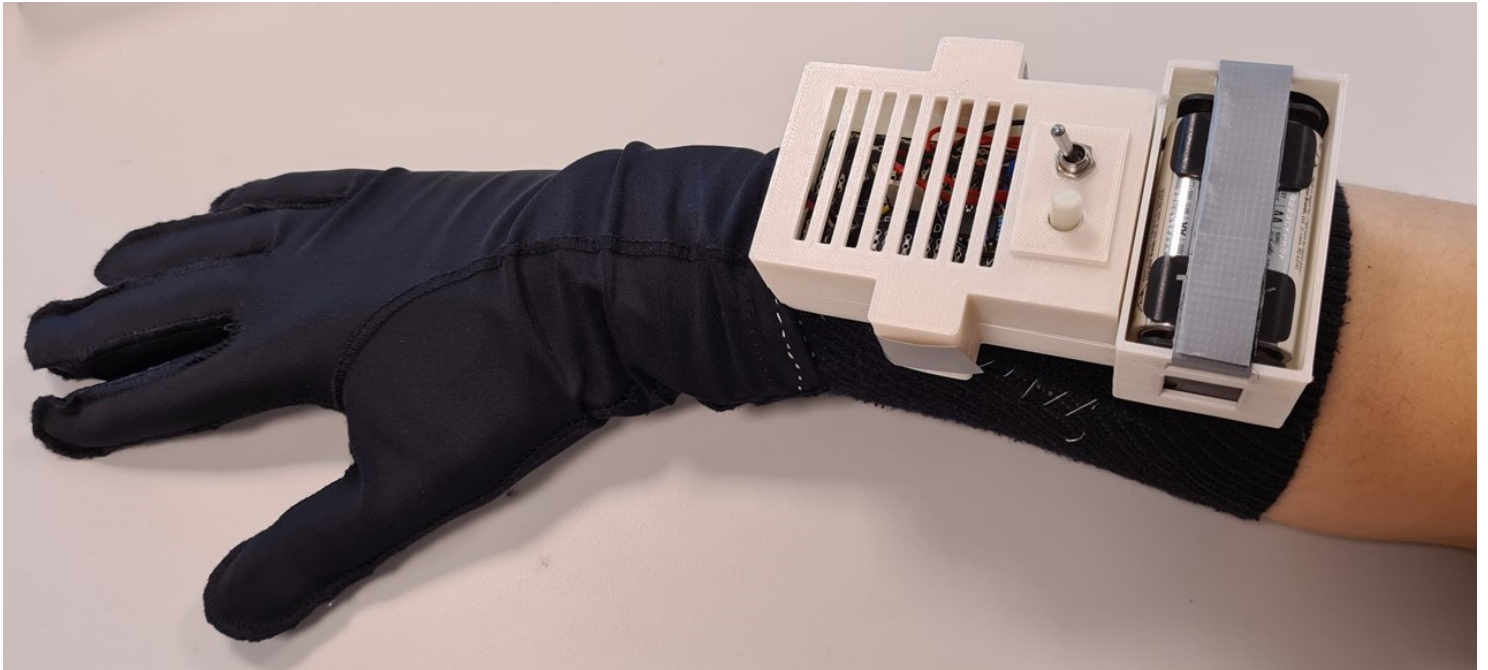




CHALMERS



Smart, säker och lokalt värmande artroshandske

Ett hjälpmedel för att, genom värmebehandling, motverka smärta av artros i långfingrets yttersta led.

INSTITUTIONEN FÖR ELKRAFTTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2023

Smart, säker och lokalt värmande artroshandske

Ett hjälpmedel för att, genom värmebehandling, motverka smärta av artros i
långfingrets yttersta led.

Fredsdal Max
Håkansson Didrik
Marjanovic Edwin
Pihl Linnéa
Örtendahl Theo



CHALMERS

Avdelningen för Elektroteknik
Institutionen för Elkraftteknik
EENX16-2023-33
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

Smart, säker och lokalt värmande artroshandske
Ett hjälpmedel för att, genom värmebehandling, motverka smärta av artros i lång-
fingrets yttersta led.

Fredsdal Max
Håkansson Didrik
Marjanovic Edwin
Pihl Linnéa
Örtendahl Theo

Handledare: Karlsson Robert, Institutionen för Elkraftteknik
Examinator: Ehnberg Jimmy, Avdelning för Elektroteknik

Kandidatarbete 2023
Avdelningen för Elektroteknik
Institutionen för Elkraftteknik
EENX16-2023-33
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: **Visualisering av handsken uppkopplad till krets och spän-
ningskälla**

Textbehandlat i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2023

Smart, säker och lokalt värmande artroshandske
Ett hjälpmedel för att, genom värmebehandling, motverka smärta av artros i lång-
fingrets yttersta led.

Fredsdal Max
Håkansson Didrik
Marjanovic Edwin
Pihl Linnéa
Örtendahl Theo

Avdelningen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is to develop an electric glove for heat treatment of osteoarthritis in the middle finger's outer joint. Heating, comfort and safety are the central considerations of this work. The main elements of the osteoarthritis glove are the electrical circuit for regulating current flow to the heating element and the fabrics of which the glove is made up of. Previous studies have found varying results regarding finger osteoarthritis treatment, however, heat is a promising treatment method. A thin nichrome wire, powered by four AA batteries, was used as the heating element in the glove. The results show that the glove reaches temperatures between 77.2°C and 91.5°C after approximately 300 seconds depending on the output current. These temperatures exceed average human comfort levels. Furthermore, when compared to theoretical calculations, the test results show anomalies indicating incorrectly conducted tests. While the quantitative results still show moderate promise for heating a glove with conductive wire, further research is needed to make the glove's heating function stable. To determine its pain relieving properties for people with finger osteoarthritis and to receive rigorous results, large scale clinical studies are critical.

Key words: Finger osteoarthritis, PWM, Heat control, Power control

Sammandrag

Syftet med detta kandidatarbete är att utveckla en elektriskt värmande handske för behandling av artros i långfingrets yttre led. Uppvärmning, bekvämlighet och säkerhet är tre nyckelord som väglett projektet. Det två huvudsakliga komponenterna som artroshandsken består av är en elektrisk krets som reglerar strömmen till det värmande elementet och tygmaterialet som handsken är tillverkad av. Tidigare studier presenterar blandade resultat gällande behandling av fingerartros, men uppvärmning är en lovande metod. En tunn nikromtråd, ansluten till fyra AA-batterier, användes som värmelement i handsken. Resultaten visar en temperatur på handskens insida mellan 77.2 °C och 91.5 °C efter ungefär 300 sekunder beroende på utgående ström. Dessa temperaturer orsakar obehag eller till och med smärta för den genomsnittliga människan. Vidare konstaterades att kretsen drog mindre effekt än teoretiskt beräknat vilket tyder på felaktig testmetod. De kvantitativa resultaten visar ändå att det finns viss potential att värma upp en artroshandske med hjälp av ledande metalltråd. Ytterligare studier är nödvändiga för att bestämma dess smärtlindrande effekt hos personer med fingerartros. Mer specifikt är fler storskaliga kliniska studier väsentliga för att ge rigorösa resultat.

Nyckelord: Artros, Fingerartros, PWM, Temperaturreglering, Effekstyrning.

Förord

Denna rapport utgör vårt kandidatarbete vid Elkraftteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Det finns ett antal personer som har gjort detta arbete möjligt och som vi vill rikta ett extra tack till. **Robert Karlson**, vår handledare, har väglett oss med sina elektrotekniska kunskaper och inte minst agerat testperson under projektets gång. Även **Sonja Lundmark** har fått bidra som testperson, men har också givit kommentarer på rapportens språkliga innehåll. **Jimmy Ehnberg**, projektets examinator, har under hela arbetet varit tydlig med bedömningsvillkor vilket har underlättat avsevärt. Till sist vill vi tacka ansvariga personer vid Chalmers CASE-labb där vi fått tillgång till elektrisk utrustning och 3D-skrivare.

Didrik Håkansson, Edwin Marjanovic, Linnéa Pihl, Max Fredsdal och
Theo Örtendahl

Göteborg, Maj 2023

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Problemformulering	2
1.4	Tidigare verk	2
2	Teori	4
2.1	Artros	4
2.1.1	Värmebehandling	5
2.1.2	Vibrationsbehandling	5
2.1.3	TENS-behandling	6
2.2	Pulsviddsmodulation	6
2.3	Material	8
3	Metod	9
3.1	Val av behandlingsmetod	9
3.2	Design	9
3.2.1	Materialval	10
3.2.2	Elektrisk materiel och uppkoppling	10
3.2.3	Konstruktion	14
3.3	Test och utvärdering	21
3.3.1	Kvantitativ utvärdering	22
3.3.2	Kvalitativ utvärdering	22
4	Resultat	23
4.1	Kvantitativa resultat	23
4.2	Kvalitativa resultat	25
5	Diskussion	26
5.1	Utvärdering av kvantitativa resultat	26
5.2	Utvärdering av kvalitativa resultat	27
5.3	Reglering	29
5.4	Utvärdering av material	29
5.5	Utvärdering av värmeelementet	30
5.6	E-textiler	31

5.7	Alternativa uppvärmningsmetoder	32
5.8	Val av spänningskälla	32
5.9	Samhälleliga och etiska aspekter	33
6	Slutsats	34
	Referenser	34
A	Ritningar	II
B	Intervju guide och transkriberad text	IV
B.1	Intervju guide	IV
B.2	Transkriberade svar från intervjun	V

1

Inledning

I detta kapitel beskrivs arbetets bakgrund, syfte och problemformulering. Dessutom begrundas tidigare studier med liknande syften och resultat intressanta för detta arbete.

1.1 Bakgrund

För att utföra vardagliga sysslor, både på jobbet och fritiden, är väl fungerande händer och fingrar kritiska. Alltifrån att öppna konservburkar till att skriva på ett tangentbord är beroende av ens fingerleder. Artros är en av de vanligaste ledsjukdomarna i världen och påverkar ungefär 25% av människor över 45 år [1], men förekommer vanligast hos människor över 70 år [2]. Sjukdomen drabbar oftast knä-, höft- och fingerleder och orsakar bland annat smärta, stelhet och minskad styrka.

Det finns många arbetsterapeuter som jobbar med hjälpmedel för att motverka symptomen av artros. Ett av flera möjliga hjälpmedel är en så kallad artroshandske. Artroshandskar används för att bibehålla värme och rörlighet under kallare årstider, men även som smärtlindrande åtgärd i fingerlederna [3]. Dessa handskar kan ha mer eller mindre komplexa behandlingsmetoder, allt ifrån kompression till elektrisk uppvärmning.

Tidigare studier har genomförts för att utveckla en elektrisk artroshandske med olika typer av behandlingsmetoder såsom vibrationsbehandling, värmebehandling och kompressionsbehandling [4], [5]. Studierna har haft varierande resultat med mycket återkoppling från deltagare vilket har lagt grunden som detta arbete bygger vidare på.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att utveckla en säker, uppvärmande handske med hjälp av smart elektronik. Handsken ska sedan användas som hjälpmedel för att lindra smärtan från artros i långfingrets ytterled. Behandlingen ska gå att genomföra under olika lång tid och dess intensitet ska även vara individuellt anpassningsbar genom manuell reglering för att lindra smärta så mycket som möjligt.

1.3 Problemformulering

För att uppfylla arbetets huvudsyfte identifierades olika problemområden. Förutom att konkretisera och förtydliga huvudproblemet åskådliggör dessa områden övergripande utmaningar som finns. Dessa utmaningar har nedan delats upp i fyra delmål som bör uppfyllas för att genomföra arbetet.

1. Att på teoretisk och empirisk grund bestämma behandlingsparametrar för god smärtlindring av artros i långfingrets ytterled med hjälp av värme. Ingående parametrar som kan påverkas är temperatur, tidsramar och behandlingsområde. Dessutom ska vibrationer och elektrisk nervstimulering undersökas som komplementbehandling till värme.
2. Att tillverka en handske vars material klarar uppsatta krav på temperatur, bekvämlighet och rörlighet. Eftersom uppvärmning är handskens huvudsyfte premieras materialens värmefållighet. Dessutom ska materialen vara tillräckligt isolerande för att inte märkbart läcka ut värme till omgivningen.
3. Att utveckla ett gränssnitt med hjälp av smart elektronik där användaren kan påverka stimulansens magnitud och stänga av samt sätta på produkten.
4. Att designa och konstruera ett säkert elektriskt system som kan utföra valda behandlingsmetoder enligt bestämda variabler såsom temperatur, tidsram och område. Detta innefattar exempelvis att kretsar och batterier är konfigurerade på ett sätt som möjliggör anslutning och bortkoppling av batteripaketet.

1.4 Tidigare verk

Det finns många kommersiellt tillgängliga artroshandskar från tillverkare såsom Brownmed, Hestra och Minitex [6]–[8]. De flesta handskar som finns marknadsförs inte som behandlingshandskar. Istället marknadsförs de som hjälpmedel för att bibehålla kroppstemperatur vid utomhusaktiviteter i kall miljö. De är alltså inte designade som produkter för att underlätta symptomen av artros, men har de egenskaperna utöver deras huvudsakliga syfte. Det finns undantag såsom Brownmeds vibrationshandske [6] och handsken som föreslås av Morcos och Golrokhian-Sani [5], som har tillverkats med syftet att underlätta symptomen av artros.

Jamison et al [4] har studerat artroshandsken från Brownmed [6], vars syfte är att behandla artros med hjälp av vibrationer. I studien utvärderas användarnas erfarenhet med handsken, samt handskens effektivitet att lindra smärtan från artros i de drabbade lederna. Studien innefattar 69 deltagare. Enligt Jamison et al, visar resultaten att handsken kan minska smärta i artrosdrabbade leder. Det uppvisas dock en skillnad i graden av smärtlindring mellan hög- och lågfrekventa användare. Användare som använder handsken länge och ofta rapporterar en mindre smärt-

lindring än de som använder handsken i mindre utsträckning. Det diskuteras även att ytterligare studier behövs för att fastslå effektiviteten hos vibrationsfunktionen i handsken. Det kan exempelvis vara värmen från att ha på sig handsken som underlättar smärtan hos användarna. I studien diskuteras även artroshandskens brister. Många deltagare rapporterade att de skulle vilja reglera intensiteten på vibrationerna i handsken. Deltagare har även önskemål om att enkelt kunna rengöra handsken. Många deltagare upplever att handsken är enkel att ladda, men de önskar att det fanns en längre batteritid.

Morcos och Golrokhian-Sani [5] lägger grund för en elektrisk behandlingshandske som använder sig av nedkylning, uppvärmning och kompression. Syftet med handsken är att minska smärtan från artros och reumatisk artrit (RA) i handen. Enligt studien ska dessa metoder orsaka kortvarig smärtlindring i leden efter behandling. Det är tänkt att artroshandsken enkelt kan användas enligt ett tränings-schema som användarens arbetsterapeut ordinerar baserat på användarens behov.

Artikeln [5] lyfter fördelarna med en elektrisk handske över andra alternativ, såsom handskar som värms upp i ugn eller kyls ner i frys. En elektriskt värmande handske är mer mångfasetterad, exempelvis tillåter inte de andra alternativen användning utanför hemmet för många användare. Ett problem som studien förutser i designfasen är att de elektriska komponenterna kommer väga för mycket och göra handsken otymplig att använda. Vid användning kommer detta minska användarens rörlighet i handen samt begränsa finmotoriska aktiviteter [5].

2

Teori

Det finns tre teoretiska nyckelområden som detta arbete vilar på. Medicinsk förståelse om artros, elektroteknisk kunskap om signalreglering och materiella egenskaper hos textilier. Dessa områden redovisas i följande kapitel.

2.1 Artros

Artros är en ledsjukdom som drabbar en fjärdedel av vuxna över 45 år [1]. I en normal led möts två eller flera ben. Ytorna som möts kallas ledytorna och är omslutna i brosk. Brosket, genom att vara hårt och jämnt, ser till att ledytorna inte slits eller skadas. Eftersom brosket är jämnt glider det lätt mot ledytorna vilket underlättar rörelsen i leden. I en led som drabbats av artros bryts ledbrosket ner snabbare än vad kroppen klarar av att bygga upp, till skillnad från friska leder där nedbrytning och uppbyggnad sker i samma takt. Detta medför att brosket blir tunnare och att det på vissa ledytorna även kan saknas brosk, vilket resulterar i att det uppstår irritation mellan ledytorna. Tillslut blir leden inflammerad och även andra delar såsom ledband och muskler påverkas [1].

Handartros kan drabba människor i alla åldrar, men förekommer i störst utsträckning bland äldre. I [2] kartlades utbredningen av handartros hos 1041 äldre personer i åldrarna 71–100 år. Man fann att 26.2% kvinnor och 13.4% män hade artros. Handartros uppstår oftast i fingerlederna, främst i ytterlederna och tumleden, DIP-lederna respektive CMC-leden. Artros kan även uppstå i fingrarnas mellanleder, PIP-lederna, men är betydligt ovanligare [9].

De vanligaste symptomen är återkommande smärta och minskad rörlighet i den led som drabbas. Smärtan är det som påverkar de drabbades livskvalitet mest, även om det finns fler faktorer såsom försvårad förmåga att greppa saker och minskad styrka i handen [1]. Det finns olika behandlingsmetoder för att lindra smärtan, till exempel med hjälp av fysioterapi, smärtstillande mediciner och i värsta fall operation [1]. Vid långvarig eller kronisk artros rekommenderas hjälpmedel för att minska belastningen på den drabbade leden och därmed minska smärtan. Dessa hjälpmedel är oftast stödskenor, så kallade ortoser, eller ergonomiskt designade verktyg [10].

Det finns även studier [1] som visar på att alternativa sätt att lindra smärtan är effektiva. Dessa metoder inriktar sig på snabb och kortvarig lindring av smärtan, istället för långsam och långvarig effekt. Temporär smärtlindring kan vara användbart när artros endast påverkar en individ vid kallt väder, eller vid vissa aktiviteter.

2.1.1 Värmebehandling

Syftet med värmebehandling är att öka ledkapselns inre temperatur. För att kyla ledkapseln svarar kroppen med ökad blodtillförsel, vilket i sin tur stimulerar ledhinnan att producera mer ledvätska. Ledvätska minskar friktionen mellan ledytorna så att de inte orsakar smärta [11].

Att använda värme som behandlingsmetod för långvarig artros i händerna är något som utövas regelbundet av kliniker, men forskning på hur pass effektivt det är saknas [12]. *The European League Against Rheumatism* (EULAR) och dess amerikanska motsvarighet *American College of Rheumatology* (ACR), rekommenderade värme som behandlingsmetod mot artros i handen mellan åren 2007 och 2018 [11], [13]. Anledningen till att värmebehandling slutade rekommenderas år 2018, var att det endast fanns forskning på behandlingarnas effektivitet på artros i andra delar av kroppen, som sedan generaliserades till handen [11]. Behandlingsmetoden används fortfarande för att minska smärta i händerna [13].

Nya studier visar på att det finns en kortvarig positiv påverkan på smärtnivåerna i handen efter värmebehandling [11], [14], [15]. Olika metoder av uppvärmning: värmekuddar, vattenånga och paraffinbad har använts för att värma upp leden som drabbats av artros och en signifikant minskning av smärta har observerats. Smärtlindringen upplevs endast upp till några timmar efter behandlingen. Metoden ska därför inte ses som en långsiktig rehabiliteringsmetod, utan en kortsiktig behandling. Ett kriterium för att smärtlindringen ska induceras av uppvärmning är att den interna temperaturen i ledkapseln ska öka med upp till, men i många fall någon grad lägre än, 7.5°C [11].

2.1.2 Vibrationsbehandling

Vibrationsbehandling går ut på att med hjälp av vibrationer stimulera brosk-cellerna (kondrocyter) så att de distribueras och bildar ett jämnt skikt över ledytorna. Detta bidrar till minskad friktion mellan ledytorna och därmed minskad smärta [16].

Vibrationsbehandlingens effektivitet som behandlingsmetod är inte fastställd. Det finns många studier som testar olika vibrationsfrekvenser för behandling, samt olika leder att behandla. Mycket tyder på att särskilda vibrationer kan ha en positiv påverkan på särskilda leder. Påverkan såsom minskad stelhet och ökad rörlighet uppkommer huvudsakligen bland knäleder. Det observerades ingen betydande minskning av smärta. Konsensus är att vibrationsbehandling kan lämpa sig som en del av ett rehabiliteringsprogram för att öka rörligheten i en led drabbad av artros [16], framförallt knäleder.

2.1.3 TENS-behandling

Tillämpad Elektrisk Nervstimulering (TENS) används som ett verktyg för att minska smärta genom att stimulera nerverna med olika elektriska signaler. Elektroder fästs på det drabbade området och högfrekventa elektriska signaler skickas in i kroppen via elektroderna. Detta ska minska smärtan då det blockerar kroppens smärtreaktion genom att överstimulera nervsignalerna. Detta hindrar dem från att skicka smärtsignaler till hjärnan [17].

TENS som behandlingsmetod av artros är inte väl undersökt, men det finns studier som visar att det är effektivt som smärtlindrande behandling vid andra ledsjukdomar [18]. Studier som utvärderar metoden på artros är motsägelsefulla. Vissa observerar minskad smärta, medan andra inte observerar en signifikant skillnad på smärtnivåerna i leden [19], [20].

2.2 Pulsviddsmodulation

Pulsviddsmodulation (eng. pulse width modulation, PWM) är, som beskrivs i [21], en av grunderna för kontroll inom kraftelektronik. PWM grundar sig i fyrkantsvågor och deras teoretiskt momentana stig- och falltid. Fyrkantvågornas snabba växling mellan hög och låg nivå möjliggör att halvledarkomponenter kan slås på och av med mycket hög frekvens vilket minimerar förluster som uppkommer från långsamma växlingstider.

De mest fundamentala parametrarna inom PWM är frekvensen, f , med vilken signalen varierar samt pulsbredden τ . Frekvensen och pulsbredden kan både vara konstanta eller variabla beroende på applikation. Genom att variera frekvensen och pulsbredden varierar vågformens pulskvot D (eng. duty cycle) enligt

$$D = \frac{\tau}{T} = \tau f \quad (2.1)$$

och därmed även vågformens medelvärde enligt

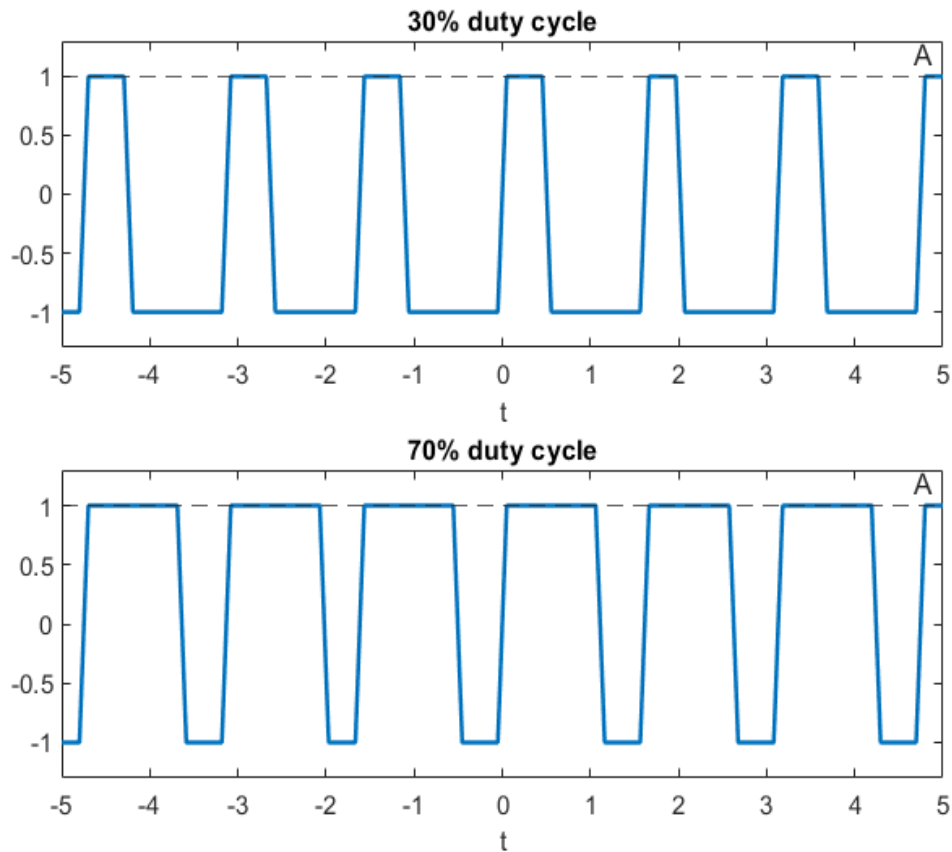
$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \quad (2.2)$$

där vågformen beskrivs av

$$y(t) = A \frac{\tau}{T} + \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n} \sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) \cos(2\pi n f t) \right) \quad (2.3)$$

där A är vågens amplitud.

I Figur 2.1 nedan visas två pulsviddsmodulerade vågformer med 30 respektive 70 % pulskvot.



Figur 2.1: Pulsviddsmodulerade rektangulära vågformer med amplitud A och 30 respektive 70 % pulskvot.

I applikationer för elektrisk styrning används ofta pulsviddsmodulation i kombination med transistorer. I dessa sammanhang kan en transistor enkelt beskrivas som en styrbar strömbrytare och kännetecknas av dess typ, npn- eller pnp-transistor. En npn-transistor leder vid höga styrsignaler och en pnp-transistor leder vid låga styrsignaler.

2.3 Material

Hosseini Ravandi och Valizadeh [22] undersöker egenskaper av olika tyger och fibrer, framförallt kopplat till mänsklig användning och bekvämlighet. De visar att bomullstyg har en bra andningsförmåga eftersom de låter luften cirkulera och förhindrar överdriven svettning och fuktuppsamling på huden. Handskar gjorda av bomull kan hjälpa till att hålla en behaglig temperatur och känsla för användaren. Bomullsmaterial har också bra absorberingsförmåga. Den absorberande egenskapen är ytterligare en faktor som förhindrar svettning och fuktuppsamling. Detta hjälper till att hålla huden torr och förhindra obehag eller irritation. Bomull är generellt ett material som också är mjukt och skonsamt mot huden. Handskar gjorda av bomull kan ge en bekväm passform, vilket minskar risken för skav eller irritation under långvarig användning [22].

Polypropylene är ett syntetiskt material som har låg värmeledningsförmåga [23]. Värmeledningsförmågan beskriver hur lätt värme transporteras i ett material. Ju lägre värde desto större värmemotstånd och desto större blir materialets förmåga att isolera. I Mathers [24] studie om syntetiska textilfibrer visas att polypropylene även är ett material med låg densitet vilket innebär lätt vikt samtidigt som materialet har slitstarka och hållbara egenskaper.

Tyger av nylon och elastan är mycket flexibla material. Nylon är ett syntetiskt material med hög slitstyrka samt hållbarhet och elastan är ett material som är mycket elastiskt [25]. När man kombinerar dessa material får man ett flexibelt och formbart tyg. Dessa tyger är lämpliga för produkter som kräver ett tåligt material samtidigt som de ska vara hållbara och bekväma.

3

Metod

Följande kapitel syftar till att beskriva den metod som ligger till grund för att uppnå projektets delmål. Metoden delas in i tre faser, en inläsningsfas, en designfas och en utvärderingsfas.

3.1 Val av behandlingsmetod

Projektet inleddes med en fas av inläsning som främst syftade till att undersöka sjukdomen artros och olika behandlingsmetoder. Informationsinsamlingen om artros som sjukdom var övergripande och gav en bredare förståelse, medan behandlingsmetoder undersöktes mer ingående med syftet att avgöra den lämpligaste behandlingsmetoden. Värmebehandling valdes som primär behandlingsmetod med tanke på dess historiska tillämpning och moderna studiers utvärdering, som redogörs för i avsnitt 1.4 och 2.1.1.

Eftersom värmebehandling valts som behandlingsmetod behövde behandlingsparametrar avgränsas. Det krävdes en utgångspunkt för behandlingstid, behandlingstemperatur och temperaturökningen som ville uppnås i leden. Detta gjordes med hjälp av studier som redogörs för i avsnitt 1.4 och 2.1.1. Smärtlindringen i fingret beror på temperaturökning i leden och studien [11] fick bra resultat med en temperaturökning på upp till 7.5°C . Samma studie värmde leden med 53°C i 20 minuter för att uppnå värmeökningen, vilket utgör en god utgångspunkt för samtliga behandlingsparametrar.

3.2 Design

Designprocessen innefattade val av material, konstruktion och sammansättning av handskens olika delar samt utformning av den elektriska uppkopplingen. Hela processen var till stor del iterativ vilket innebar att en mängd material, värden på elektriska parametrar och sammansättningstekniker testades. I samband med att en aspekt ändrades påverkades ofta tillvägagångssättet inom ett annat designområde.

3.2.1 Materialval

Materialvalen som behövde göras grundades i de delmål som sattes på handsken i avsnitt 1.3. Baserat på dess värmetålighet och utbredda användning som värmeelement användes nikromtråd i handsken [26]. Handskens konstruktion skulle bestå av tre olika lager, konstruerade med olika material.

Det innersta lagret på handsken hade som syfte att skydda huden från att brännas genom direktkontakt med nikromtråden. För att undvika onödigt hög uppvärmning av nikromtråden skulle detta lager vara så tunt som möjligt. Enligt de egenskaper som redovisas kring bomullstextiler i avsnitt 2.3 valdes bomull som innerhandskens material. En undersökning av existerande tunna bomullshandskar på marknaden visade att det redan fanns många som var lämpliga att använda. Det ansågs därför lämpligt att köpa en färdigtillverkad bomullshandske.

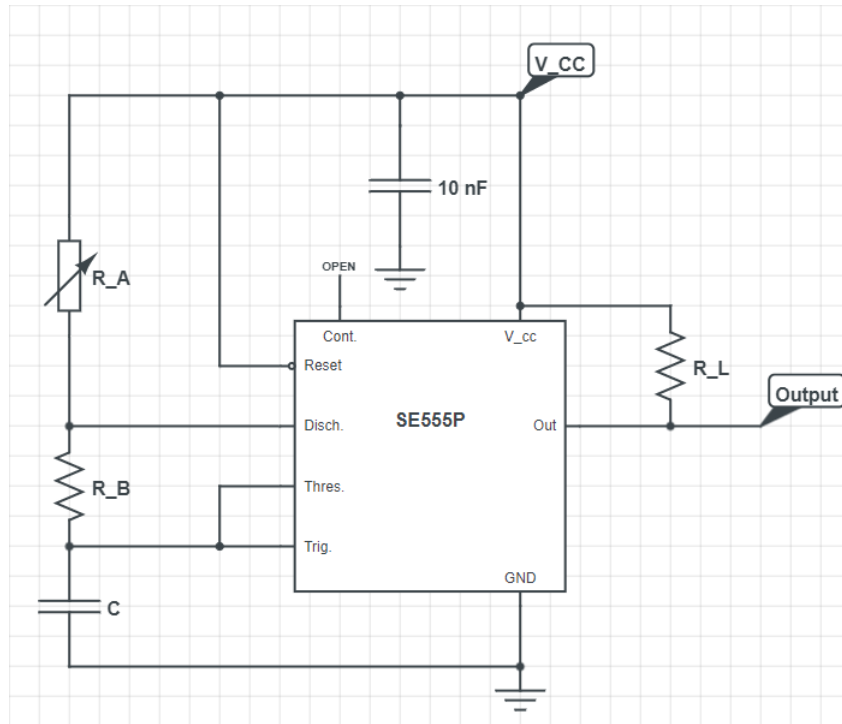
Mittenlagret på handsken skulle vara ett isoleringslager. Syftet med att använda ett isolerande material var att koncentrera värmen i fingrets artrosdrabbade led. Testpersonerna i detta projekt hade endast artros i yttersta leden på ett finger och därför valdes endast detta finger att behandlas med den värmande nikromtråden. Detta innebar att det isolerande materialet bara behövde finnas på ett finger. Därför ansågs det onödigt att tillverka en hel handske i isoleringsmaterialet och det valdes istället att bara skapa en "fingerborg" för att täcka det finger som värms upp. Fingerborgen visas i Figur 3.7. Det isolerande materialet valdes till polypropylen. Det ansågs lämpligt då materialet har stort värmemotstånd samt låg densitet vilket redovisas i avsnitt 2.3.

Det yttersta lagret på handsken skulle säkerställa stabilitet eftersom alla komponenter senare skulle fästas här. Genom en liknande undersökning av färdiga handskar som gjordes för det innersta lagret ansågs det även här lämpligt att köpa in en redan existerande handske. Handsken som valdes var komprimerande och tillverkad för att lindra symptomen hos personer med handartros. Den ansågs lämplig eftersom den är tillverkad av företag som riktar sig mot personer med artros samt att en komprimerande handske är utvecklad för att sitta tajt. Materialet som ytterhandsken är gjord av är en blandning av nylon och elastan. Denna blandning bidrar med flexibilitet som gör att handsken kan sitta tajt runt handen, detta redovisas i avsnitt 2.3.

3.2.2 Elektrisk materiel och uppkoppling

För att styra strömtillförseln, och därmed utvecklingen av värme, i handsken valdes ett system centrerat runt pulsviddsmodulation. Som tidigare benämnts, i avsnitt 2.2, grundar sig pulsviddsmodulation i att generera rektangulära vågor med styrbar pulskvot och frekvens och för att realisera denna funktion valdes en så kallad 555-timer. En 555-timer är en mycket vanlig integrerad krets och förekommer ofta i timing, fördröjning- och puls generationssammanhang. 555-timern kan användas i tre olika lägen: *bistable mode*, *monostable mode* och *astable mode* och för att generera en kontinuerlig rektangulär våg används det sistnämnda läget.

Eftersom att handsken skulle drivas med en spänning på $\leq 6\text{ V}$ krävdes en 555-timer vilken kunde arbeta i detta spänningsområde. Därför valdes 555-timern *SE555P* från *Texas Industries*. För att använda *SE555P* i *astable mode* kunde, enligt [27], följande uppkoppling användas:



Figur 3.1: Generell uppkoppling för SE555P i *astable mode*.

Med hjälp av de ingående komponenterna R_A , R_B , C och R_L kunde den utgående vågformens frekvens f och pulskvot D styras enligt

$$f \approx \frac{1,44}{(R_A + 2R_B)C} \quad (3.1)$$

och

$$D = \frac{t_H}{t_H + t_L} \quad (3.2)$$

där t_H och t_L är tiden signalen är hög respektive låg enligt

$$t_H = 0,693(R_A + R_B)C \quad (3.3)$$

och

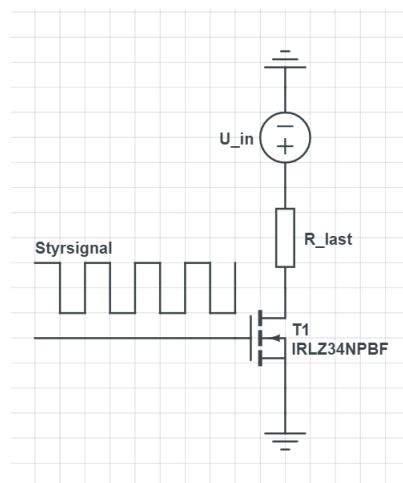
$$t_L = 0,693(R_B)C \quad (3.4)$$

I tillverkarens datablad, [27], för SE555P specificerades R_A som ett fast motstånd men som syns i Figur 3.1 har detta ersatts med en potentiometer, en justerbar resistans. Genom att välja en potentiometer, med ett lämpligt resistansomfång, erbjuds ett enkelt sätt att variera pulskvot och frekvens efter behov. Ett lämpligt

resistansomfång innebar i detta fall ett omfång vilket, tillsammans med övriga komponenter, möjliggjorde tillräckligt hög utstyrning samtidigt som handskens säkerhet garanterades.

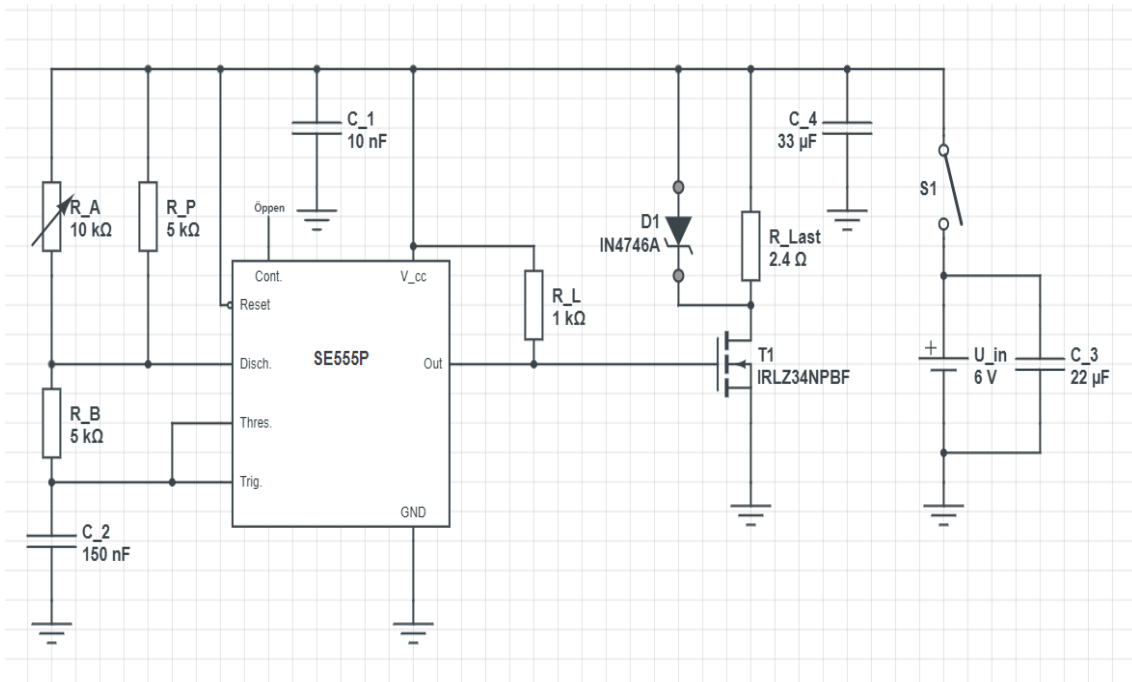
Enbart vågformen som levererades av SE555P var inte tillräcklig för driva värmelementet. Som nämndes kort i avsnitt 2.2 kan vågformen istället användas som styrsignal till en npn- eller pnp-transistor. Detta fungerar genom att ansluta vågformen till styret på transistorn som styr strömflödet. Genom att koppla transistorn som en strömbrytare mellan strömkällan och värmelementet möjliggörs reglering av strömflödet till denna.

För att uppnå en högre effektillförsel krävdes en transistor som kunde leverera högre ström än SE555P:s 200 mA. Enligt utförda tester krävdes en ström på upp till 1 A för att uppnå önskad värmeutveckling. Samtidigt krävdes att transistorns tröskelspanning skulle vara inom spänningsintervallet för den genererade vågformen, det vill säga $U \leq 6\text{ V}$. Slutligen krävdes att transistorn skulle vara av typ npn vilket gjorde att IRLZ34NPBF från *Infineon* valdes. IRLZ34NPBF var egentligen något överdimensionerad men på grund av bristande alternativ på komponenter inom önskad specifikation var den det bästa alternativet. För att använda transistorn för strömstyrning kan en uppkoppling enligt Figur 3.2 nedan användas.



Figur 3.2: Generell uppkoppling för strömstyrning med hjälp av IRLZ34NPBF.

Den inkommande styrsignalen i figur 3.2 genereras med hjälp av SE555P, där U_{in} är spänningskällan och R_{Last} är lasten till vilken strömmen skall regleras, i detta fall värmeelementet. Som spänningskälla till kretsen valdes 4 seriekopplade AA-batterier med en spänning på 1.5 V vardera. Seriekopplingen av dessa gav en total spänning på 6 V med fulladdade batterier. Med kretselementen som presenterats i Figur 3.1 och 3.2 tillsammans med ett antal ytterligare komponenter kunde en slutgiltig sammansatt krets enligt Figur 3.3 nedan konstrueras.



Figur 3.3: Kretsschema för hela den elektriska uppkopplingen.

I kretschemat syns de tidigare introducerade PWM- och effektstyrningskretsarna men även ytterligare ingående komponenter. Parallellt med potentiometern R_A introducerades ytterligare en resistans. Syftet med denna resistans var att begränsa potentiometerns resistansområde. Parallellkopplingens totala resistans, R_{tot} , kan bestämmas enligt

$$R_{tot} = \frac{R_A R_P}{R_A + R_P} \quad (3.5)$$

där R_A är potentiometern och R_P är det parallellkopplade motståndet. Efter analys kan ekvation 3.5 reduceras till

$$R_{tot} \approx \begin{cases} R_A, & R_A \ll R_P \\ \frac{R_A}{2}, & R_A \approx R_P \\ R_P, & R_A \gg R_P \end{cases} \quad (3.6)$$

Genom att studera ekvation 3.6 inses att parallellkopplingen gör att resistansomfånget begränsas uppåt. I praktiken innebar denna begränsning att säkerheten för både användaren och den elektriska uppkopplingen garanterades genom att omöjliggöra att en för hög resistans ställs in. Utöver det extra parallellkopplade motståndet introducerades även en strömbrytare, vilken syns i den högra delen av Figur 3.3. Strömbrytaren fyllde det enkla syftet att erbjuda användaren ett enkelt sätt att sätta på och stänga av handsken utan att behöva koppla ur spänningskällan eller liknande.

Kretsschemat i Figur 3.3 visar även att två kondensatorer, C_3 och C_4 , samt en zenerdiod D1 har introducerats. Kondensatorerna C_3 och C_4 har kopplats in i syfte

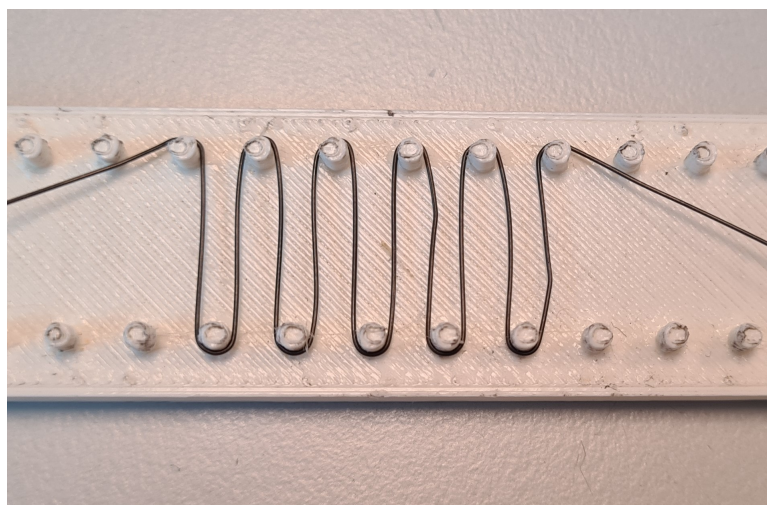
att stabilisera spänningen vid spänningskällan och vid lasten. Eftersom lasten inte är rent resistiv, utan även har en viss induktiv karaktär, har zenerdioden D1 kopplats in som frihjulsdiod och syftar till att ta hand om den energi som är lagrad i lasten då transistorn är frånslagen. I Tabell 3.1 nedan, sammanfattas alla ingående komponenter och deras storheter.

Komponentnamn	Typ av komponent	Värde	enhet
R_A	Potentiometer	0 – 10	$k\Omega$
R_B	Resistans	5	$k\Omega$
R_L	Resistans	1	$k\Omega$
R_P	Resistans	5	Ω
R_{Last}	Resistiv last	2,4	Ω
C_1	Kondensator	10	nF
C_2	Kondensator	150	nF
C_3	Kondensator	22	μF
C_4	Kondensator	33	μF
U_{in}	Spänningskälla (4 AA-batterier)	6	V
T1	Transistor (IRLZ34NPBF)	N/A	N/A
SE555P	555-timer	N/A	N/A
S1	Av/På-switch	N/A	N/A
D1	IN4647A	N/A	N/A

Tabell 3.1: Ingående komponenter i slutgiltig krets, se Figur 3.3.

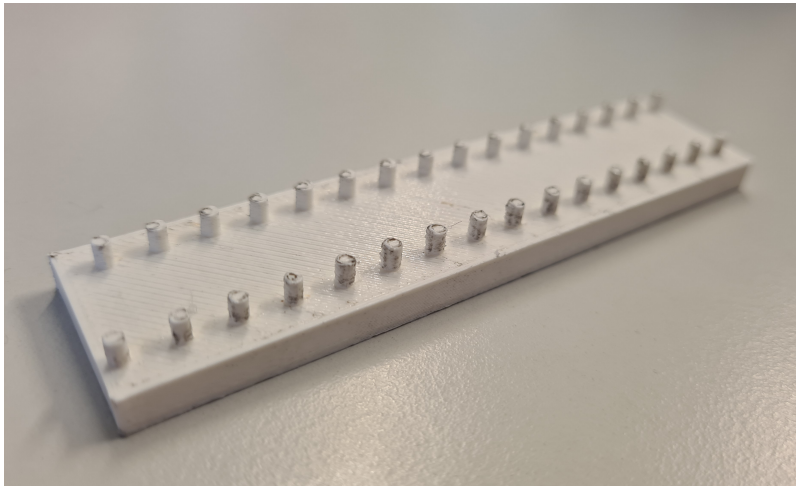
3.2.3 Konstruktion

Den uppvärmande nikromtråden formades som en väldigt skarp slalombana enligt Figur 3.4. På den slutgiltiga handsken användes tillräckligt många böjningar för att uppnå rätt trådlängd, det vill säga den längd på tråden som gav adekvat resistans för önskad värmeutveckling.



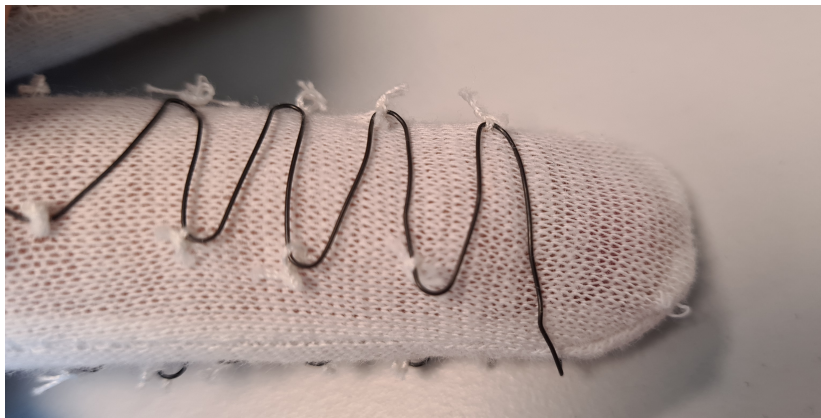
Figur 3.4: Trådens formgivningsmönster.

För att få en jämn och likformig bana användes ett 3D-skrivet styrverktyg för att linda tråden. Styrverktygen bestod av en platta med två rader av cylindrar placerade med jämna mellanrum, se Figur 3.5. Figur A.3 i bilaga B visar ritningen för styrverktyget med givna mått. Denna ritningen är baserad på CAD-filen använd för att 3D-skriva lindaren.



Figur 3.5: 3D-skrivet styrverktyg för att linda den elektriskt värmande tråden.

När tråden formats sattes den fast med hjälp av nål och tråd på handskens innersta lager, den tunna bomullshandsken. Metalltråden syddes fast mot tyget i böjningarna vilket visas i Figur 3.6.



Figur 3.6: Bilden visar nikromtråden fastsydd på den inre bomullshandsken.

Det isolerande materialet integrerades som en fingerborg över den värmande tråden på långfingret. Fingerborgen tillverkades genom att sy ihop en bit av det isolerande materialet, polypropylene, i den längd och bredd som passade testpersonerna. Fingerborgen syddes fast med hjälp av två sömmar längs fingrets långsidor utanpå innerhandskens långfinger över nikromtråden. Kompressionshandsken drogs sedan över bomullshandsken med påsydd fingerborg och syddes fast med bomullstråd.



Figur 3.7: Fingerborg i polypropylene

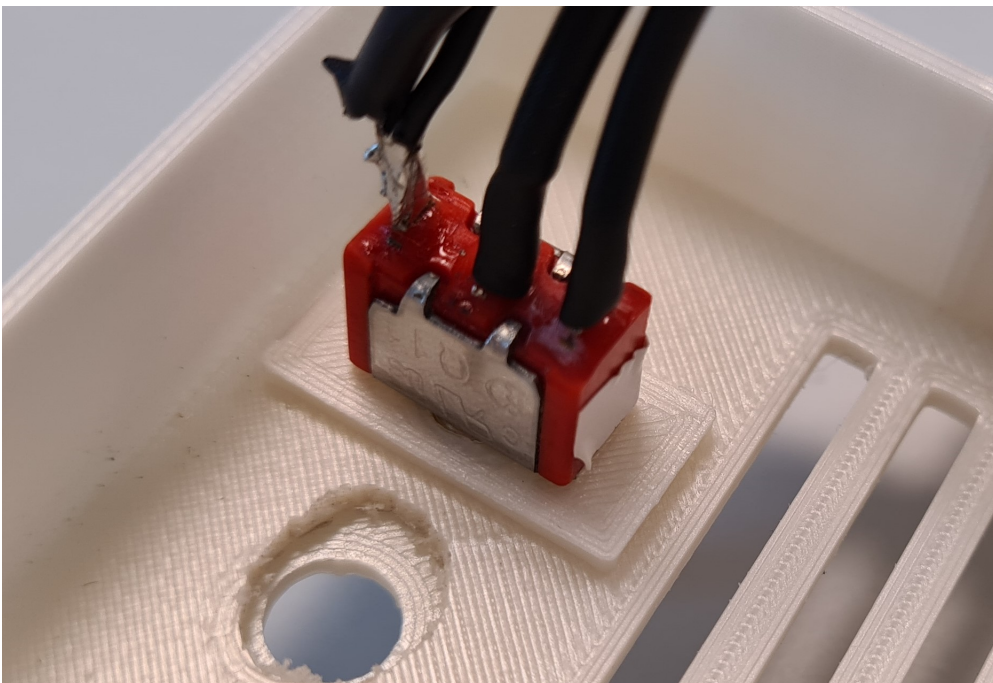
För att fästa elektriska komponenter såsom kretsar och batteri krävdes ett chassi samt en metod för fästning på handsken. Chassit formades rektangulärt med avrundade hörn utvändigt, vilket gjorde hållaren mer användarvänlig genom att det utslöt en del vassa kanter. Figur 3.11 visar chassit. De fyra AA-batterierna sattes tillsammans i en inköpt batterihållare. Batterihållaren och kretsen placerades i det 3D-skrivna chassit med två stycken fack, ett för hållaren och ett för kretsen. Det rektangulärformade batterifacket försågs med hål på två av sidorna som gör batterierna lättare att ta ut och minskar mängden material som behöver användas. För att hålla batterihållaren på plats användes ett band försett med kardborre.

Kretskortets fack är också rektangulärt format men anpassades till kretskortets dimensioner. Detta fack är tvådelat och innefattar en botten och ett lock. Detta visas i Figur 3.10. Dessa fäster i varandra med hjälp av piggar och motsvarande hål. För att ge användaren tillgång till PWM-reglaget placerades en rund öppning på lockets ovansida. Locket försågs med ett antal slitsar vilka agerar ventilation för kretsen samt minskar mängden material som används. Ett rektangulärt hål utformades på locket där strömbrytaren kunde träs igenom underifrån.

För att förlänga PWM-reglaget 3D-skrevs en cylinder som sattes på den ursprungliga ratten med hjälp av silvertejp och superlim. För att enklare sätta ihop konstruktionen användes en 3D-skriven platta med hål som limmades på lockets ovansida vilket gav spelrum för vart hålet skulle vara placerat. Samma metod användes för strömbrytarhålet där plattan tillsammans med en mutter utgjorde en fastspänningsanordning för strömbrytaren. Figur 3.8 och 3.9 nedan visar över- respektive undersidan av strömbrytaren.

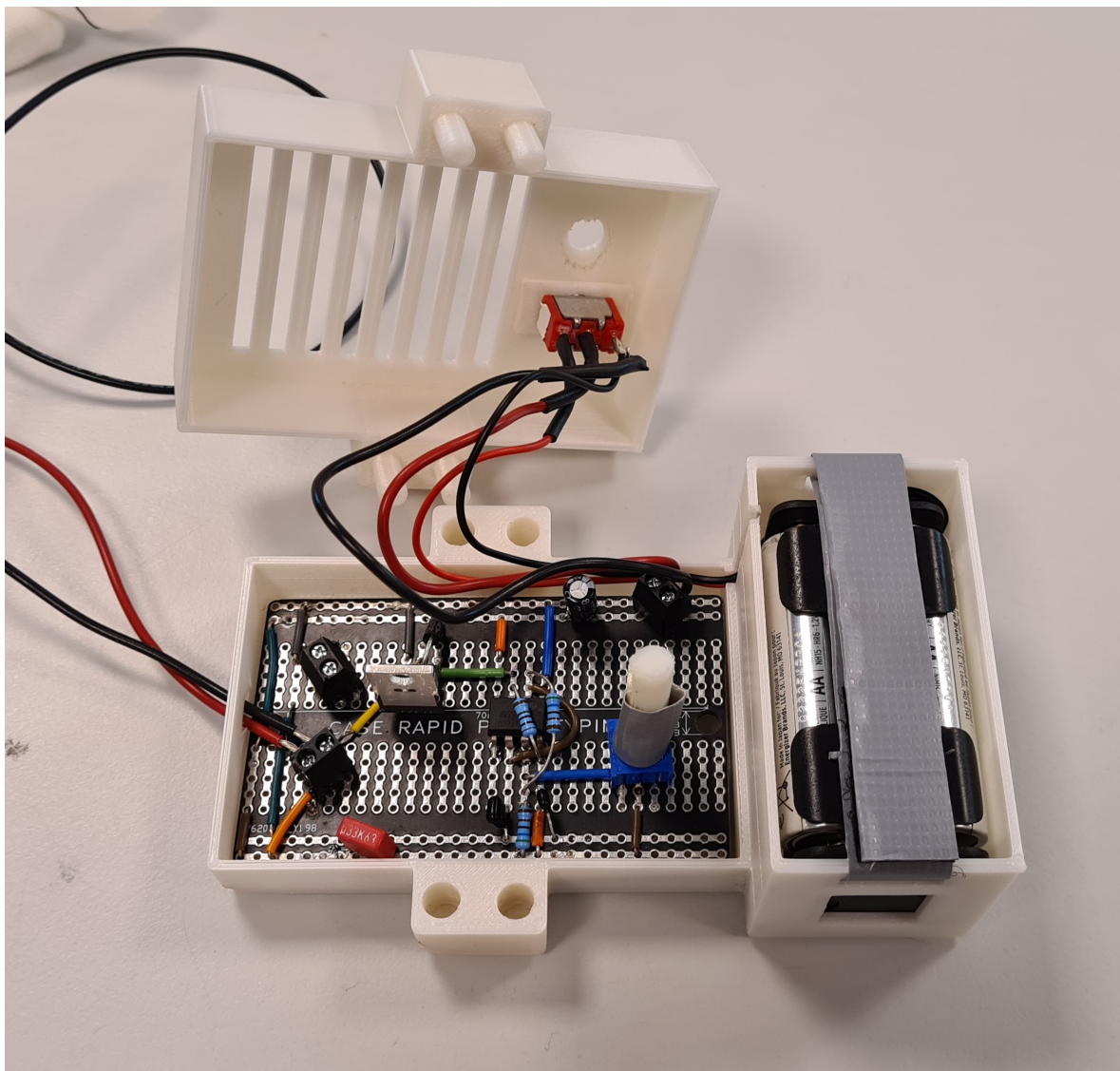


Figur 3.8: Ovansidan av locket med strömbrytaren monterad med hjälp av 3D-skrivna stödbrickor och en mutter.

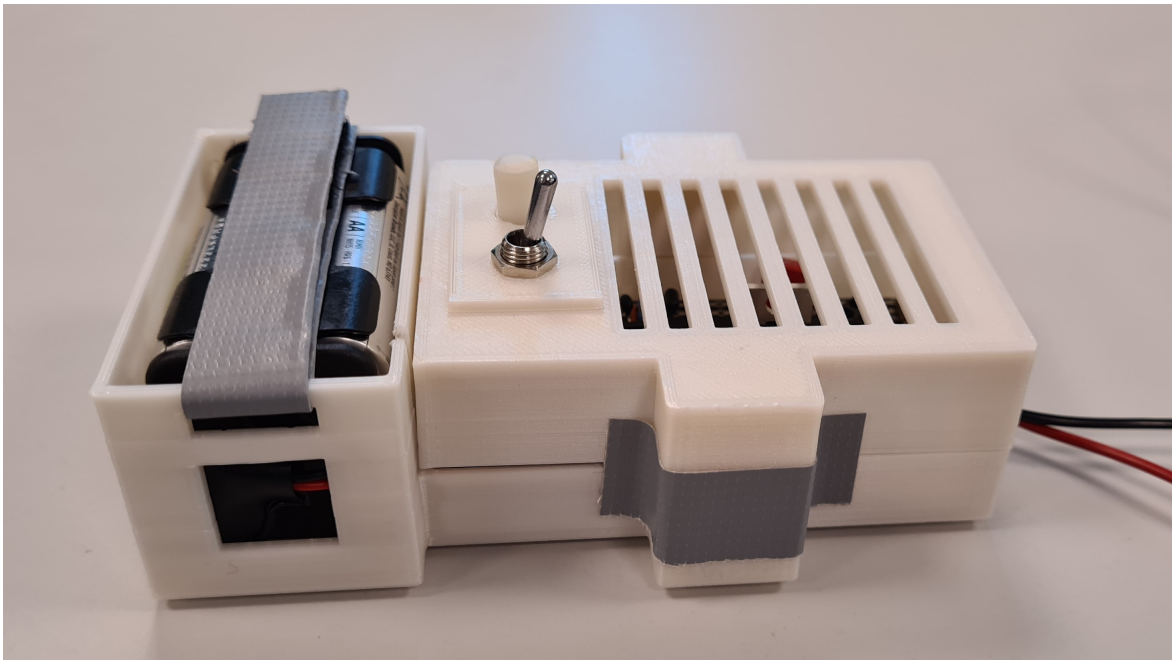


Figur 3.9: Undersidan av locket med strömbrytaren monterad med hjälp av 3D-skrivna stödbrickor och en mutter.

Batteripaketet och kretsen sammankopplades med kablar vilka är integrerade i chassit. Kablarna trädde genom en springa på chassits ovansida in till kretskortet. Utgående kablar från kretsen till handsken trädde genom ett hål som borrades i chassits framsida. Hela paketet fästes på handsken med hjälp av kardborre. Den styva sidan av kardborren limmades fast på chassits undersida varvid chassit sedan fästes med hjälp av påsydda kardborreremсор på handskens ärm. Det färdiga chassit med batterier, kablar, kretsen och strömbrytaren med och utan lock visas i Figur 3.10 och 3.11 nedan. Den färdiga tyghandsken samt hela anordningen i användning visas nedan i Figur 3.12 och 3.13.



Figur 3.10: Monterad batteri- och kretslåda med öppet lock. Notera att utporten högst upp till vänster ej användes.



Figur 3.11: Färdigmonterad stängd batteri- och kretshållare.



Figur 3.12: Bilden visar den färdigsydd tyghandsken.



Figur 3.13: Komplet artroshandske med fastsatt batteri- och kretschassi i användning.

För att chassit inte ska vara i vägen under användning av handsken förlängdes handskens ärm med ett åtsittande bomullstyg. Detta gör att chassit sitter högre upp på underarmen istället för att sitta på handryggen. En praktisk fördel med att flytta upp chassit var minskad rörlighetsbegränsning. Den påsydda ärmen med chassi monterat illustreras i Figur 3.13. Figur A.1 & A.2 i bilaga B visar ritningarna för krets- och batterihållaren med givna mått. Ritningarna är direkt baserade på CAD-filerna som konstruerats.

3.3 Test och utvärdering

För att utvärdera om arbetets syfte och problemformulering, som kartlades i avsnitt 1.2 och 1.3, uppnås behöver handsken testas och utvärderas. En kravspecifikation för handsken skapades och alla utvärderingar relaterar till dessa krav, se Tabell 3.2. Vissa krav gick inte att testa med kvantitativa mätningar, utan behövde utvärderas med hjälp av en kvalitativ utvärdering av användarupplevelsen.

Tabell 3.2: Kravtabell för den elektriskt uppvärmade artroshandsken.

Nr.	Krav	Beskrivning
1	Lämplig behandlingsmetod	En behandlingsmetod motiverad på empirisk grund.
2	Minimal uppvärmningstemperatur: 53 °C	Handsken ska kunna upprätthålla en innertemperatur vid behandling på minst 53 °C.
3	Maximal uppvärmningstemperatur: inte skadlig	Handsken kan ej överskrida temperaturer som orsakar smärta eller skada på användaren.
4	Värmetåligt textil	Materialet ska klara av att utstå handskens maxtemperatur.
5	Bekvämlighet	Handsken är bekväm att ha på sig
6	Rörlighet	Användaren behåller viss finmotorisk förmåga vid användning
7	Reglering	Användaren kan i viss mån reglera hur varm handsken ska bli
8	Strömbrytare	Användaren ska kunna, med hjälp av en knapp eller spak, sätta på och stänga av handsken
9	Löstagbart batteri	Användaren ska kunna byta batterier och återansluta dem till handsken

3.3.1 Kvantitativ utvärdering

För att utvärdera handskens funktion kvantitativt gjordes ett antal olika mätningar. Dessa syftade till att bestämma värmeutveckling i förhållande till vald utstyrning på potentiometern samt strömförbrukning. För att göra detta placerades en temperaturprob, kopplad till en multimeter, i handsken. Samtidigt kopplades en amperemeter mellan spänningskällan (nätaggregat inställt på 5.5 V) och kretsen för att mäta utgående ström. Potentiometern, parallellkopplad med R_P , justerades sedan så att ett bestämt värde på denna uppnåddes. Uppvärmningen startades sedan och temperaturen avlästes vid 30, 60, 90 och 300 sekunder. Dessa tidsintervall valdes för att ge information om både hur snabb värmeutvecklingen var och hur den skulle se ut över tid. Eftersom strömmen förväntades vara i stort sett konstant under hela testet mättes denna efter 60 sekunder. Efter utfört deltest fick handsken svalna till rumstemperatur, mätt med samma temperaturprob. Samma testmetodik användes sedan upprepade gånger för olika inställningar på potentiometern.

3.3.2 Kvalitativ utvärdering

I arbetet har väldigt få testpersoner inkluderats. Till följd av detta anses många av kraven svåra att utvärdera med hjälp av kvantitativ metodik. Istället värderas en djupare förståelse för hur testpersonerna upplever att handsken uppfyller kraven, genom en intervju då testpersonerna har på sig handsken. Kraven som utvärderades var materialens bekvämlighet och rörlighet. Urvalet av testpersoner skedde slumpmässigt och bestod av studenter på Chalmers Tekniska Högskola.

I varje intervju deltog en testperson, en intervjuare och en transkriberare. Intervjun var utformad så att testpersonen blev informerad om arbetets och intervjuens syften. Testpersonen tar sedan på sig handsken och öppna frågor ställs för att utvärdera handskens bekvämlighet och rörlighet. Detaljer om intervjun bifogas i intervjuguiden se B.1. Transkriberingarna, se Bilaga B.2, utvärderades genom att relatera svaren till kravtabellen, Tabell 3.2.

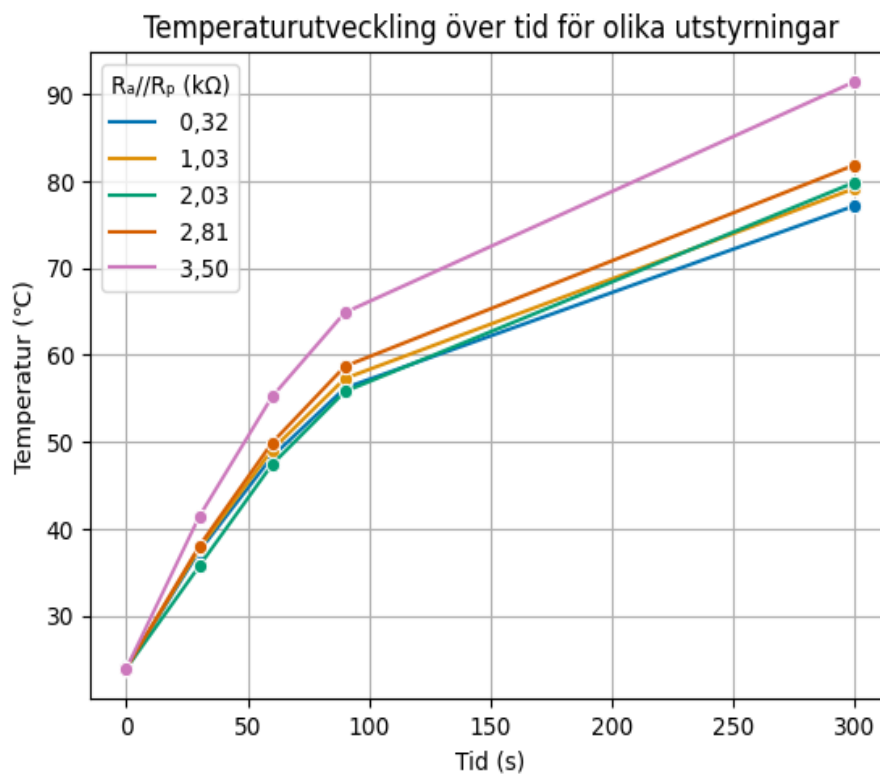
4

Resultat

I detta kapitel presenteras de resultat som uppnåtts vid den kvantitativa respektive kvalitativa utvärderingen av handskens funktion.

4.1 Kvantitativa resultat

Detta avsnitt syftar till att presentera de kvantitativa resultat som framtagits. Resultaten är framställda i enlighet med den testmetodik som redogjordes för i avsnitt 3.3.1.



Figur 4.1: Temperaturutveckling över tid för olika utstyrningar (inställningar på R_A/R_P).

I Figur 4.1 ovan visas temperaturutvecklingen över tid för olika utstyrningar. Figuren visar data för fem olika inställningar från minimal till maximal utstyrning där de solida punkterna representerar experimentellt uppmätt data. De streckade linjerna i figuren är linjära anpassningar som gjorts mellan respektive datapunkt.

Temperaturutvecklingen är som kraftigast i början av testen för att sedan avta något under resterande tid. Detta syns tydligt i Figur 4.1 genom att studera lutningen på de linjärt skattade kurvorna. I tidsintervallet 0–90 sekunder, och speciellt 0–60 sekunder, är lutningen tydligt skarpare än för tidsintervallet 90–300 sekunder. Den maximala temperaturen som uppnåddes under utvärderingen varierade mellan 77,2 och 91,5 °C.

Tabell 4.1: Ström-och effektförbrukning för olika utstyrningar (inställningar på $R_A//R_P$).

$R_A//R_P$ [kΩ]	I_{in} [A]	P_{in} [W]
0,32	0,47	2,59
1,03	0,50	2,75
2,03	0,54	2,97
2,81	0,56	3,08
3,50	0,58	3,19

Tabell 4.1 ovan visar den ström samt effekt som hela den elektriska uppkopplingen drar vid olika utstyrningar. Strömmen som dras varierar mellan 0,47–0,58 A medan effekten varierar mellan 2,59 och 3,19 W. Effekten som dras av hela den elektriska kretsen är dock inte analog med den effektutveckling som sker i värmelementet. Effekten som utvecklas i värmelementet kan beräknas enligt

$$P_{last} = \frac{u_{last}^2}{R_{last}} = \frac{(D \cdot U_{in})^2}{R_{last}} \quad (4.1)$$

där u_{last} är spänningen över lasten, R_{last} är lastens resistans, D är pulskvoten och U_{in} spänningskällans spänning. I kombination med ekvation 3.2, 3.3, 3.4 och 3.5, som presenterades i avsnitt 3.2.2, kan ekvation 4.1 reduceras till

$$P_{last} = \left(\frac{(R_A//R_P) + R_B}{(R_A//R_P) + 2R_B} \right)^2 \cdot \frac{U_{in}^2}{R_{last}}. \quad (4.2)$$

Den teoretiskt utvecklade effekten för respektive utstyrning sammanfattas i Tabell 4.2 nedan.

Tabell 4.2: Teoretisk effektutveckling i värmelementet kontra utstyrning.

$R_A//R_P$ [kΩ]	P_{last} [W]
0,32	3,35
1,03	3,77
2,03	4,30
2,81	4,69
3,50	5,00

Den effekt som teoretiskt skulle utvecklas i värmelementet är högre än den effekt som drogs vid testningen. Detta tyder på att något blivit fel under utvärderingen, vilket utreds i diskussion, avsnitt 5.

4.2 Kvalitativa resultat

De kvalitativa resultaten består av en summering av testpersonernas transkriberade svar angående materialens rörlighet och bekvämlighet. Testpersonerna nämner att handskens bekvämlighet är god och att materialet känns mjukt och behagligt. Passformen upplevs dock inte som god, vilket försämrar bekvämligheten hos några testpersoner. Testpersonerna är inte eniga angående handskens rörlighet, då somliga tycker den är god medan andra tycker den är begränsad. Alla testpersoner tycker att handsken är klumpig att ta på sig, men lätt att ta av sig. Baserat på svaren från intervjuerna tillsammans med övriga resultat har handsken utvärderats utifrån vilka krav som uppfyllts, se Tabell 4.3 för de krav som handsken uppfyller. Transkriberade fullständiga svar från intervjuerna återfinns i Bilaga B.2.

Tabell 4.3: Kravtabell för den elektriskt uppvärmande artroshandsken.

Nr.	Krav	Beskrivning	Uppnått
1	Lämplig behandlingsmetod	En behandlingsmetod motiverad på empirisk grund.	Ja
2	Minimal uppvärmningstemperatur: 53 °C	Handsken ska kunna upprätthålla en innertemperatur vid behandling på minst 53 °C.	Ja
3	Maximal uppvärmningstemperatur: inte skadlig	Handsken kan ej överskrida temperaturer som orsakar smärta eller skada på användaren.	Nej
4	Värmetålig textil	Materialet ska klara av att utstå handskens maxtemperatur.	Nej
5	Bekvämlighet	Handsken är bekväm att ha på sig.	Ja
6	Rörlighet	Användaren behåller viss finmotorisk förmåga vid användning.	Ja
7	Reglering	Användaren kan i viss mån reglera hur varm handsken ska bli.	Ja
8	Strömbrytare	Användaren ska kunna, med hjälp av en knapp eller spak, sätta på och stänga av handsken.	Ja
9	Löstagbart batteri	Användaren ska kunna byta batterier och återansluta dem till handsken.	Ja

5

Diskussion

I följande kapitel förs primärt diskussion kring resultat, metodik och etiska aspekter.

5.1 Utvärdering av kvantitativa resultat

Vid uträkning av den teoretiska effektutvecklingen för vald utstyrning, som presenterades i Tabell 4.2, insågs att kretsen förbrukade lägre effekt än den teoretiska. Detta tyder kraftigt på fel i utvärderingen då det motsäger sig energiprincipen. Själva testmetodiken skall inte ge upphov till fel av sådan magnitud men hade spänningen över värmelementet mätts hade det kunnat bekräftas om den låg i linje med den teoretiska. Om fallet var att de inte uppträdde enligt de teoretiska värdena hade det givit större förtroende för mätvärdena. Motiveringen till det är att spänningen över värmelementet med stor sannolikhet var lägre än den teoretiska, vilket skulle resultera i en effektutveckling mer i linje med den effekt som förbrukades från spänningskällan. Detta styrks av den iterativa utvärdering som gjorts under utvecklingens gång som uppvisat värmeutveckling i linje med Figur 4.1 för spänningar lägre än de som användes för att räkna ut den teoretiska effektutvecklingen i Tabell 4.2. Med det som bakgrund är det därför sannolikt att det som ligger till grund för de avvikande värdena är något typ av kretsfel under utvärderingen. Detta kretsfel skall alltså ha orsakat en lägre spänning över värmeelementet än den teoretiska. Kretsfelets ursprung är svårt att avgöra då det kan ha berott på flera olika faktorer, t.ex. önskad kortslutning, felaktig lödning eller rent av felkoppling.

Trots tvetydigheten hos de resultat som presenterats kan de ändå ses som indikativa för handskens funktion. Enligt argumentationen i tidigare stycke sammanstämmer sannolikt värmeutvecklingen som presenterades i Figur 4.1 med en lägre spänning över värmeelementen än den teoretiska. Detta indikerar att värmeutvecklingen med stor sannolikhet skulle vara ännu högre med en fullt fungerande krets. Därmed finns det anledning att argumentera för att kretsens design behöver revideras. Vid revidering hade det då önskats möjlighet till en lägre utstyrningsnivå. Med nuvarande implementering kan pulskvoten, för den styrande vågen, minimalt ställas till 50 %. För att uppnå lägre spänning över värmeelementet och därmed lägre effekt, krävs att pulskvoten är lägre än 50 %. Enligt ekvation 3.2 i kombination med 3.3 och 3.4 går detta inte att uppnå. Istället skulle man kunna byta ut npn-transistorn mot

en pnp-transistor. Eftersom att pnp-transistorn leder för låga nivåer på styrsignalen kommer den därmed att leda när npn-transistorn tidigare spärrade vilket vidare ger upphov till samma resultat som en lägre pulskvot hade gjort. Ett annat sätt att uppnå en lägre effektutveckling i värmeelementet hade varit genom att öka elementets resistans. Enligt Ohms lag är strömmen omvänt proportionerlig mot resistansen och ökad resistans ger därmed lägre ström vilket resulterar i en lägre effektutveckling. Denna metod är fördelaktig gentemot att byta ut transistorn då styrkretsen inte behöver modifieras vilket minskar komplexiteten som uppstår vid dimensionering av transistorn samt ommonteringen av denna.

Ytterligare en felkälla som bör diskuteras är pyrometern som användes vid testerna. Även om pyrometers påverkan är mindre signifikant i sammanhanget är den fortfarande relevant för resultatets trovärdighet. Temperaturen för de olika utstyrningarna ligger mellan ungefär 35–70 °C som lägst och ungefär 40–90 °C som högst, se Figur 4.1. Även om detta är stora intervall går det inte med säkerhet att säga ifall temperaturerna stämmer eller ej. Ett tidigare test uppmätte ännu högre temperatur än det som presenteras i Figur 4.1, på ungefär 100 °C redan efter 80 s. Testet avbröts då genast för att inte riskera några skador i handsken eller kretsen och dess komponenter. Då pyrometern fortfarande visade temperatur över 90 °C inuti handsken konstaterades dock att själva värmeelementet inte var varmt nog att skapa obehag vid beröring. Utifrån detta ifrågasattes pyrometers tillförlitlighet. Temperaturen inuti handsken konstaterades vara lägre än temperaturen hos värmeelementet då det gått för lite tid för att handsken skulle blivit uppvärmd. Möjligheten att pyrometern kommit i direkt kontakt med värmeelementet genom den tunna bomullshandsken kvarstår dock även om detta inte är troligt då pyrometern monterats på samma sätt under alla tester. Något som ytterligare stärker teorin om en felaktig pyrometer är att vid uppmätning av rumstemperatur avlästes temperaturer mellan 24–27 °C.

5.2 Utvärdering av kvalitativa resultat

Det första kravet innefattade att en lämplig behandlingsmetod skulle väljas. Värmebehandling valdes som primär behandlingsmetod på grund av att den är mest trovärdig, baserat på studierna som presenteras i avsnitt 2.1.1. Det fanns även underlag för att ha en sekundär behandlingsmetod som redogörs för i avsnitt 1.4 i studien [5]. Metoderna som undersöktes var vibrations- och TENS-behandling. Med tanke på resultaten i Jamison et al. [4] som redogörs för i avsnitt 1.4 och studierna som redovisas i avsnitt 2.1.2, finns det inte tillräckligt starkt underlag för att implementera vibrationsbehandling. Fler studier med starkare underlag för behandlingsmetodens positiva effekt skulle behövas för att det ska övervägas i arbetet. TENS-behandling, som redogörs för i avsnitt 2.1.3, har haft varierande resultat. På grund av detta går det inte att rättfärdiga behandlingsmetoden i arbetet och därför ansågs det inte lämpligt att implementera en sekundär behandlingsmetod.

Det andra kravet säger att handsken ska kunna upprätthålla en innertemperatur under behandling på minst 53 °C. I kapitel 4 presenteras data som stödjer att kravet uppfyllts. Som diskuteras i 5.1 återfinns flera felkällor till datan. På grund av den stora marginal som finns anses ändå kravets uppfyllnad trovärdigt. Det tredje kravet uppfylldes inte. Detta behandlar att den maximala uppvärmningstemperaturen på handsken inte ska vara skadlig för användaren vilket diskuteras i avsnitt 5.1.

Krav som fanns på materialet var att det skulle klara av handskens maximala temperatur. Detta uppfylls inte eftersom handskens maximala temperatur överstiger 90 °C vilket materialen inte klarar av. Däremot skulle materialen klara av den önskade maximala temperaturen. Materialvalen anses därför vara lämpliga om övriga komponenter skulle fungera som tänkt. Som presenteras i kapitel 4 uppfylls bekvämlighetskravet för handsken. De kvalitativa tester som utfördes innefattade dock endast två testpersoner och var inte heller systematiskt uppbyggda för att ge pålitliga resultat. Även om det är långt utöver detta arbetets ramar hade en större studie på fler personer kunnat lägga grunden för mer befogade val av material vilket diskuteras i 5.4.

Intervjuerna visade också bekvämlighetsaspekter som hade kunnat förbättras. Exempelvis ansåg en testperson att handskens fingrar var för långa, medan en annan tyckte att de var för trånga. Även krav nummer 6, rörlighet, bedömdes utifrån den kvalitativa undersökningen vilket leder till samma trovärdighetsproblem. Alla testpersoner anser att finmotoriska handling går att genomföra, men att det finns utvecklingsområden. En del finmotoriska rörelser bedömdes av vissa testpersoner som specifikt svåra, såsom att skriva på ett tangentbord.

Kravet som avser handskens reglering uppfylls. Resultatet i Figur 4.1 i avsnitt 4.1 visar tydligt att temperaturen förändras när användaren reglerar utstyrningen. Som diskuteras i avsnitt 5.1 behöver dock intervallet som användaren kan reglera inom sänkas markant. Handsken är försedd med en strömbrytare vilket motiverar att krav nummer 8 är uppfyllt. Däremot saknar strömbrytaren visuella indikatorer vilka hade förbättrat användarvänligheten och säkerheten. Tillsist är handskens batterihållare löstagbar. Även om kravet om löstagbarhet är uppfyllt är denna process osmidig. Lösningen för hur man tar ut batterierna hade kunnat utvecklas vilket hade förbättrat handsken.

5.3 Reglering

Den slutgiltiga handskens temperatur kom att regleras manuellt, det var alltså användaren som reglerade potentiometern. Potentiometern reglerar i sin tur 555-timern och dess pulsvidd som sedan styr transistorn och därmed ändrar värmeutvecklingen i kretsen. Tanken med detta var att potentiometern skulle begränsa temperaturutvecklingen i värmeelementet men som avsnitt 4.1 visar, var värmeutvecklingen fortfarande för hög även vid minsta utstyrningen. Som beskrevs i avsnitt 5.1 hade npn-transistorn kunnat bytas ut mot en pnp-transistor. Detta hade medfört att det, av transistorn styrda effektlödet, hade uppträtt med en pulskvot

$$D_{pnp} = 1 - D \quad (5.1)$$

där D är pulskvoten för signalen som genereras av 555-timern. Därmed hade den nuvarande potentiometers utyrning motsvarat 0–50 % istället för 50–100 %. I sin tur hade detta gjort att värmeutvecklingen aldrig kunnat bli så hög att användaren kommer till skada.

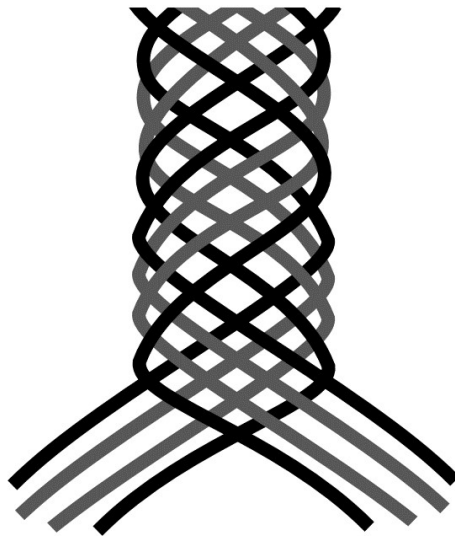
Ett alternativt sätt att reglera temperaturen hade kunnat vara genom programmering av en arduino. Arduino är en typ av liten dator med diverse tillhörande sensorer och komponenter samt relativt enkel mjukvara vilket gör den möjlig att programmera för att generera en rektangulär styrsignal. Detta hade gjort att 555-timern i kretsen kunnat ersättas. Genom att skapa ett fixt program måste dock behandlingens längd och temperaturen vara noga anpassade efter användaren, något som kanske inte är optimalt. Skulle det krävas längre behandlingstid eller mer värme under någon behandling måste programmet ändras. Det går alltså att skapa en standardbehandling i den bemärkelse att behandlingens längd och temperatur standardiseras. Man måste sedan ändra detta varje gång man önskar ändra något gällande behandlingen. Beroende på hur arduinon programmeras går det även att ansluta ett reglage som ger samma effekt i kretsen som potentiometern gör i kretsen med 555-timern.

5.4 Utvärdering av material

De innersta och yttersta materialen som utgör den tunna innerhandsken och den komprimerande ytterhandsken köptes in som färdiga produkter. Valet gjordes för att spara tid och för att handsken skulle kunna passa bra på två olika testpersoner samtidigt. För att göra handsken bättre hade den inre och yttre handsken kunnat specialtillverkas för en specifik testperson. En individanpassad handske hade medfört bättre passform som i sin tur hade kunnat medföra en bättre och effektivare behandling vilket diskuteras i avsnitt 5.2.

5.5 Utvärdering av värmeelementet

Flera olika metoder för att linda och placera nikromtråden diskuterades. För att värma upp fingret till önskad temperatur krävdes att en tillräckligt stor yta täcktes samt att tråden blev tillräckligt varm. Trådens utformning behövde också tillåta så stor rörlighet som möjligt. Till sist behövde det också finnas ett bra sätt att fästa tråden i handsken. Att till exempel använda sig av en platt trådfläta ger en stor uppvärmningsyta, men också en stor rörlighetsförlust. Se Figur 5.1 för ett exempel på hur en platt fläta kan se ut och konstrueras.



Figur 5.1: Exempel på hur en 8-trådad platt fläta kan konstrueras av tråd.

En spiralformad tråd diskuterades också, men det ger vissa rörlighetsproblem vid lederna och det blir även svårare att sluta kretsen när tråden ska dras tillbaka längs fingret. Ytterligare en trådaspekt som hade kunnat ändras är tjockleken på tråden. En tjockare tråd har möjligheten att värma upp ett större område men är betydligt svårare att forma då den är mindre böjlig. Alternativt hade även en platt ledande metallskena kunnat användas istället för en tråd. En fördel med detta hade varit att en större yta hade blivit varm och i sin tur värmt upp leden bättre. Däremot hade metallskenan påverkat rörligheten och gjort det svårt att röra fingret.

Olika metoder att fästa nikromtråden undersöktes under projektets gång. Den valda metoden var att sy fast nikromtråden för hand med hjälp av bomullstråd. Det positiva med denna metod var att man kunde garantera att fästningen av tråden inte skulle försämrans under uppvärmningen samt möjligheten att bibehålla rörligheten på handsken. Kraven som fanns på bomullstråden var att den skulle hålla under höga temperaturer samt vara tillräckligt tunn för att vara smidig att sy med. När undersökning av sytråd gjordes ansågs vanlig bomullstråd uppfylla dessa krav. Nackdelen med den valda metoden var att det tog lång tid. Något som hade gjort denna process snabbare hade kunnat vara att sy fast tråden med hjälp av en symaskin.

En alternativ metod för att fästa nikromtråden hade kunnat vara tejp. Tejp kunde vara ett bra alternativ på grund av att det hade tagit mycket mindre tid att fästa tråden jämfört med att sy för hand. Problem som finns med tejp är att klistret måste fästa bra på tyg och hålla under höga temperaturer. Genom att använda isolerande tejp hade det nuvarande isolerande materialet i handsken ersatts. Detta hade kunnat spara både tid och pengar samt minska på komplexiteten av handsken då färre material hade behövts. Även vart tråden sys fast på handsken hade kunnat individanpassas. Olika personer har olika långa och stora fingrar och därför kommer DIP-leden vara olika bred och sitta olika långt ut från handflatan. Handsken som togs fram i detta projekt är generell och inte anpassad för en specifik person och därför sitter inte tråden optimalt för användaren. För att utveckla handsken hade trådens utformning kunnat individanpassas för att passa en specifik person och på så sätt bidra till en effektivare behandling.

5.6 E-textiler

Ett område som inte diskuterats i arbetet är e-textiler, eller elektroniska textiler. Artroshandsken i detta arbete skulle till viss del kunna klassificeras som en e-textil, men det finns ett stort antal tekniker som hade kunnat implementeras i handsken. Vad som skiljer artroshandsken i detta arbete åt från typiska e-textiler är hur inbyggd elektroniken är. I en typisk e-textil är elektriska komponenter mer insydda i plagget exempelvis med hjälp av ledande sytråd, optiska komponenter eller LED-slingor.

Mikučionienė och Repon [28] undersöker rörliga uppvärmande elektroniska textiler och hur utvecklingen av dessa såg ut 2021. Mikučionienė och Repon drar slutsatsen att det krävs vidare forskning och studier för storskalig implementering av uppvärmning i tyg. Dock rör många av problemen som identifieras storskalig produktion och är inte lika kritiska för detta arbete. Exempelvis är rengöring av e-textiler problematiskt då detta kan påverka de elektriska komponenterna och försämra deras funktion. I detta arbete har tvättningsmöjligheter utslutits som ett krav på handsken.

Oavsett finns det stor potential att utveckla användarvänligheten och funktionen hos artroshandsken med hjälp av insydda elektriska komponenter. Strömledande sytråd skulle kunna förenkla integreringen av uppvärmningsfunktionalitet till olika delar av handsken. Sådan sytråd är betydligt mer flexibel än den valda nikromtråden som dessutom måste sys på efter att vald formgivning har genomförts. Sensorer är en annan vanlig komponent i e-textiler och hade kunnat implementeras för att mäta temperaturen i fingret. Detta hade möjliggjort en annan typ av värmereglering som kan fungera automatiskt. Till sist bör man inte bortse från den estetiska aspekten som mer inbyggda komponenter kan förbättra markant. Man kan argumentera för att handsken hade sett mer ut som en färdig produkt om trådar, kretsar och dylikt var mindre synliga.

5.7 Alternativa uppvärmningsmetoder

Användning av resistiv tråd av t.ex. nikrom eller kanthal (FeCrAl) är en enkel och välbeprövad metod för uppvärmning. Tillsammans med dess relativt låga kostnad låg det till stor del grund för att metoden valdes. Ett alternativ till rent resistiv tråd hade kunnat vara en kombination mellan resistiv tråd och en termistor. En termistor är, enkelt beskrivet, en resistor vars resistans är temperaturberoende och för en termistor av typen PTC (positiv temperaturkoefficient) ger en ökad temperatur en ökad resistans. Termistorns resistans ökar succesivt med temperaturen för att vid en viss temperatur öka markant. Tack vare denna karakteristik gör termistorn att strömmen i stort sätt stryps vid en viss temperatur, vilket hade garanterat handskens säkerhet. För att termistorn ska fylla denna funktion krävs att dess arbetsintervall överensstämmer med önskad specifikation. Det typiska arbetsintervallet för en termistor ligger mellan 60–120 °C och är alltså betydligt högre än de temperaturer som önskas i handsken. Därmed hade det sannolikt behövts en specialtillverkad termistor vilket kan medföra höga kostnader.

Det finns möjligheter att utöka uppvärmningsområdet till andra delar av handen. Ett sådant alternativ diskuterades tidigt i arbetet och det föreslogs att tillämpa en lägre grunduppvärmning på handflatan och övriga fingrar medan det artrosdrabbade fingret skulle erhållas högre temperatur. Det är möjligt att denna metod hade gett upphov till effektivare uppvärmning och eventuellt även försämra kroppens möjlighet att kyla ner fingret med hjälp av ökad blodtillförsel.

5.8 Val av spänningskälla

Under merparten av projektet planerades att använda en powerbank för att driva den elektriska kretsen. Motivering bakom det var att en powerbank ansågs vara enkel att använda, säker och lättillgänglig. Utöver det levererar en typisk powerbank en spänning på 5 V, vilket var inom ramarna för önskad specifikation. Med det som bakgrund, i kombination med goda resultat från utförda tester med 5V, inhandlades en powerbank med en kapacitet på 5000 mAh.

Vid inkoppling i kretsen tillsammans med senare tester levererade dock powerbanken endast 2.5 V, det vill säga hälften av specifikationen. Denna spänning var för låg för att driva 555-timern och än mindre förse önskad effekt för uppvärmning. Anledningen till denna anomali är för projektet okänd, trots utförlig efterforskning på potentiella anledningar. Till följd av detta tvingades designen revideras till att istället använda 4 seriekopplade AA-batterier, vilket både gav fördelar och nackdelar.

Den enda fördelen med att använda AA-batterier istället för en powerbank var att de kunde förse en något högre spänning på 6 V. Den högre spänningen möjliggjorde en ökad effektutveckling om så önskades. Det visade sig dock snarare vara en nackdel eftersom att temperaturutvecklingen var för hög. Den ökade effektdisponeringen i

kombination med att AA-batterierna har en lägre kapacitet än en powerbank på 5000 mAh, orsakade samtidigt att den möjliga behandlingstiden förkortades. Hur stor effekt det har är dock debaterbart då kapacitetsskillanden inte utgör något problem för den tänkta behandlingstiden på ca 20 min. Kapacitetsskillanden mellan AA-batterierna och powerbanken gör att batterierna måste laddas/bytas oftare än powerbanken. Detta utgör en uppenbar olägenhet för användaren och kan dessutom i de fall när icke laddningsbara batterier används, orsaka en miljöpåverkan.

5.9 Samhälleliga och etiska aspekter

Ur ett utomvetenskapligt perspektiv är det i huvudsak gruppen av människor med artros som berörs av detta projekt. Testpersonerna som har deltagit i projektet har informerats om varför och hur projektet kommer genomföras för att inte inskränka på deras autonomi och integritet. Handsken kontrollerades noggrant innan testpersonerna provade produkten. Handledaren, Robert Karlsson, fick testa handskens värmande funktion under handskens utveckling. Robert anses vara tillräckligt erfaren med tanke på hans expertis inom området för att fullt ut kunna förstå vad testerna innebar och dess risker. Efter att handsken visade sig kunna uppnå skadliga temperaturer testades aldrig den värmande funktionen på människor.

Under den teoretiska processen granskades källor noggrant för att säkerställa att endast pålitlig kunskap publicerades i projektet. Utbudet av redan utvecklade artros-handskar undersöktes grundligt för att undvika plagiat och imitation. Under design och konstruktion samt test- och utvärderingsdelen av genomförandet var säkerhet, både för gruppen som tar fram handsken men även testpersonerna, en viktig aspekt. Eftersom att produkten innehåller elektriska komponenter gjordes en ordentlig faktaundersökning innan projektets början för att minimera riskerna för personskada. En stor risk vid användning av elektriska komponenter var att brand kunde uppstå. För att säkerställa att en brandsäker produkt togs fram tillverkades handsken i icke brandfarliga material. De valda metoderna i projektet innefattade följande delar: en teoridel där medicinsk kunskap, elektronisk kunskap samt materialkunskap studeras. En design och konstruktions fas samt test och utvärdering.

6

Slutsats

De resultat som presenterats tillsammans med diskussionen kring dessa indikerar att det är konceptuellt möjligt att konstruera en elektriskt uppvärmande handske. Den metod som använts för värmereglering bedöms vara fungerande men implementeringen lämnar stort utrymme för vidareutveckling. Resultaten som presenterats kan endast användas för att dra slutsatser kring handskens uppvärmande funktion men kan inte ligga till grund för slutsatser gällande behandlingsförmågan. Anekdotiska resultat för handskens behandlingsförmåga ger dock indikation för detta. För att dra mer välgrundade slutsatser om behandlingsförmågan krävs omfattande kliniska studier, vilka ligger utanför ramarna för detta projekt. Avslutningsvis anses projektets huvusyfte, att utveckla en säker uppvärmande handske, vara delvis uppfyllt.

Referenser

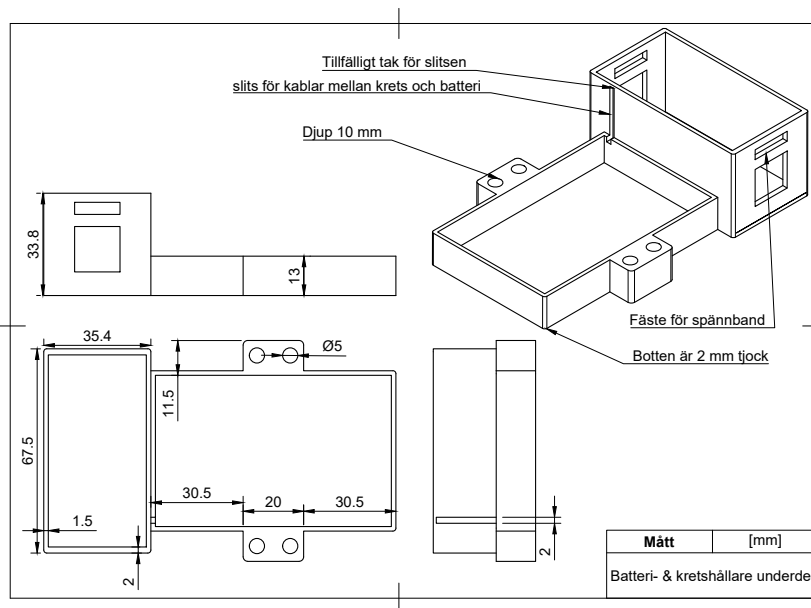
- [1] E. Martinez. "Artros - ledsvikt," Västragötalands region. (2021), URL: <https://www.1177.se/Vastra-Gotaland/sjukdomar--besvar/skelett-leder-och-muskler/leder/artros---ledsvikt/> (hämtad 2023-02-02).
- [2] Y. Zhang, J. Niu, M. Kelly-Hayes, C. E. Chaisson, P. Aliabadi och D. T. Felson, "Prevalence of symptomatic hand osteoarthritis and its impact on functional status among the elderly: The Framingham Study," *American journal of epidemiology*, vol. 156, nr 11, ss. 1021–1027, 2002.
- [3] A. Hammond och Y. Prior, "Arthritis glove provision in rheumatoid arthritis and hand osteoarthritis: A survey of United Kingdom rheumatology occupational therapists," *Hand Therapy*, vol. 27, nr 1, ss. 3–13, 2022.
- [4] R. N. Jamison, A. Mei, R. R. Edwards och E. L. Ross, "Efficacy of vibrating gloves for chronic hand pain due to osteoarthritis," *Pain Medicine*, vol. 19, nr 5, ss. 1044–1057, 2018.
- [5] M. Morcos och A.-A. Golrokhian-Sani, "Automated Cold, Compression, and Heat Gloves for Arthritis: A Proposal for Combination Therapy," *Aging and (Geron) Technology*, vol. 1, nr 1, 2023.
- [6] Brownmed, *Therapy Gloves*, Besökt 2023-03-28, 2022. URL: <https://www.brownmed.com/product/intellinetix/vibrating-gloves/>.
- [7] Hestra, *Tactility Heat Liner 5-finger*, Besökt 2023-03-28, 2022. URL: <https://www.hestragloves.se/tactility-heat-liner-5-finger-charcoal>.
- [8] Minitech, *Värmehjälpmedel*, Besökt 2023-03-28, 2023. URL: <https://minitech.se/sv/v%C3%A4rmehj%C3%A4lpmedel.html>.
- [9] "Artros i fingrarna – symtom, diagnos & behandling," Joint Academy. (2022), URL: https://www.jointacademy.com/se/sv/fakta/diagnos/artros-i-fingrarna/?fbclid=IwAR0Ub2BAJwY0alnbDDwSyZEKVCfNwYsZWmvY0ix-HpUVANvV4Aa_x0UEm0k (hämtad 2023-03-15).
- [10] J. Power. "Hjälpmedel vid artros," Lunds universitet. (2022), URL: <https://www.artrosportalen.lu.se/behandlingar-vid-artros/hjalpmedel-vid-artros> (hämtad 2023-02-02).
- [11] A. Öncel, S. Küçükşen, H. Ecesoy, E. Sodali och Ş. Yalçın, "Comparison of efficacy of fluidotherapy and paraffin bath in hand osteoarthritis: A randomized controlled trial," *Archives of Rheumatology*, vol. 36, nr 2, s. 201, 2021.
- [12] T. M. Skirven, A. L. Osterman, J. Fedorczyk och P. C. Amadio, *Rehabilitation of the hand and upper extremity, 2-volume set, 6th ed.* Elsevier Health Sciences, 2011, ss. 1557–1558.
- [13] S. Karadağ, S. Taşci, N. Doğan, H. Demir och Z. Kiliç, "Application of heat and a home exercise program for pain and function levels in patients with

- knee osteoarthritis: A randomized controlled trial,” *International Journal of Nursing Practice*, vol. 25, nr 5, ss. 5–7, 2019.
- [14] S. L. Kolasinski, T. Neogi, M. C. Hochberg m. fl., ”2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee,” *Arthritis & Rheumatology*, vol. 72, nr 2, ss. 220–233, 2020.
- [15] B. Dilek, M. Gözüml, E. Şahin m. fl., ”Efficacy of Paraffin Bath Therapy in Hand Osteoarthritis: A Single-Blinded Randomized Controlled Trial,” *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 94, nr 4, ss. 642–649, 2013, ISSN: 0003-9993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.11.024>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999312011264>.
- [16] P. Wang, X. Yang, Y. Yang m. fl., ”Effects of whole body vibration on pain, stiffness and physical functions in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis,” *Clinical rehabilitation*, vol. 29, nr 10, ss. 939–951, 2015.
- [17] J. Power. ”Alternativa behandlingar,” Lunds universitet. (2021), URL: <https://www.artrosportalen.lu.se/behandlingar-vid-artros/alternativa-behandlingar> (hämtad 2023-02-02).
- [18] C. Mannheimer, S. Lund och C. Carlsson, ”The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on joint pain in patients with rheumatoid arthritis,” *Scandinavian journal of rheumatology*, vol. 7, nr 1, ss. 13–16, 1978.
- [19] A. Davis och C. MacKay, ”Osteoarthritis year in review: outcome of rehabilitation,” *Osteoarthritis and Cartilage*, vol. 21, nr 10, ss. 1414–1424, 2013, ISSN: 1063-4584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joca.2013.08.013>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1063458413009163>.
- [20] L. Brosseau, K. Yonge, V. Welch m. fl., ”Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for the treatment of rheumatoid arthritis in the hand,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, nr 2, 2003, ISSN: 1465–1858. DOI: 10.1002/14651858.CD004377. URL: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004377>.
- [21] J. Sun, ”Pulse-Width Modulation,” i *Dynamics and Control of Switched Electronic Systems: Advanced Perspectives for Modeling, Simulation and Control of Power Converters*, F. Vasca och L. Iannelli, utg. London: Springer London, 2012, ss. 25–61, ISBN: 978-1-4471-2885-4. DOI: 10.1007/978-1-4471-2885-4_2. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2885-4_2.
- [22] S. Hosseini Ravandi och M. Valizadeh, ”2 - Properties of fibers and fabrics that contribute to human comfort,” i *Improving Comfort in Clothing*, ser. Woodhead Publishing Series in Textiles, G. Song, utg., Woodhead Publishing, 2011, ss. 61–78, ISBN: 978-1-84569-539-2. DOI: <https://doi.org/10.1533/>

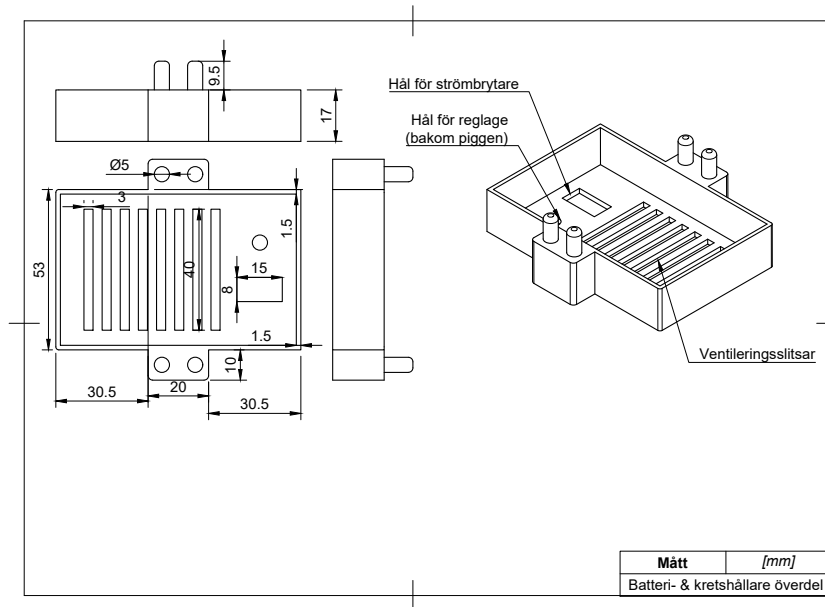
- 9780857090645.1.61. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845695392500028>.
- [23] Y. Yang, *Thermal Conductivity: Datasheet from · Volume : “Physical Properties of Polymers Handbook” in SpringerMaterials* (https://doi.org/10.1007/978-0-387-69002-5_10), J. E. Mark, utg., accessed 2023-05-08. URL: https://materials.springer.com/lb/docs/sm_nlb_978-0-387-69002-5_10.
- [24] R. Mather, ”Chapter 6 - Synthetic Textile Fibres: Polyolefin, Elastomeric and Acrylic Fibres,” i *Textiles and Fashion*, ser. Woodhead Publishing Series in Textiles, R. Sinclair, utg., Woodhead Publishing, 2015, ss. 115–138, ISBN: 978-1-84569-931-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00006-4>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845699314000064>.
- [25] Sverigeskonsumenter, *Hållbara materialskolan*, Besökt 2023-05-08, 2017. URL: <https://www.sverigeskonsumenter.se/vad-du-kan-gora/konsumera-hallbart/schysstare-klader/hallbara-materialskolan/>.
- [26] ElectricianExp.com, *Vad är nichromtråd, dess egenskaper och användningsområden*, Besökt 2023-04-28, 2019. URL: <https://know.electricianexp.com/sv/knowledgebase/chtotakoe-nihromovaya-provoloka>.
- [27] *xx555 Precision Timers*, SLFS022I, Texas Industries, 2014. URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/se555.pdf?ts=1680613226981&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fwww.ti.com%5C%252Fproduct%5C%252FSE555.
- [28] M. R. Repon och D. Mikučionienė, ”Progress in Flexible Electronic Textile for Heating Application: A Critical Review,” *Materials*, vol. 14, nr 21, 2021, ISSN: 1996-1944. DOI: 10.3390/ma14216540. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6540>.

A

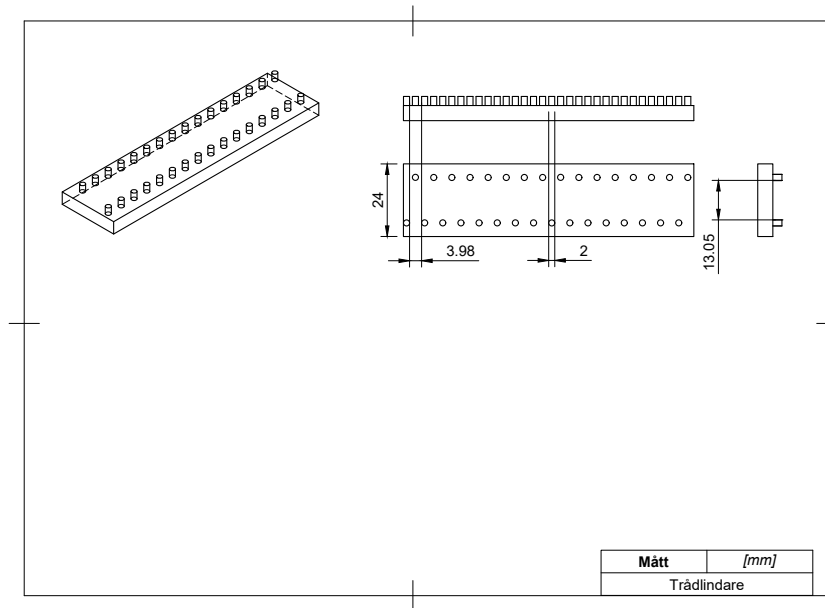
Ritningar



Figur A.1: Ritningar



Figur A.2: Ritningar



Figur A.3: Ritningar

B

Intervju guide och transkriberad text

B.1 Intervju guide

Testpersonen informeras om följande:

- Ungefärlig tid intervjun kommer vara (ca. 5 min)
- Deltagande är frivilligt.
- Det går att avsluta intervjun när som helst.
- Testpersonen behöver inte svara på frågor.
- Syftet med arbetet och intervjun.
- Noggrant förklara att handsken inte är uppkopplad med ett batteri så den kommer inte användas enligt handskens huvudsyfte under intervjun.
- Testpersonens svar kommer att transkriberas och användas som underlag för en utvärdering av handsken.

Efter att testpersonen är informerad, så ska ett muntligt medgivande från testpersonen om att de godkänner att delta i intervjun. Svarar testpersonen ja, så kan intervjun börja.

Testpersonen ombeds att ta på sig handsken.

Följande frågor ställs en i taget:

- Fråga 1: Hur upplever du handskens bekvämlighet?
- Fråga 2: Hur upplever du din rörlighet i handen och fingrarna när du har på

dig handsken?

- **Fråga 3:** Hur tycker du handskens passform passar dina fingrar och din hand?

Testpersonen ombeds ta av sig handsken, sedan ställs ännu en fråga:

- **Fråga 4:** Upplever du att det är lätt eller svårt att trä på och av dig handsken?

Testpersonen tackas för deltagandet och intervjun avslutas.

B.2 Transkriberade svar från intervjun

Testperson 1:

- **Fråga 1:** God bekvämlighet, den är mjuk och stretchig. Den sitter tightare än en skidhandske eller vante"
- **Fråga 2:** "Rörligheten är lite begränsad, men överlag så skulle jag kunna greppa och kanske till och med skriva med en penna."
- **Fråga 3:** "Den sitter bra, slm jag sa tidigare så är den lite tightare än en skidhandske."
- **Fråga 4:** "Den är lite krånglig att ta på sig med tanke på att den har en rätt tight passform, men den är betydligt lättare att ta av sig för man kan hålla i fingrarna och dra av den."

Testperson 2:

- **Fråga 1:** "Det är mjuk och behagligt material, säger jag på den."
- **Fråga 2:** "Jag upplever den som bra, lite sämre i långfingret."skriva med en penna."
- **Fråga 3:** "Fingrarna är lite långa på mig, och så sitter den lite löst runt handleden."
- **Fråga 4:** "Chassit gör det lite klumpigt att ta av och på."

Testperson 3:

- **Fråga 1:** "Materialet känns bra, det ligger bekvämt mot huden. Passformen för mina fingrar känns inte helt rätt, annars känns den skön. Den sitter bra storleksmässigt för mig."
- **Fråga 2:** " Jag tycker att alla fingrar känns ungefär lika rörliga, jag hade

haft svårt att skriva på ett tangentbord, men jag tänker att man lätt kan använda verktyg, det känns typ som vilken handske som helst, den är inte mer begränsande än så. Den är lite tung."

- **Fråga 3:** "Ärmen sitter bra och handsken sitter bra fram till handflatan. Men fingrarna är lite för små. Tummen känns konstig."
- **Fråga 4:** " Handsken var lite svår att ta på med tanke på att paketet sitter på handsken hela tiden, handsken var enkel att ta av, där påverkade inte paketet någonting."