

# Optimized weldbonding for lighter material design - BONDLIGHT

Publik rapport



Författare: David Löveborn  
Datum: 2021-12-13  
Projekt inom FFI – Hållbar Produktion

**FFI** Fordonsstrategisk  
Forskning och  
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

SCANIA

VOLVO

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Executive summary in English.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Bakgrund.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Syfte, forskningsfrågor och metod .....</b>	<b>5</b>
<b>5 Mål .....</b>	<b>7</b>
<b>6 Resultat och måluppfyllelse .....</b>	<b>7</b>
<b>7 Spridning och publicering .....</b>	<b>23</b>
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	23
7.2 Publikationer .....	23
<b>8 Slutsatser och fortsatt forskning .....</b>	<b>24</b>
<b>9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....</b>	<b>25</b>

## Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi).

# 1 Sammanfattning

Det finns ett stort behov av att öka möjligheterna att kombinera punktsvetsning (RSW) och limning för tunna avancerade material för att på så vis kunna designa och konstruera nya komponenter med produkter med högre kvalitet och minskad vikt. Punktsvetsning och limning är två mycket vanliga fogningsmetoder i fordonsindustrin, båda processerna är kostnadseffektiva, har låg miljöbelastning och är relativt robusta för konventionella material och materialkombinationer. Att kombinera de båda metoderna medför ytterligare fördelar då det leder till förbättrade egenskaper med avseende på styrka, styvhet, korrosionsmotstånd och utmattningslivslängd i förbandet. Dock innebär kombinationen av de båda metoderna viss problematik då appliceringen av en limsträng mellan plåtarna försämrar svetsbarheten hos förbandet. Detta har i vissa fall lett till att man tvingas konstruera komponenter och produkter med tjockare, och mindre avancerade material då dessa generellt sett är lättare att svetsa, vilket i sin tur leder till ökad komponentvikt, ökat materialuttag och högre CO<sub>2</sub>-utsläpp. En ökad kunskap för hur limmet påverkar svetsprocessen, och hur svetsprocessen bör optimeras med avseende på limmets och de ingående materialens egenskaper ökar möjligheterna att konstruera och tillverka komponenter och produkter med högre kvalitet och minskad miljöpåverkan.

Projektet har utvärderat hur limmets egenskaper och beteende påverkar svetskvaliteten och processtabiliteten, samt hur olika svetsprocessparametrar bör justeras för att skapa en så robust och repeterbar process som möjligt. Djupgående undersökningar har gjorts i projektet för att undersöka hur faktorer som fuktighetsgrad och temperatur påverkar egenskaper som resistivitet och viskositet hos limmet och kopplat detta till processtabilitet och svetskvalitet. Projektet har också gjort en noggrann utvärdering av hur olika svetsparametrar, som exempelvis anläggningstid och elektrodkraft, påverkar svetskvaliteten i limmade förband, och hur dessa bör justeras vid kombinerad punktsvetsning och limning för att uppnå en så stabil process som möjligt för nya, tunna och avancerade material.

Resultaten från projektet visar att det är möjligt att öka svetsbarheten i limmade förband genom att justera vissa av processinställningarna. Främst bidrar en förlängd anläggningstid och en extra förpuls till att öka svetsbarheten. Även en förhöjd elektrodkraft kan i vissa fall leda till en mer stabil process. Projektet har också visat att en förhöjd fuktighetsgrad i limmet leder till ett försämrat svetsresultat, och att en högre temperatur i limmet har positiv inverkan på processtabiliteten och svetskvaliteten. Sammantaget har projektet resulterat i kunskap som möjliggör ökad användning av kombinerad punktsvetsning och limning för avancerade material och materialkombinationer. Det är dock viktigt att poängtera att de processjusteringar som visat sig ha störst positiv inverkan på svetsbarheten medför ökade cykeltider, och till viss del ökat slitage på utrustning, vilket innebär att användning av de processjusteringar som föreslås i rapporten endast bör nyttjas vid fall där svetsning med standardinställningar inte resulterar i uppnådda krav på svetskvalitet och processtabilitet.

Projektet leddes av Swerim och genomfördes i nära samverkan med RISE, Scania, Volvo Cars, Modul-System och Svetsrådet. Projektgruppen har både djup och bred kunskap inom områdena punktsvetsning, limning, produktion och material, vilket har varit en förutsättning för ett framgångsrikt projekt. Projektet har pågått i 2,5 år och har haft en sammanlagd budget på 5,6 MSEK, varav 2,8 MSEK från Vinnova.

## 2 Executive summary in English

There is a great need for increased usability of combined resistance spot welding (RSW) and adhesive bonding, known as weldbonding, for thin, advanced materials in order to enable design and construction of new components and products with increased quality and decreased weight. RSW and adhesive bonding are two commonly used joining methods in the automotive industry. The two methods are both cost efficient, environmentally friendly and relatively robust for conventional material and material combinations. A combination of the methods entails further advantages such as increased strength, stiffness, corrosion resistance and fatigue life in the joint. However, combining adhesive bonding with resistance spot welding leads to decreased weldability due to the insulating layer in the joint caused by the adhesive bead. The decreased weldability does in some cases lead to the use of thicker, and less advanced materials, due to the higher weldability of such materials. Which in turn leads to increased weight and a larger environmental impact. An increased knowledge regarding how the adhesive impacts the weldability, and how the RSW-process should be optimized with respect to adhesive- and material properties increases the possibilities to design and produce components and products with increased quality and decreased environmental impact.

The project has evaluated how the adhesive properties and behavior affect the weld quality and process robustness, and how the weld process and process parameters should be set up in order to optimize the weldability of adhesively bonded joints. Extensive investigations were performed in order to understand how factors such as humidity and temperature affects adhesive properties, such as resistivity and viscosity, and analyzed the impact of these factors on process robustness and weld quality. The project has also investigated how different process parameters, such as squeeze time and electrode force, affects the weld quality, and analyzed how these parameters should be adjusted for adhesively bonded joints in order to optimize the process robustness for new, thin, and advanced materials.

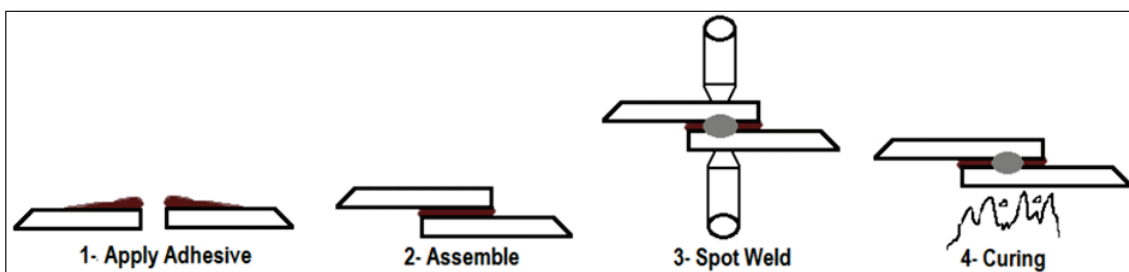
The results from the project show that it is possible to increase the weldability of adhesively bonded joints through relevant adjustments of the process parameters. It is seen that a prolonged squeeze time and the use of an extra pre-pulse has the largest positive impact on the weldability. Also, an increased electrode force can lead to improved results in some cases. The project has shown that an increased humidity of the adhesive decreases the weldability of the joint, and that an increased adhesive temperature improves the results. The project has resulted in increased knowledge which will enable increased use of weldbonding for advanced materials and material combinations. However, it is important to state that the adjustment of the process parameters which shows the largest potential for increased weldability also results in increased cycle times, and to some extent increased wear of equipment, which means that such adjustments of the process parameters should be used only when the requirements regarding weld quality and process robustness is not achieved using standard parameters.

The project was managed by Swerim and carried out in close collaboration with RISE, Scania, Volvo Cars, Modul-System and Svetsrådet. The project group has deep and broad knowledge in the areas of RSW, adhesive bonding, production technology and materials, which has been a prerequisite for successful project. The project has run for 2,5 years with a total budget of 5,6 MSEK, of which 2,8 MSEK from Vinnova.

### 3 Bakgrund

För att minska utsläpp och miljöpåverkan, samt uppnå ökad produktkvalitet och krocksäkerhet i morgondagens fordon strävar fordonsindustrin mot en ökad användning av nya, mer avancerade lättviktsmaterial. För att öka användningen av denna typ av material krävs flexibla, robusta och produktionsanpassade tillverkningsprocesser. Två sådana metoder är punktsvetsning och limning, kombinerade kända som *weldbonding*.

Det är sedan länge känt att tunnare ultrahöghållfasta material är svåra att punktsvetsa med godkänt resultat avseende svetskvalitet och processtabilitet jämfört med mer konventionella material. Utvecklingen inom området går dock framåt, och tack vare ökade kunskaper om hur olika material och ytbeläggningar beter sig under sammanfogning har processen utvecklats och möjliggjort användning av tunnare och starkare material. Dock återstår mycket forsknings- och utvecklingsarbete för att kunna säkerställa fullgoda förband i avancerade höghållfasta materialkombinationer [1]. I många fall är det önskvärt att kombinera punktsvetsning med limning då det leder till förbättrade egenskaper i förbandet gällande styrka, styvhet, utmattningslivslängd och korrosionsmotstånd. Dock medför kombinationer av dessa metoder vissa ytterligare processtekniska problem. En schematisk illustration av stegen i processen kan ses i Figur 1.



Figur 1. Schematisk illustration av processen för kombinerad RSW och limning.

I de två första stegen appliceras limmet varefter de två plåtarna pressas samman. I steg tre svetsas plåtarna samman genom punktsvetsning och i det fjärde steget härdas limmet. Då limsträngen appliceras försämras den elektriska ledningsförmågan i förbandet, samtidigt som variationer i limmets utbredning kan förekomma, dessa båda faktorer försämrar möjligheterna att uppnå kraven för svetskvalitet och processtabilitet [2].

Då det i många fall inte varit möjligt att uppnå kraven på svetskvalitet och processtabilitet vid fogning av avancerade höghållfasta material tvingas man använda sig av tjockare material med lägre hållfasthet, då dessa är lättare att svetsa, alternativt att man väljer att fog med endast punktsvetsning, utan lim i förbandet. Vilket i sin tur leder till ökad komponent och produktvikt eller försämrade förbandsstyrka. Att undersöka och utvärdera hur RSW-processen optimeras med avseende på limegenskaper samt hur limmet beter sig under punktsvetsprocessen har därför varit fokus i detta projekt för att möjliggöra lättare komponenter, stabila fogningsprocesser och högkvalitativa fogar.

### 4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet har siktat mot att kartlägga vilka faktorer och parametrar som har störst inverkan på svetskvalitet och processtabilitet vid weldbonding, kombinerad punktsvetsning och limning. Målet med denna kartläggning har varit att skapa en guideline för optimering av punktsvetsprocessen med avseende på svetskvalitet och processtabilitet utifrån ingående material (materialkvalitet, tjocklekar och beläggningar) och limmer. Projektet har använt befintlig utrustning i industrin för öka användbarheten av den guideline som tagits fram i projektet och för att underlätta implementering. Det övergripande målet med projektet har varit att möjliggöra kombinerad

punktsvetsning och limning av nya, avancerade material och materialkombinationer som idag inte anses vara möjliga att fogas med denna hybridfogningsmetod. Därigenom möjliggörs minskad komponent- och produktvikt med bibehållen, eller i vissa fall till och med ökade, hållfasthetsmässiga egenskaper. Att möjliggöra fogning av den här typen av materialkombinationer genom weldbonding löser ett av de stora produktionstekniska problemen i dagen fordonsindustri utan att medföra stora kostnader gällande investeringar i nya, mindre flexibla utrustningar.

Det stora problemet vid punktsvetsning av limmade förband är att uppnå kraven på svetskvalitet och processtabilitet trots den kraftiga försämringen i elektrisk ledningsförmåga som orsakas av limsträngen.

Forskningsfrågorna i projektet har varit:

- Hur kan punktsvetsprocessen modifieras för att öka svetsbarheten av limmade förband
- Hur beter sig limmet under svetsprocessen, och hur påverkar det slutgiltigt svetskvaliteten
- Hur påverkar limegenskaperna svetsprocessen
- Hur påverkas svetsbarheten av fuktupptag och temperatur hos limmet
- Krävs det metall-metallkontakt mellan plåtarna för att uppnå kraven på svetskvalitet

I projektet har ingått:

- Utförliga svetsförsök där olika relevanta parametrar har varierats för att undersöka deras individuella och interagerande inverkan på svetskvaliteten och processtabiliteten
- Undersökningar av hur limmets egenskaper, så som viskositet, påverkar dess beteende under svetsningen och sedermera den slutliga svetskvaliteten
- Undersökningar av hur limmets fuktighetsgrad och temperatur påverkar dess beteende möjligheten att uppnå krav på svetskvalitet och processtabilitet

Projektet har arbetat i fem arbetspaket (AP). I AP1 "Definition av materialkombinationer och limmer" har relevanta material och limmer valts ut för att inkluderas i de tester och experiment som utförts i projektet. I detta AP har även övriga faktorer som ska tas med i de olika undersökningarna diskuterats och valts ut. De diskussioner och projektmöten som hållits inom AP1 har resulterat i en första testmatris för svetsförsöken, samt en plan för vilka ytterligare försök och utvärderingsmetoder som har inkluderats i projektet. Resultaten i AP1 har legat till grund för det arbete som utförts i AP2 "Undersökning av limegenskaper" och AP3 "Fogningsförsök och utvärdering". I AP2 har experiment och utvärdering av relevanta limegenskaper och limmets beteende under svetsprocessen utförts. Målet med detta arbete har varit att skapa en ökad förståelse för vilka av limmets egenskaper som har störst inverkan på processtabiliteten och den slutliga svetskvaliteten i förbandet. I AP3 har en omfattande försöksserie utförts för att kartlägga vilka faktorer och parametrar (processinställningar, limegenskaper, utrustningstekniska faktorer) som har störst påverkan på svetsprocessen. Den första delen av testningen utgjordes av en testmatris bestående av de faktorer och parametrar som projektgruppen gemensamt kommit fram till att vara de mest relevanta. Resultaten från denna testning låg sedan till grund för den fortsatta testning som utförts i projektet där vissa faktorer kunnat tas bort då de inte visat någon inverkan på resultaten och vissa andra faktorer studerats mer på djupet. I AP4 "Processoptimering och validering på komponent" resultaten från de tidigare försöken i projektet utvärderats och validerats på en komponentlik demonstrator i form av en hattprofil. AP5 "Projektledning och kunskapsspridning" har ansvarat för regelbundna projektmöten, kunskapsspridning och rapportering.

Projektet har genomfört ett lyckat examensarbete på mastersnivå. Projektet hade som mål att genomföra ytterligare ett examensarbete, men på grund av rådande omständigheter under pågående pandemi har det tyvärr inte varit möjligt.

## 5 Mål

De överordnade målen för projektet var:

- **Minskad vikt och CO<sub>2</sub>-utsläpp:** Möjliggöra att tunnare och mer avancerade material sammanfogas med weldbonding och på så vis sänka vikten på komponenter och produkter.
- **Effektivare produktion och minskad mängd reparationer:** Skapa förutsättningar för att öka processtabiliteten för punktsvetsning av limmade förband och på så vis minska mängden underkända svetsar i produktion.
- **Ökad konkurrenskraft:** Viktreduktion och ökade möjligheter att konstruera och designa komponenter och produkter utifrån lättviktsdevisen "rätt material på rätt plats".

Nedbrutna mål för projektet var:

- Öka förståelsen för vilka faktorer, process- och materialrelaterade, som har störst inverkan på svetsprocessens robusthet vid punktsvetsning av limmade förband
- Undersöka och utvärdera vilka förutsättningar som krävs för att möjliggöra högkvalitativ och repeterbar punktsvetsning av limmade förband
- Generera kunskap om hur punktsvetsprocessen av limmade förband optimeras med avseende på processtabilitet med avseende på ingående material och lim
- Demonstrera hur en optimerad punktsvetsprocess ökar svetskvaliteten på en fullskalig komponent eller en komponentlik geometri
- Ta fram en guideline för weldbonding

## 6 Resultat och måluppfyllelse

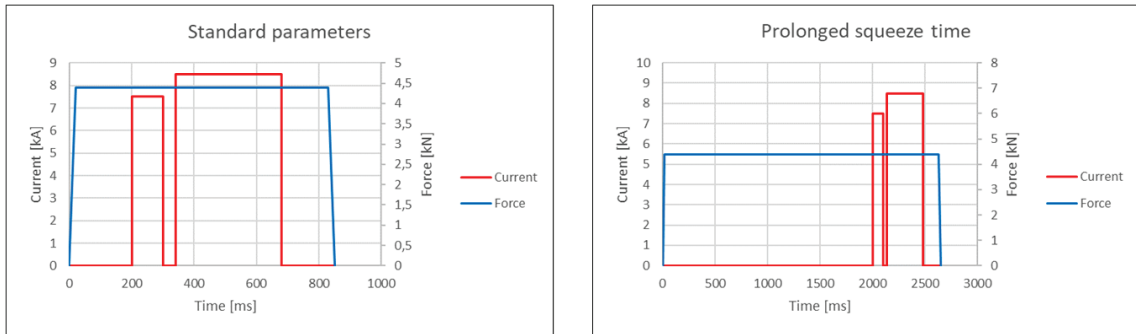
Förstudien har adresserat två programområden i FFIs *Strategisk Färdplan för Hållbar Produktion*, vilka även ingick i utlysningen där projektet söktes; Resurseffektivitet i produktion för minskad miljöpåverkan och ökad konkurrenskraft, och Robust och effektiv produktion av nya produkter, funktioner och egenskaper. Projektet har visat att det är möjligt att öka svetskvaliteten och processtabiliteten vid punktsvetsning av limmade förband genom att process- och parameterinställningarna optimeras utifrån ingående material och lim. Den kunskap som genererats i projektet och den modell som skapats utifrån de inom projektet genomförda fogningsförsöken kommer leda till en ökad möjlighet att designa och konstruera komponenter och produkter med nya, mer avancerade och tunnare material, och på så vis leda till lättare produkter, minskat materialuttag och en mer effektiv produktion då processtabiliteten för punktsvetsningar av komplexa, limmade förband ökar och mängden reparationer i produktion minskar.

I avsnitt 6.1-6.4 är resultaten för respektive AP redovisade.

### 6.1 AP1 – Definition av materialkombinationer och limmer

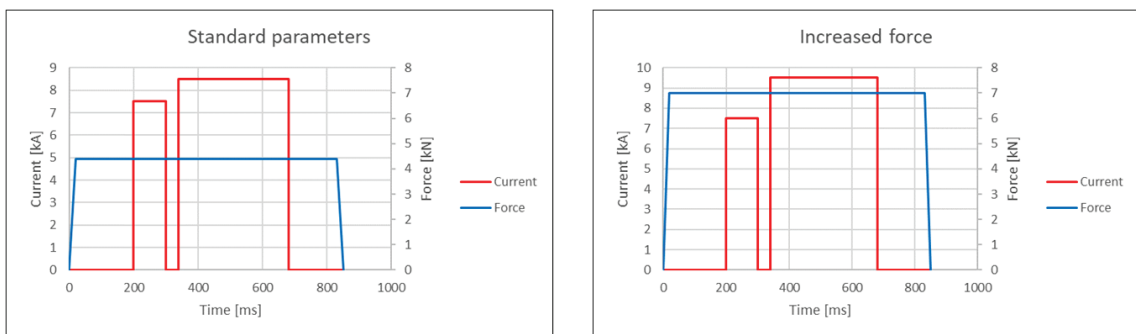
Målet med AP1 var att skapa en testmatris innehållande material, materialkombinationer och limmer som ansågs vara relevanta för industrin, samt att utifrån tidigare erfarenhet och kunskap besluta vilka ytterligare parametrar och faktorer som skulle inkluderas i matrisen. Försök utförda i ett tidigare Vinnova-projekt, Hybrid Joining Testbed, diarienummer 2017-04771, låg delvis till grund för den testmatris som togs fram i AP1. Resultaten från dessa försök hade visat att olika typer av justeringar utav processparametrarna för punktsvetsprocessen kunde förbättra processtabiliteten. I dessa försök hade processinställningar med en förlängd anläggningstid, ökad elektrodskraft under hela processen, ökad elektrodskraft under anläggningstiden, samt införande av en extra förpuls, under kort tid med låg ström, testat.

Figur 2 visar hur processparametrarna skiljer sig för en standardprocess jämfört med vid en process med förlängd anläggningstid. Hypotesen bakom denna inställning var att en förlängd anläggningstid kan innebära att mer lim trycks bort från den punkt där svetsen ska placeras och således förbättrar förutsättningarna att uppnå en hög svetskvalitet och stabil process.



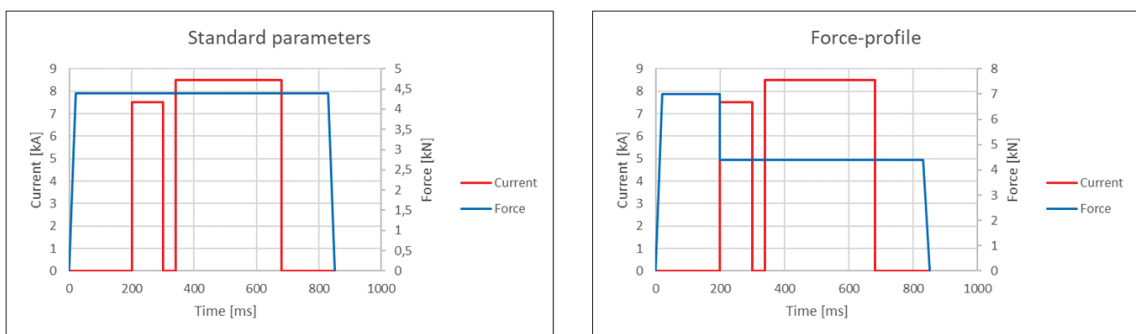
Figur 2. Processinställning för standardparametrar (vänster), jämfört med processinställning med förlängd anläggningstid (höger).

Figur 3 visar hur processparametrarna skiljer sig för en standardprocess jämfört med en process med förhöjd elektrodkraft. Även i detta fall är hypotesen att en förhöjd elektrodkraft kommer resultera i att mer lim trycks bort från punkten där svetsen ska placeras och på så vis förbättra förutsättningarna för svetsprocessen.



Figur 3. Processinställning för standardparametrar (vänster), jämfört med processinställning med förhöjd elektrodkraft (höger).

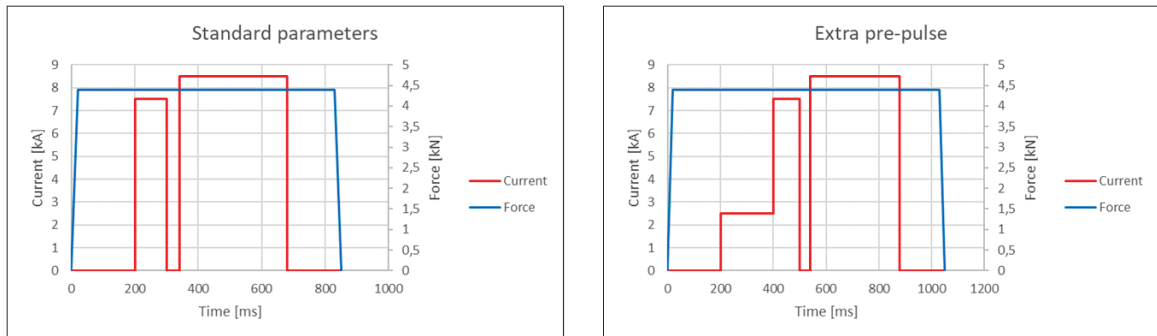
Figur 4 visar hur processparametrarna skiljer sig för en standardprocess jämfört med en process med förhöjd elektrodkraft under anläggningstiden. Likt försöken med förhöjd elektrodkraft under hela processen var avsikten i detta fall att trycka bort mer lim innan svetsprocessen starter, men att återgå till standardinställningen för kraft under själva svetsprocessen. På så vis tros processen avlägsna så mycket lim som möjligt samtidigt som den optimala elektrodkraften för materialkombinationen används under svetsstiden.



Figur 4. Processinställningar för standardparametrar (vänster), jämfört med processinställningar med förhöjd elektrodkraft under anläggningstiden (höger).



Figur 5 visar hur processparametrarna skiljer sig för en standardprocess jämfört med en process med en extra förpuls. Tanken med den extra förpulsen är att höja temperaturen i limmet och på så vis minska viskositeten, vilket skulle förbättra möjligheterna att trycka undan limmet från den position där svetsen ska placeras och på så vis förbättra förutsättningarna för svetsprocessen.



Figur 5. Processinställningar för standardparametrar (vänster), jämfört med processinställningar med en extra förpuls (höger).

Utöver att inkludera dessa processjusteringar beslutades det vilka material, limmer och ytterligare faktorer som skulle inkluderas i testmatrisen. Dessa parametrar, och hur de varierades under testerna, visas i Tabell 1.

Tabell 1. Parametrar varierade i den första testmatrisen.

Parameter	Variation
Anläggningstid	200-1000 ms
Ökad elektrodskraft	0-3 kN
Ökad elektrodskraft under anläggningstiden	0-3 kN
Extra förpuls (ström)	0-2 kA
Extra förpuls (tid)	0-100 ms
Lim	SP MBX 533. Betamate 1840C
Elektrodhätta	B16/6, B20/8
Exponeringstid för limmet innan svetsning	0-24 h
Materialkvalitet (sträckgräns)	160-1000 MPa
Materialtjocklek	0,6-2,0 mm
Materialbeläggning	GI50/50, AS75/75

Utöver den skapade testmatrisen beslutades det också att försök skulle utföras för att utvärdera de olika limmernas egenskaper och beteende, och hur dessa egenskaper påverkar svetsprocessen.

## 6.2 AP2 – Undersökning av limegenskaper

I AP2 utfördes tester av limmets egenskaper. Målet med försöken var att få kunskap om hur limmets resistivitet och viskositet förändras beroende på temperatur, fukthalt, samt hur det reagerar under pålagd last. Detta för att skapa förståelse för hur limmet beter sig under anläggningstiden i svetsprocessen.

En första undersökning gjordes där resistansen mättes för de olika limmen vid olika limtjocklekar och temperaturer. Limtjockleken på de undersökta proverna varierades mellan 0,02-0,1 mm, och mätningar gjordes vid 23°C och 52°C. Mätningarna gjordes på båda limmerna i testmatrisen, SikaPower MBX 533 och Betamate 1840C. Figur 6 visar exempel på provbitar från försöken. Resultaten från mätningarna visas i Tabell 2 och Tabell 3.



Figur 6. Visar provbitar från resistans och kapacitansmätningar av de olika limmerna, vid olika tjocklekar och temperaturer.

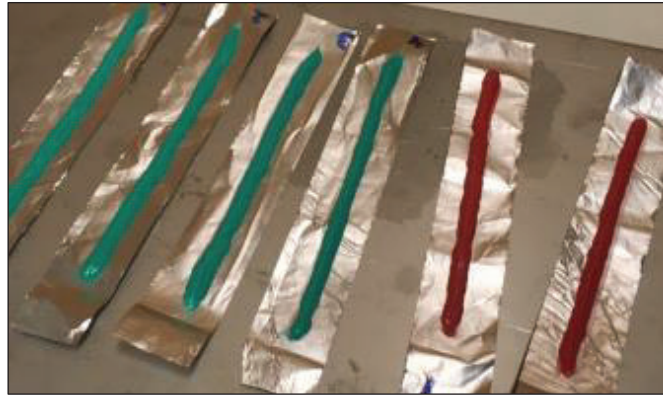
Tabell 2. Resultat från mätningar av kapacitans och resistans av SikaPower MBX 533.

Objekt (Limtjocklek)	Temp °C	Kapacitans 10kHz (pF)	Resistans 100 Hz (mΩ)
S1 (0,02-0,04)	23	333	38
S2 (0,03-0,05)	23	248	53
S3 (0,03-0,07)	23	235	59
S4 (0,03-0,08)	23	287	45
S5 (0,1)	23	100	140
S1 (0,02-0,04)	52	319	2,7
S5 (0,1)	52	97	12

Tabell 3. Resultat från mätningar av kapacitans och resistans av Betamate 1840C.

Objekt (Limtjocklek)	Temp °C	Kapacitans 10kHz (pF)	Resistans 100 Hz (mΩ)
B1 (0,02-0,04)	23	369	1,14
B2 (0,05-0,07)	23	227	1,54
B3 (0,1)	23	127	3,24
B1 (0,02-0,04)	52	350	0,228
B2 (0,05-0,07)	52	217	0,340
B3 (0,1)	52	120	0,465

Resultaten från resistansmätningarna visade att det både är stor skillnad i resistans mellan de två limmen och att resistansen sjunker kraftigt med ökande temperatur. Ytterligare mätningar gjordes där fuktupptagningsförmågan i limmen över tid analyserades varefter resistans och kapacitans mättes vid två olika temperaturer. Fuktupptagningsförmågan hos limmen mättes genom att limsträngar applicerades på en tunn aluminiumfolie, Figur 7, för att sedan exponeras vid olika temperaturer och luftfuktighet. Mätningar av vikt och fuktupptag gjordes sedan efter 17, 22 och 137 timmar. Resultaten från mätningarna visas i Tabell 4.



Figur 7. Lim applicerad på tunn aluminiumfolie för mätning av fuktupptagningsförmåga.

Tabell 4. Resultat från mätningar av fuktupptagning hos de två limmen vid olika temperatur och luftfuktighet.

		Start	17 h		22 h		137 h	
Lim	Exponering	Vikt [g]	Vikt [g]	%H <sub>2</sub> O	Vikt [g]	%H <sub>2</sub> O	Vikt [g]	%H <sub>2</sub> O
<b>SikaPower MBX 533</b>								
<b>SP 1</b>	23°C 30–40% RH	1,100	1,103	0,27	1,103	0,25	1,110	0,95
<b>SP 2</b>	40°C 95% RH	0,988	1,012	2,39	1,015	2,74	1,105	11,84
<b>SP 3</b>	23°C 50% RH	1,218	1,223	0,37	1,223	0,43	1,234	1,31
<b>Betamate 1840C</b>								
<b>BM 1</b>	23°C 30–40% RH	1,024	1,030	0,53	1,026	0,14	1,034	0,92
<b>BM 2</b>	40°C 95% RH	1,279	1,303	1,89	1,305	2,02	1,405	9,83
<b>BM 3</b>	23°C 50% RH	0,837	0,840	0,36	0,841	0,45	0,851	1,68

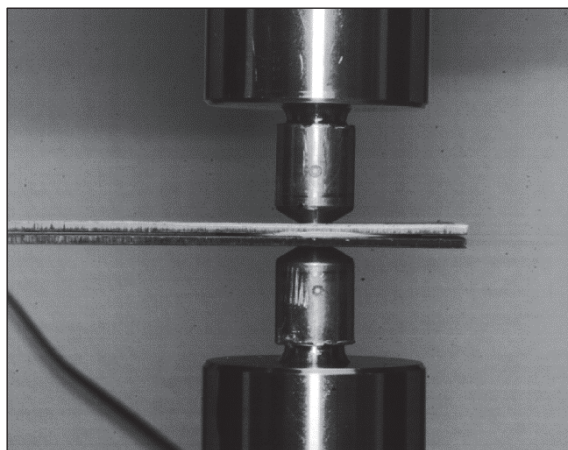
Mätningarna visar att båda limmerna tar upp en viss mängd fukt när de exponeras i förhöjd temperatur och luftfuktighet. När limmet exponeras för 95% luftfuktighet i 40°C syns en kraftig fuktupptagning för båda limmerna. Dessa resultat gjorde att vidare försök utfördes där resistans och kapacitans mättes på limmer som exponerats, först i rumstemperatur och sedan vid förhöjd temperatur till 40°C och 95% luftfuktighet. För dessa mätningar skapades likadana provbitar som vid den första resistans- och kapacitansmätningen, provbitarna mättes först för ett referensvärde, exponerades sedan i rumstemperatur, 23°C och 30–40% luftfuktighet i 40 dygn, här efter mättes kapacitans och resistans. Provbitarna exponerades sedan för 95% luftfuktighet i 40°C 8 dygn, varefter kapacitans och resistans mättes igen. Innan den sista mätningen torkades proverna i 5 timmar för att undvika fukt på ytan. Resultaten från mätningarna visas i Tabell 5.

Tabell 5. Mätning av kapacitans och resistans i prover exponerade i rumstemperatur och vid förhöjd temperatur och luftfuktighet.

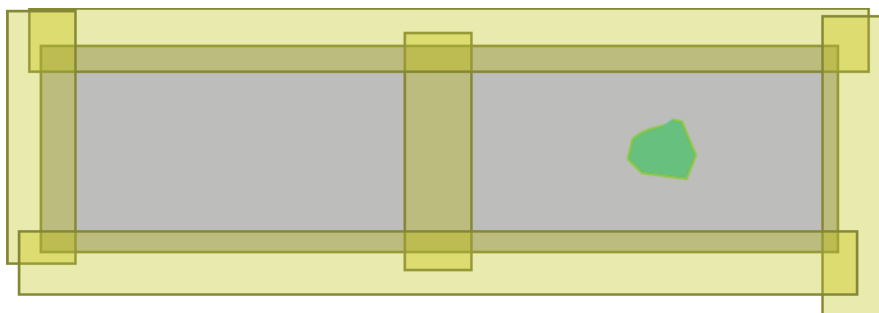
Objekt (Limtjocklek mm)	Kapacitans 10kHz [pF]			Resistans 100Hz [mΩ]		
	Ref	RT, 40 dygn	40°C, 95%RH, 8 dygn	Ref	RT, 40 dygn	40°C, 95%RH, 8 dygn
S1 (0,02-0,04)	333	337	5400	38	0,398	0,0103
S2 (0,03-0,05)	248	252	8000	53	0,52	0,0109
S3 (0,03-0,07)	235	235	1100	59	0,528	0,0133
S4 (0,03-0,08)	287	289	2700	45	0,467	0,034
S5 (0,1)	100	102	769	140	1,2	0,0619
B1 (0,02-0,04)	369	382	474	1,14	1,49	0,111
B2 (0,05-0,07)	227	234	191	1,54	2,35	0,315
B3 (0,1)	127	131	212	3,24	4,13	0,301

Resultaten från mätningarna av kapacitans, resistans och fuktupptagningsförmåga visade att temperatur och exponering av limmet har en tydlig påverkan på dess egenskaper. Vidare fuktupptagningsförsök visade att limmen relativt snabbt kan ta upp en betydande mängd fukt vid förhållanden som kan förekomma i en fabrikslokal. Vid mättnad ca 2%. Därför beslutades det att utföra praktiska svetsförsök på kombinationer med exponerat lim. Dessa beskrivs vidare i kapitel 6.3.

För att fortsatt undersöka hur limmet beter sig under svetsprocessen gjordes försök där två plåtar med ohärdat lim pressades samman mellan två elektrodhåttor samtidigt som resistansen i fogen mättes för att undersöka när elektrisk kontakt uppnåddes mellan plåtarna, Figur 8. För att säkerställa att den elektriska kontakten skapades mellan elektrodhättorna tejpades kanterna på plåtarna med 0,05 mm tjock tejp, Figur 9.

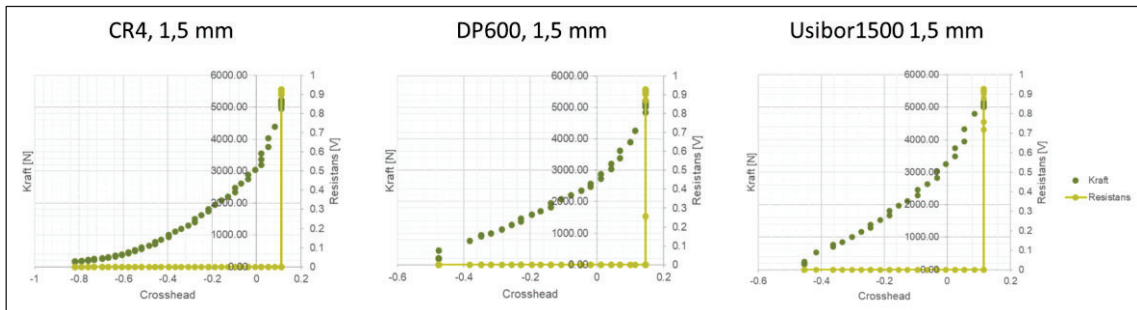


Figur 8. Uppställning för att undersöka när elektrisk kontakt skapas mellan plåtarna vid pålagd elektrodskraft.

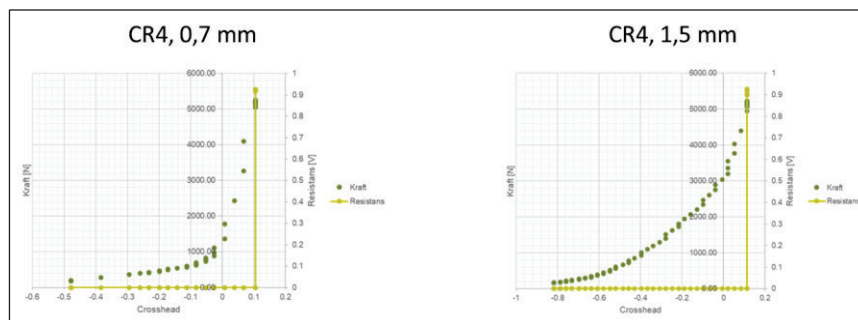


Figur 9. Tejpning av plåtkanterna för att säkerställa att den elektriska kontakten skapas mellan elektrodena.

Figur 10 visar resultaten från försök med tre olika materialkombinationer. Undersökningen gjordes för att utvärdera om det krävs olika elektrodkraft för att uppnå elektrisk kontakt mellan plåtarna beroende på materialkvalitet. Resultaten från ett liknande försök visas i Figur 11, i de försöken har materialtjockleken varierats. Vid båda försöken visas att en kraft på ca 5 kN krävs för att uppnå elektrisk kontakt mellan plåtarna, oavsett materialkvalitet eller materialtjocklek.

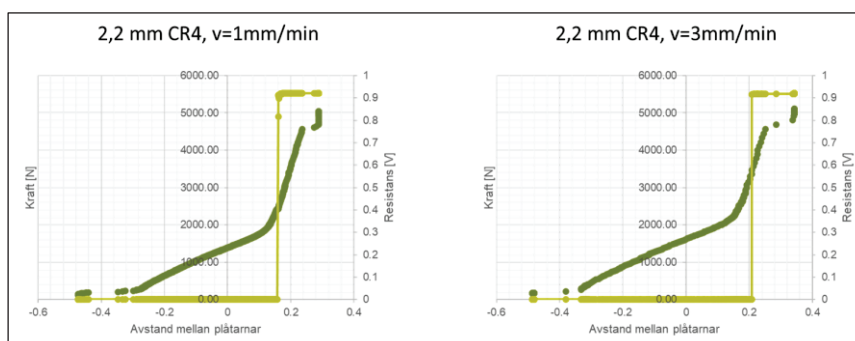


Figur 10. Resultat från undersökning av vilken kraft som krävs för att skapa elektrisk kontakt mellan plåtarna beroende på materialkvalitet.



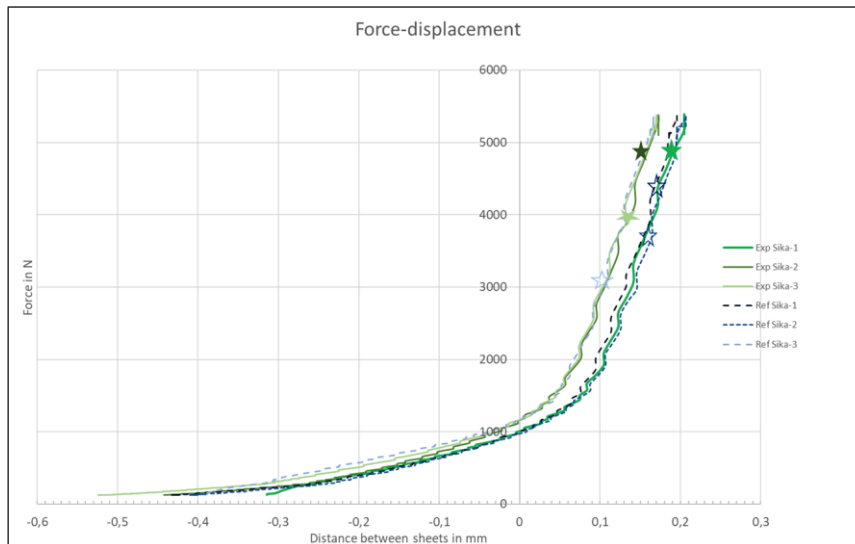
Figur 11. Resultat från undersökning av vilken kraft som krävs för att skapa elektrisk kontakt mellan plåtarna beroende på materialtjocklek.

Försök utfördes också med olika hastighetsinställningar för att undersöka hur det påverkade limmets beteende och när elektrisk kontakt skapas mellan plåtarna. Figur 12 visar resultaten från försök med 2,2 mm CR4, där hastigheten varit 1 mm/min respektive 3 mm/min. Resultaten från testerna visar att en högre hastighet kräver högre kraft för att uppnå elektrisk kontakt. Det är viktigt att påpeka att den hastighet som kunde användas i den använda dragprovmaskinen är lägre än hastigheten i en svetstång, vid hastigheter över 6mm/min blev värdena instabila, därav är det inte möjligt att säga att den kraft som visar elektrisk kontakt i dessa försök är den optimala inställningen för en svetsprocess med samma material.

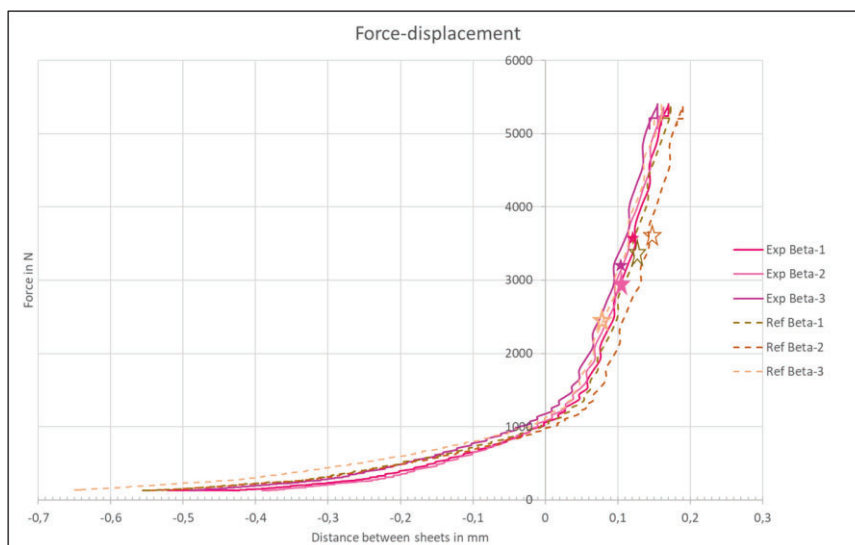


Figur 12. Resultat från undersökning av hur hastigheten påverkar när elektrisk kontakt uppstår mellan plåtarna.

Ytterligare försök utfördes för att undersöka om limmets beteende vid den pålagda elektrodkraften påverkas av limmets fuktighet. Figur 13 och Figur 14 visar resultaten från försök med 1,0 mm tjockt DP800 med de olika limmerna, SikaPower MBX 533 i Figur 13, och Betamate 1840C i Figur 14. Båda limtyper har testats med icke-exponerat lim och lim exponerat för 80% luftfuktighet i 30°C i två veckor, vilket resulterande i en fuktighetsgrad på ca 2%. Stjärnorna i graferna visar elektrisk kontakt. Resultaten visar att elektrisk kontakt uppstår vid liknande krafter oberoende av om limmet är fuktexponerat eller ej. Man kan också se att elektrisk kontakt uppnås vid lägre kraft för Betamate 1840C, ca 3 kN, jämfört med SikaPower MBX 533, ca 4 kN, vilket antas bero på skillnaden i viskositet mellan de respektive limmen.



Figur 13. Resultat från undersökning av hur limmets fuktighetsgrad påverkar när elektrisk kontakt uppstår mellan plåtarna, SikaPower MBX 533.

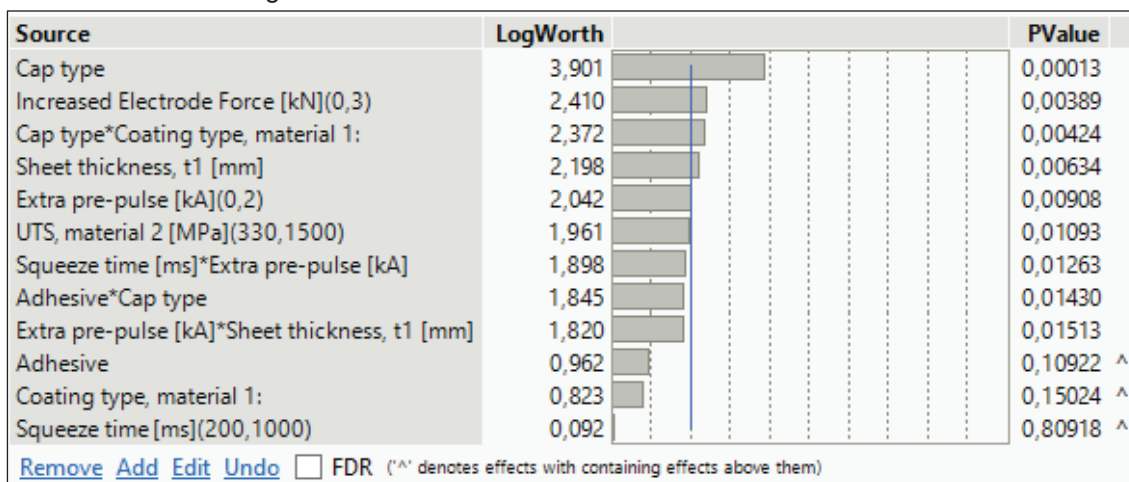


Figur 14. Resultat från undersökning av hur limmets fuktighetsgrad påverkar när elektrisk kontakt uppstår mellan plåtarna, Betamate 1840C.

Efter sammanpressningsförsök rengjordes plåtar följt av en geometriscanning för att dokumentera den deformation som plåtarna får av elektrodernas intryck och limmets undanträngning. Metoden fungerar bra med en känslighet ner mot enstaka mikrometrar. Senare kunde deformationer hos samma plåtkonfiguration jämföras mellan dragprovaren och olika svetsstänger som körts utan svetsström.

### 6.3 AP3 – Fogningsförsök och utvärdering

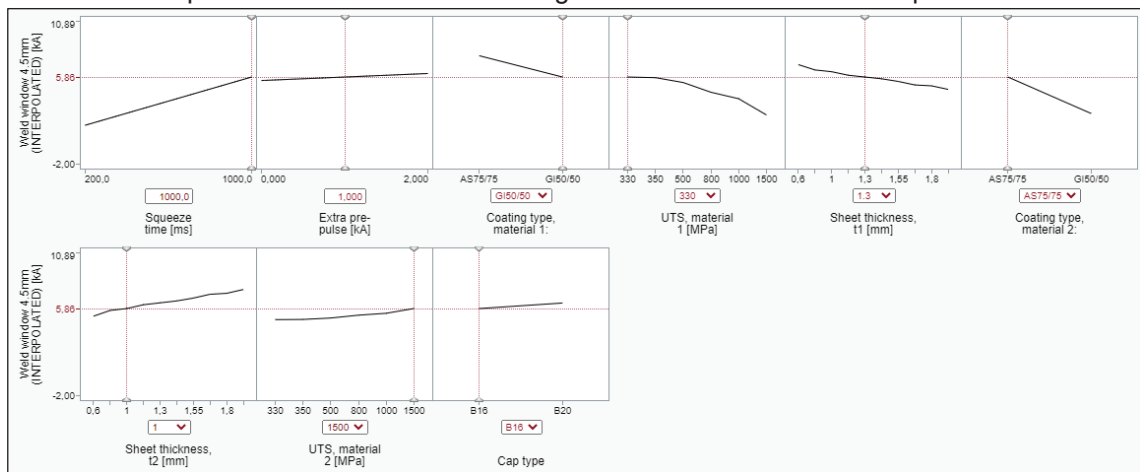
Majoriteten av de fogningsförsök som gjordes i projektet utgick från den testmatris som skapades AP1, med parametrar och variationer enligt Tabell 1. Utöver dessa försök utfördes även tester där svetsbarheten i förbanden utvärderades utifrån fuktighetsgrad och temperatur på limmet. I den första versionen av testmatrisen svetsades uteslutande tvåplåtskombinationer med samma materialkvalitet och tjocklek på de båda plåtarna. Detta gjordes för att på ett enklare sätt kunna utvärdera om olika processinställningar lämpade sig för olika materialkvalitet eller tjocklek. Den första versionen av testmatrisen bestod av sammanlagt 64 stycken 1D-lober. Svetsbarhetsbedömningen gjordes genom att använda storleken på svetsfönster som resultatparameter. Resultaten från svetsförsöken analyserades med hjälp av den statistiska mjukvaran JMP. Den data som genererades från svetsförsöken användes för att bygga modeller som visar sannolikheten för att en faktor påverkar svetsbarheten. Dessa modeller kan byggas med hjälp av flera olika metoder. I projektet användes fyra olika metoder för att bygga modellerna för att på så vis ytterligare öka möjligheten att upptäcka vilka faktorer som mest sannolikt påverkar svetsbarheten. Modellerna tar hänsyn till både enskild påverkan av en faktor och samverkan mellan olika faktorer. Det sammantagna resultatet från de olika modellerna visade att materialkvalitet, plåttjocklek och storleken på elektrodhättan har störst inverkan på svetsbarheten. Det är sedan tidigare känt att tunna- och avancerade höghållfasta material generellt är svårare att svetsa, samt att en större elektrodhätta ökar storleken på svetsfönstret. Därav lades fokus på att analysera hur de olika processinställningarna och limmets egenskaper påverkar svetsbarheten, då detta också är faktorer som är lättare att styra i produktion. Faktorerens sannolikhet att ha en påverkan på svetsbarheten kan utvärderas utifrån dess *PValue*. Ett lägre *PValue* innebär att faktorn är mer sannolik att ha en påverkan resultatet. Analysen av resultaten från de olika modellerna visade att faktorerna anläggningstid, extra förpuls, elektrodkraft och limtyp har störst sannolikhet att ha en inverkan på svetsbarheten. Resultaten från den första testmatrisen visas i Figur 15.



Figur 15. Resultat från utvärdering av den första testmatrisen, visar sannolikheten för att de olika faktorerna har påverkan på svetsbarheten.

Utifrån dessa resultat utökades testmatrisen för att ytterligare undersöka hur dessa faktorer påverkar svetsbarheten. Detta resulterade i att ytterligare 38 1D-lobsförsök utfördes. I den utökade matrisen varierades materialkombinationerna på så vis att material med olika kvalitet och tjocklek svetsades mot varandra för att ytterligare förstå vilka faktorer som har inverkan beroende på materialkombinationens utformning. Resultaten från den utökade matrisen visade att en ökad anläggningstid och en extra förpuls är de processparameterinställningar som har störst potential att öka svetsbarheten. En ökad anläggningstid har störst positiv inverkan på materialkombinationer innehållande minst ett ultrahöghållfast AISi-belagt material, medan den extra förpulsen har positiv inverkan då materialkombinationen består av material med lägre hållfasthet, både Zn- och AISi-belagda. Figur 16 visar hur svetsbarheten för en kombination

innehållande ett 1,3 mm tjockt Zn-belagt CR4 och ett 1,0 mm tjockt Usibor1500 AS75/75 ökar med ökande anläggningstid. Utifrån dessa resultat beslutades det att skapa en demonstrator i form av en hattprofil med de två materialen i Figur 16. Detta beskrivs mer i kapitel 0.



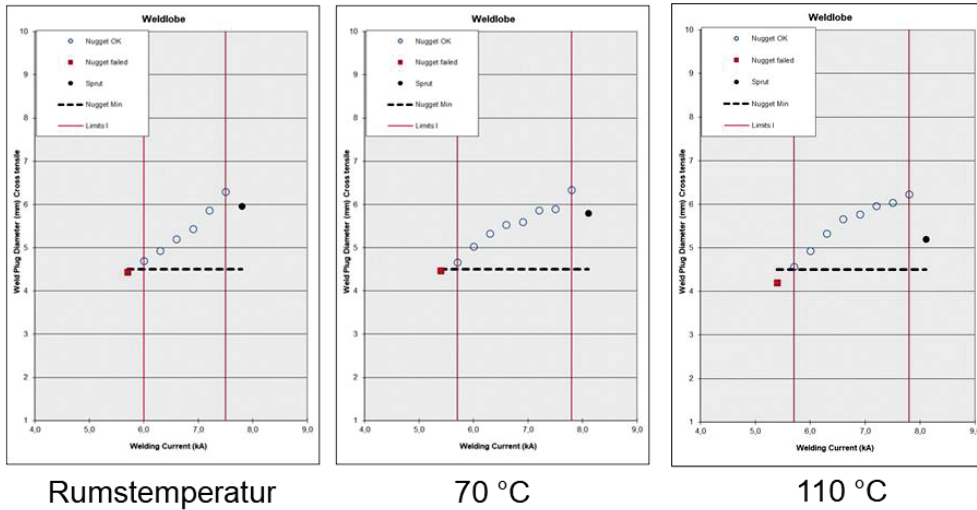
Figur 16. Resultat från den utökade testmatrisen som visar hur svetsbarheten ökar med ökande anläggningstid för en kombination innehållande ett 1,3 mm tjockt Zn-belagt CR4 och ett 1,0 mm tjockt Usibor1500 AS75/75.

Utöver de försök som gjordes i DoE-matrisen genomfördes även försök med materialkombinationer där limmet hade en förhöjd fuktighetsgrad, samt kombinationer där limsträngen hade en förhöjd temperatur för att utvärdera hur dessa faktorer påverkar svetsbarheten. Försöken med förhöjd temperatur på limmet genomfördes vid två olika temperaturer, 70°C respektive 110°C. Försöken utfördes genom att limmet applicerades på en av kupongerna, därefter placerades de båda kupongerna i en ugn med den föreskrivna temperaturen med limsträngen öppet exponerad. När materialen och limmen uppnått den önskade temperaturen utfördes ett 1D-lobsförsök, där storleken på svetsfönstret jämfördes med ett försök där limmet applicerats utan att sedan placeras i ugnen. Försöken med förhöjd temperatur utfördes på tre olika materialkombinationer. Dessa kombinationer visas i Tabell 1. De resulterande 1D-loberna från försöken med förhöjd temperatur visas i Figur 19-Figur 17. En sammanställning av resultaten visas i Tabell 6.

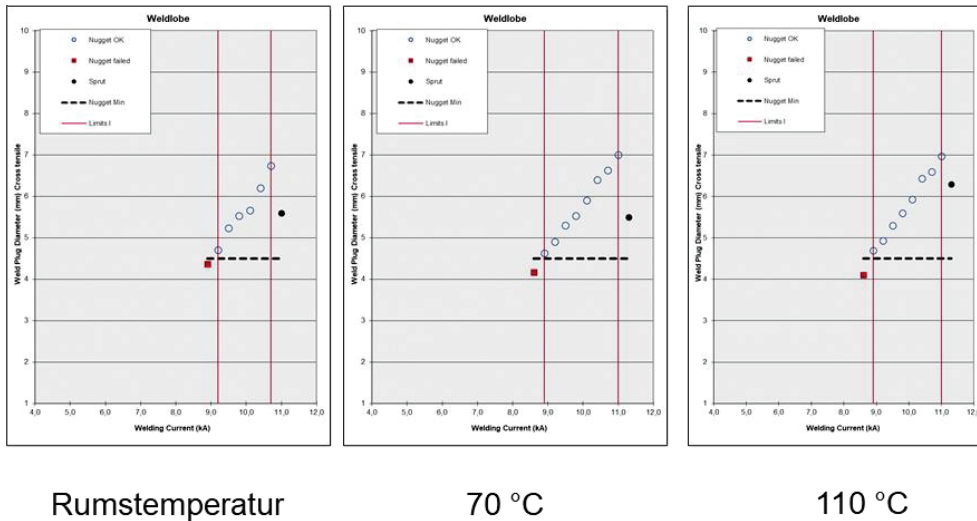
Tabell 6. Materialkombinationer för undersökning av hur temperaturen påverkar svetsbarheten.

Material 1	Tjocklek	Beläggning	Material 1	Tjocklek	Beläggning	Lim
Usibor1500P	1,0 mm	AS75/75	Usibor1500P	1,0 mm	AS75/75	Betamate 1840C
CR4	2,0 mm	GI50/50	CR4	2,0 mm	GI50/50	Betamate 1840C
CR4	0,6 mm	GI50/50	CR4	0,6 mm	GI50/50	Betamate 1840C

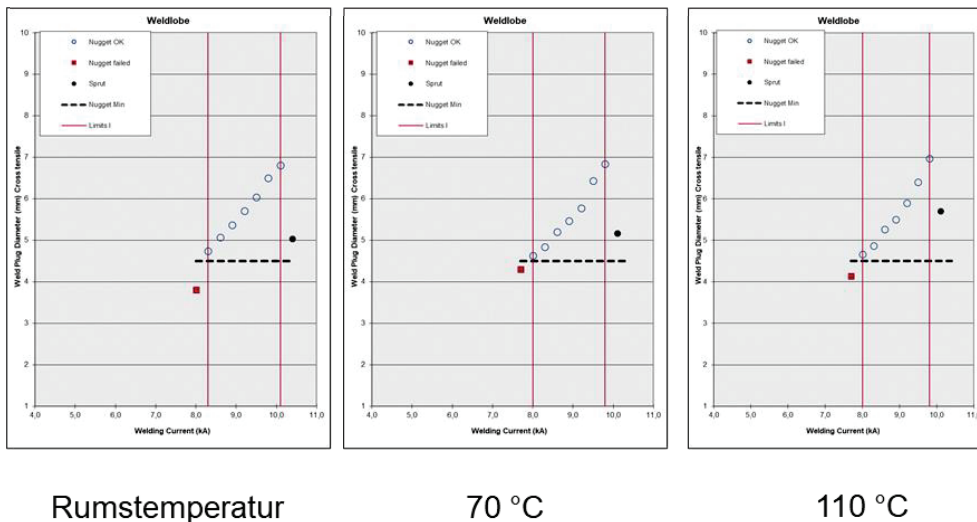




Figur 19. 1D-lober från försök med förhöjd rumstemperatur och kombinationer med 1,0 mm Usibor1500 AS75/75 och Betamate 1840C.



Figur 18. 1D-lober från försök med förhöjd rumstemperatur och kombinationer med 2,0 mm CR4 GI50/50 och Betamate 1840C.



Figur 17. 1D-lober från försök med förhöjd rumstemperatur och kombinationer med 0,6 mm CR4 GI50/50 och Betamate 1840C.

Tabell 7. Sammanställning av resultat från försök med förhöjd temperatur.

Materialkombination	$\Delta I$ Rumstemperatur	$\Delta I$ 70°C	$\Delta I$ 110°C
Usibor 1500 – 1,0 mm	1,5 kA	2,1 kA	2,1 kA
CR4 – 2,0 mm	1,5 kA	2,1 kA	2,1 kA
CR4 – 0,6 mm	1,8 kA	1,8 kA	1,8 kA

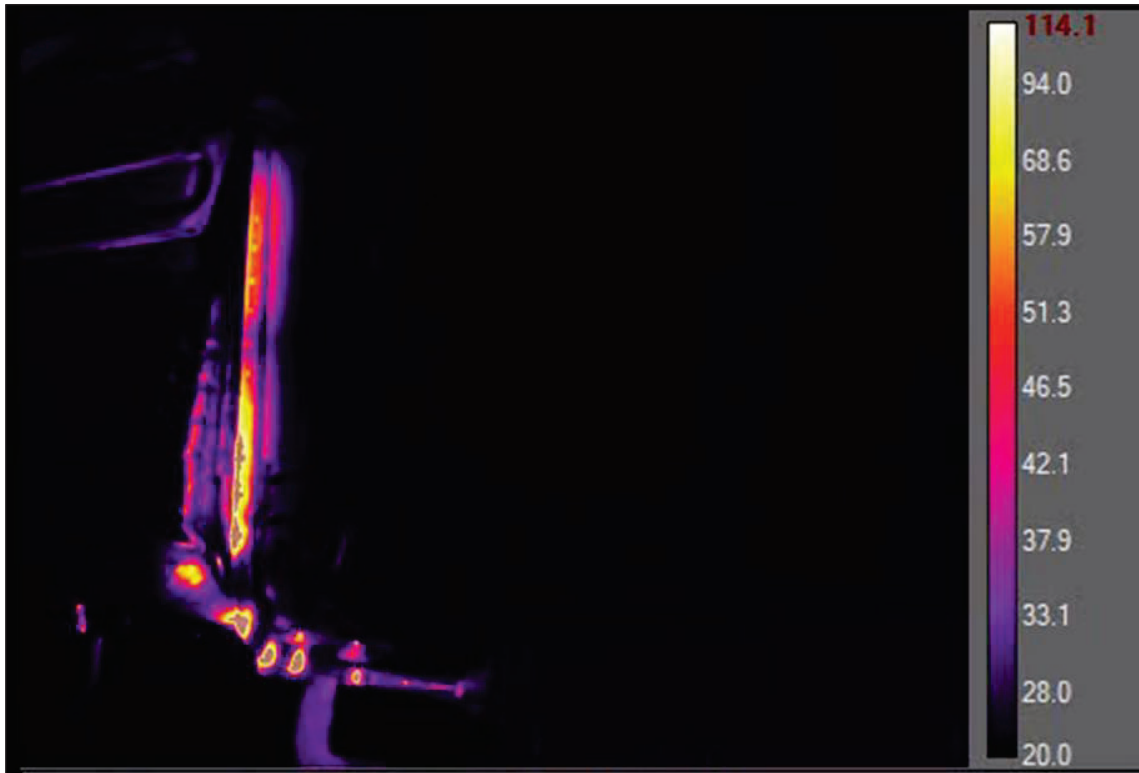
Resultaten från försöken visar att en förhöjd temperatur har en positiv inverkan på svetsbarheten för kombinationen med 1,0 mm tjockt Usibor1500 och kombinationen med 2,0 mm tjockt CR4, men inte för kombinationen med 0,6 mm tjockt CR4. Den ökade svetsbarheten tros bero på att en ökad temperatur sänker viskositeten i limmet och på så vis ökar möjligheterna att trycka undan limmet från den yta där svetsen skapas. Att effekten inte syns på kombinationen med det tunna CR4-materialet beror på att limmet redan vid låg temperatur lätt pressas undan eftersom den tunna och mjuka plåten flexar undan både elastiskt och plastiskt runt elektrodens kontaktyta.

Kopplat till dessa försök gjordes en undersökning av hur temperaturen i en komponent förändras under svetsning och påverkas av energitillförseln från svetsprocessen. Undersökningen gjordes genom att en filmade en komponent under svetsning med värmekamera, se Figur 20.



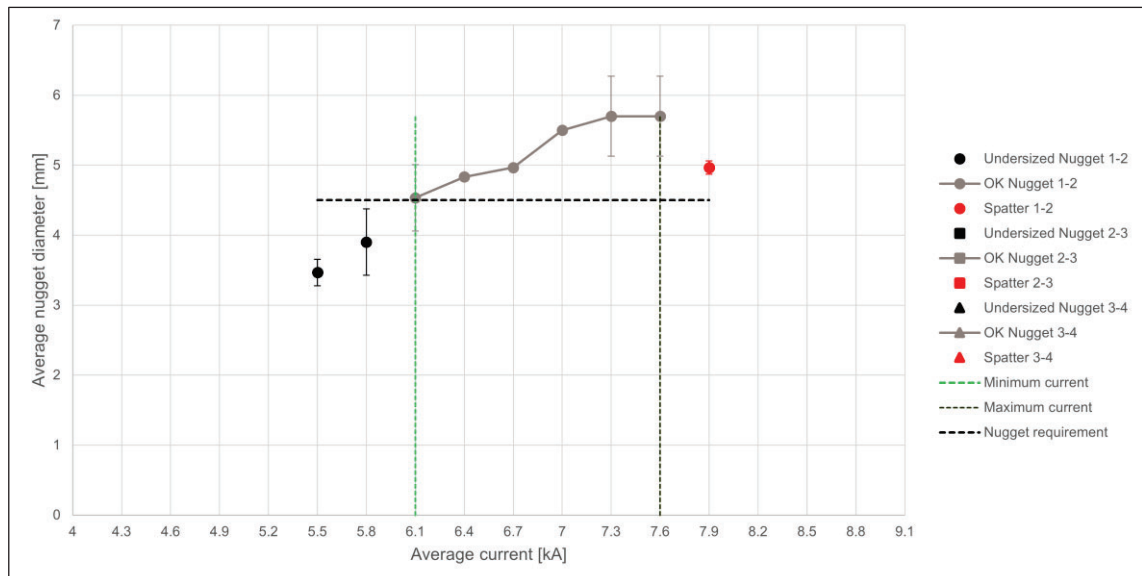
Figur 20. Uppställning av värmekamera vid svetsning av komponent för att undersöka hur temperaturen i komponenten påverkas av energitillförseln från svetsprocessen.

Figur 21 visar en bild från en utav filmerna som visar att temperaturen i en komponent kan öka kraftigt till följd av energitillförseln under svetsprocessen. Då detta försök gjordes under tillverkning av en provserie var det inte möjligt att undersöka om den förhöjda temperaturen hade positiv inverkan på de punkter som svetsades då komponenten hade en förhöjd temperatur. Dock vore det av intresse att följa upp de här resultaten i framtida projekt och undersöka om en optimerad svetsföljd baserad på temperaturvariationerna i komponenten kan leda till ökad svetsbarhet av punkter där kvalitetsvariationer kan förekomma.

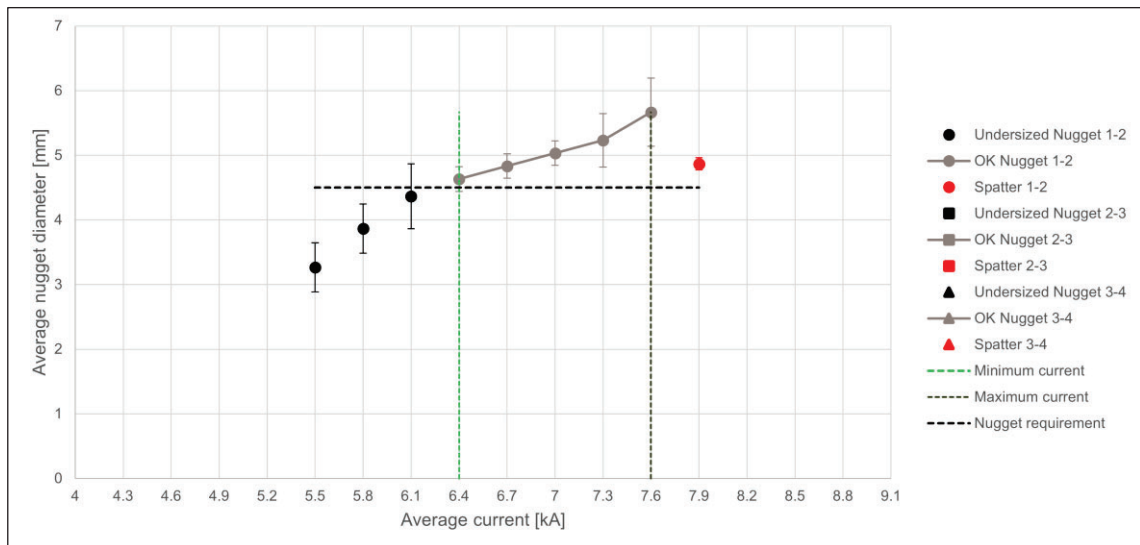


Figur 21. Temperaturfördelning i en komponent under svetsning.

För att ytterligare undersöka hur fuktighetsgraden i limmet påverkar svetsbarheten utfördes försök där limmet exponerats i 30°C och 80% luftfuktighet under 14 dygn, dessa resultat jämfördes med svetsning av kombinationer med icke-exponerat lim. Resultaten från kupongförsök på en materialkombination bestående av två 1,0 mm tjocka Usibor1500 AS75/75 och SikaPower MBX533 visas i Figur 22, icke-exponerat lim, och Figur 23, exponerat lim.



Figur 22. 1D-lob från försök svetsförsök med tvåplåtskombination bestående av 2 stycken 1,0 mm tjocka Usibor1500 AS75/75 och icke-exponerat SikaPower MBX 533.

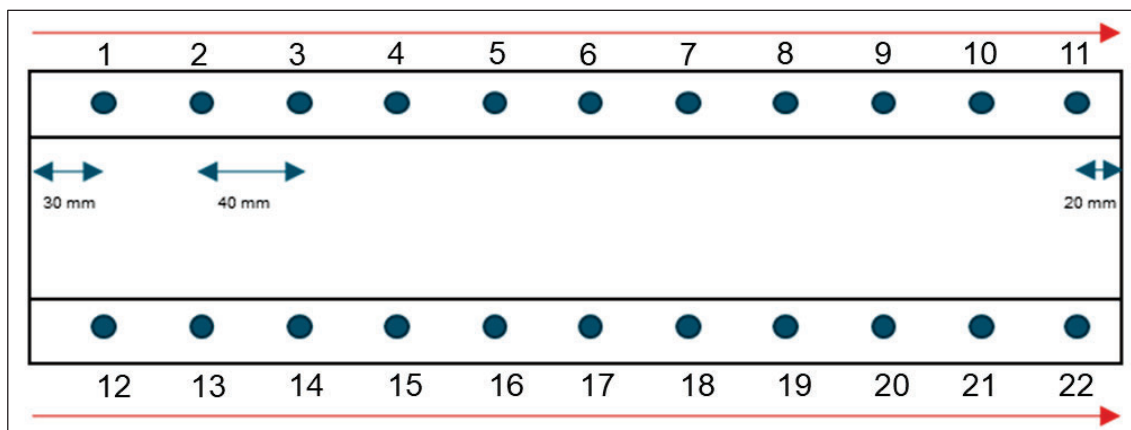


Figur 23. 1D-lob från försök svetsförsök med tvåplåtskombination bestående av 2 stycken 1,0 mm tjocka Usibor1500 AS75/75 och SikaPower MBX 533 exponerat i 30°C och 80% luftfuktighet under 14 dygn.

Resultaten visar på en högre svetsbarhet för kombinationen med icke-exponerat lim jämfört med kombinationen med exponerat lim. I försöket med det exponerade limmet förskjuts gränsen för lägsta godkända strömnivå ett steg upp jämfört med det icke-exponerade limmet, medan maxgränsen för strömmen ligger på samma nivå i de två försöken. Analysen av försöken visar också att storleken på svetsen blir lägre för samma inställningar om limmet har en ökad fuktighetsgrad. Dessa resultat påvisar att det är viktigt att säkerställa att limmet inte tar upp för mycket fukt innan svetsning, vilket skulle kunna vara fallet vid produktionsstopp då limsträngar ligger öppet under en viss tid, då det kan leda till sänkt svetskvalitet.

#### 6.4 AP4 - Processoptimering och validering på komponent

De sammantagna resultaten från försöken utförda i projektet visade att en förlängd anläggningstid är den processparameter som sannolikt har störst positiv inverkan på svetskvaliteten. Utifrån detta beslutades det att projektet skulle skapa en komponentlik demonstrator i form av en hattprofil med lock. Hattprofilen utgjordes av ett 1,3 mm tjockt CR4 GI50/50, och locket av ett 1,0 mm tjockt Usibor 1500 AS75/75. Demonstratorerna svetsades med både standardinställningar och med förlängd anläggningstid för att visa den förbättring som uppnås med den förlängda anläggningstiden. Innan den slutgiltiga demonstratorsvetsningen utfördes genomfördes valideringsförsök med den valda materialkombinationen på kuponger. Valideringsförsöken utfördes genom 1D-lobssvetsning på tre olika siter, Swerim, Scania och Volvo Cars. Validering utfördes genom att alla tre siter svetsade fyra stycken 1D-lober av den valda kombinationer, en med standardinställningar och tre med förlängd anläggningstid. Utvärderingen av resultatet av alla proverna gjordes på Swerim för att minimera risken för att mätningen av svetsstorleken gjordes på olika vis. Resultaten från valideringsförsöken visade att en förlängd anläggningstid ledde till större svetsfönster och en lägre strömnivå för att uppnå kravet på svetsstorlek. Generellt sett så införs den näst lägsta godkända strömnivån från en svetsbarhetsutprovning som produktionsinställning. Därav beslutades det att den näst lägsta strömnivån från parameterinställningen med förlängd anläggningstid skulle användas vid svetsning av demonstratorerna. En illustration av demonstratorerna, placeringen av svetsarna och svetsordningen visas i Figur 24. Parametrarna som användes vid svetsningen av demonstratorerna visas i Tabell 8. Att strömnivån i huvudpulsen är högre för de demonstratorer som svetsades på Swerim jämfört med de demonstratorer som svetsades på VCC och Scania beror på att lägsta strömnivå för godkänd svets skiljde sig mellan siter, vilket kan bero på skillnader i utrustning och hur respektive svetsvakt styr ut strömmen.



Figur 24. Illustration av demonstratorer med placering av svetsar och svetsordning.

Tabell 8. Processparametrar för svetsning av demonstratorer.

Site	Anläggnings-tid	Kraft	Förpuls tid	Förpuls ström	Paustid	Huvudpuls tid	Huvudpuls ström	Hålltid
<b>Standardparametrar</b>								
VCC	100 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,3 kA	150 ms
Scania	100 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,3 kA	150 ms
Swerim	100 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,6 kA	150 ms
<b>Modifierade parametrar</b>								
VCC	1000 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,3 kA	150 ms
Scania	1000 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,3 kA	150 ms
Swerim	1000 ms	3,5 kN	60 ms	8,0 kA	40 ms	270 ms	7,6 kA	150 ms

Utöver de sex demonstratorer som svetsades med dessa inställningar svetsades ytterligare två demonstratorer på Scania med hjälp av den adaptiva styrningen HCC från Matuschek för att utvärdera hur en adaptiv styrning påverkar svetsresultatet.

Utvärderingen av resultatet från demonstratorsvetsningen gjordes genom att demonstratorerna fläcktes och svetsstorlekarna jämfördes. Som i fallet med valideringsförsöken utfördes alla mätningar på Swerim för att minimera risken för att utvärderingen utfördes på olika vis. Resultaten från demonstratorsvetsningen visar att en förlängd anläggningstid har en positiv inverkan på svetsresultatet. En sammanställning av resultaten från svetsningen visas i Tabell 9.

Resultaten visar också att svetsning med det adaptiva system HCC resulterar i klart större svetsar än de övriga försöken. Det är dock viktigt att nämna i sammanhanget att det hade varit möjligt att uppnå större svetsar även i de andra försöken om man använt en högre strömnivå, men att det hade kunnat ske på bekostnad av processtabiliteten. Vad som också är värt att nämna i sammanhanget är att ingen av svetsarna på någon av demonstratorerna har uppvisat sprut, varken med standardparametrar, modifierade parametrar eller vid adaptiv svetsning.

Tabell 9. Sammanställning av resultat från demonstratorsvetsningen.

	Sida 1											Sida 2											
Svets-nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Mede-värde
	<b>Svetsstorlek</b>																						
VCC Standard	4,5	4,5	4,7	4,7	4,7	4,8	4,7	4,8	4,8	4,6	4,8	4,7	4,8	4,7	4,5	4,7	4,7	4,9	4,8	4,9	3,3	3,0	4,6
VCC Modifierad	4,9	4,9	5,3	5,3	5,0	4,9	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	4,8	5,0	5,1	5,1	4,9	5,0	5,1	5,0	4,9	4,9	4,9	5,0
Swerim Standard	3,3	3,0	3,7	4,0	4,3	4,4	4,5	4,4	4,3	4,3	4,2	4,5	4,4	4,4	4,6	4,6	4,5	4,6	4,6	4,5	4,4	4,6	4,3
Swerim Modifierad	5,0	4,9	5,1	4,9	4,8	5,0	5,0	5,1	4,9	5,2	5,1	5,0	4,8	4,9	5,0	5,0	4,9	5,0	5,1	5,0	4,9	5,0	5,0
Scania Standard	4,5	4,7	4,6	4,6	4,7	4,8	4,7	4,7	4,8	4,	74,7	4,5	4,6	4,7	4,4	4,5	4,6	4,6	4,6	4,8	4,9	4,6	4,6
Scania Modifierad	4,9	5,0	4,9	4,8	5,2	4,8	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8	4,8	4,8	5,0	4,9	5,0	5,0	4,9	5,0	5,1	5,0	4,7	4,9
Scania HCC	5,7	5,6	5,8	6,0	6,0	6,1	6,0	6,1	6,0	6,0	6,0	6,2	6,2	6,0	6,2	6,1	6,2	6,2	6,3	6,0	6,1	6,2	6,0

## 6.5 Summering av resultat och diskussion

Arbetet som genomförts i projektet visade att en förlängd anläggningstid, en extra förpuls och i vissa fall en förhöjd elektrodskraft är de processinställningar som med störst sannolikhet har positiv inverkan på processtabiliteten vid punktsvetsning av limmade förband. Detta tros bero på att dessa processjusteringar leder till att mer lim pressas bort från den punkt där svetsen ska placeras och på så vis förbättrar förutsättningarna för svetsprocessen. Utöver dessa resultat har projektet också visat att en förhöjd fuktighetsgrad i limmet resulterar i en försämrade svetsbarhet. Anledningen till den försämrade svetsbarheten anses vara att vid svetsning genom ett fuktigt lim kommer en större mängd av den genererade energin gå åt till att förångna vattnet, jämfört med vad som är fallet vid ett torrt lim. De försök som utförts med förhöjd temperatur på limmet och ingående material visade att svetsbarheten av uppvärmda provbitar var högre jämfört med de försök som gjordes på rumstempererade prover. Den förhöjda temperaturen sänker viskositeten på limmet vilket leder till att limmet lättare trycks bort från svetspositionen och därmed förbättrar förutsättningarna för svetsprocessen och mindre mängd lim ska värmas och brännas bort. Sammankopplas dessa resultat med den analys av temperaturdistributionen i en svetsad komponent som gjordes i projektet anses det att i vissa fall kan en lösning på svärsvetsade punkter vara att utvärdera om svetsordningen bör justeras, för att på så vis ha en så hög initial temperatur som möjligt i limmet på de punkter där försämrade kvalitet eller kvalitetsvariationer kan uppstå.

Projektet har visat att en justering av processparametrarna kan vara en potentiell lösning för att möjliggöra kombinerad punktsvetsning och limning av materialkombinationer som idag anses vara osvetsbara. I de fall där en godkänd processtabilitet inte kan uppnås med standardinställning på parametrarna bör svetsbarhetsbedömningar även göras med förlängd anläggningstid, en extra förpuls och en förhöjd elektrodskraft. Detta skulle kunna leda till ökade möjligheter att konstruera komponenter och produkter med mer avancerade material och lägre vikt. Det är dock viktigt att påpeka att alla dessa justeringar har sina respektive nackdelar, både en förlängd anläggningstid och en extra förpuls leder till förlängda cykeltider, samtidigt som en förhöjd elektrodskraft riskerar att slita mer på utrustningen och resultera i större intryck och försämrade finish på produkterna. Därför bör dessa processjusteringar främst användas när standardinställningarna inte resulterar i kraven på svetskvalitet och processtabilitet.

## 7 Spridning och publicering

Projektet har fokuserat på att kartlägga de faktorer, egenskaper och parametrar som har störst inverkan på svetskvalitet och processtabilitet vid kombinerad punktsvetsning och limning. Kunskaps- och resultatspridning, samt publicering, har skett enligt nedan.

### 7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Projektet har lett till en generellt ökad kompetens inom området för de deltagande parterna, samt skapat en modell för hur framtida optimering av weldbonding-processen bör utformas med avseende på svetskvalitet och processtabilitet utifrån ingående material och lim. Parterna har också haft goda möjligheter att utbyta kunskap och erfarenheter över företagsgränserna under projektets gång. Informationen och resultaten har och kommer tas vidare inom de deltagande företagens respektive organisationer.

Projektet ämnar presentera på kommande FFI-konferens samt på kommande möte inom svetskommissionens arbetsgrupp AG43.

Information om projektet har även givits vid föreläsningar på KTH och i Centre for Joining & Structures årliga konferens. Projektet har spridits via det examensarbete som genomförts inom projektet, samt att den interna projektrapporten kommer spridas i de deltagande företagen, och att resultaten kommer spridas via svetsingenjörs utbildningen på KTH.

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Projektresultaten är direkt kunskap till deltagande organisationer, samt att resultaten ska spridas via bland annat FFI-konferensen och Svetskommissionen.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	För att nå till fullständig implementering krävs visst internt arbete inom respektive organisation.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	För att nå till fullständig implementering krävs visst internt arbete inom respektive organisation.
Introduceras på marknaden	X	Kunskapen finns, visst ytterligare beredningsarbete krävs innan implementering.
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

### 7.2 Publikationer

Projektet har resulterat i en öppen slutrapport, samt en stängd slutrapport för projektgruppen. Utöver dessa rapporter har även ett examensarbete publicerats inom projektet.

## 8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har visat att det är möjligt att öka svetsbarheten på limmade förband med hjälp av olika justeringar av processparametrarna. Detta kan leda till ökade möjligheter att konstruera och designa komponenter och produkter med mer tunnare och mer avancerade material. Ytterligare arbete krävs dock för att öka kunskapen om vilka processjusteringar som bäst lämpar sig för olika typer av material och materialkombinationer.

Projektet har också visat att en förhöjd fuktighetsgrad i limmet har en negativ inverkan på svetskvaliteten. Då det finns en risk att fuktighetsgraden i limmet ökar om ett produktionsstopp uppstår och limsträngar ligger öppet under tiden produktionen står still, särskilt under årets fuktiga månader, vore det av intresse att undersöka om en tillfällig justering av processinställningarna leder till ett förbättrat svetsresultat i dessa fall.

De undersökningar som utförts med förhöjd temperatur visar att högre temperatur i vissa fall leder till ett förbättrat svetsresultat, beroende på tjocklek och materialkvalitet på de ingående materialen. Analysen av hur temperaturen i en komponent varierar till följd av energitillförseln från svetsprocessen visade att en ökad temperatur uppnås vid svetsning. Utifrån dessa resultat vore det av intresse att undersöka om svetsordningen kan optimeras för att uppnå en så hög temperatur som möjligt i punkter som uppvisar kvalitetsvariationer för att på så vis förbättra förutsättningarna för att uppnå en ökad och mer jämn svetskvalitet.

En fortsättning på detta projekt för att fördjupa kunskapen inom området och därmed även förbättra möjligheterna för en ökad användning av tunnare och mer avancerade material bör därför innehålla en fortsatt undersökning av hur punktsvetsprocessen kan optimeras för limmade förband med avseende på ingående material, fuktighetsgrad i limmet samt hur temperaturen varierar i en komponent under svetsning. Även ytterligare studier av hur processen bör optimeras vid flerplåtsförband är av intresse för ett fortsättningsprojekt.



## 9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagarna i projektet har varit några av Sveriges största aktörer inom området. Konstellationen har givit både bred och djup kunskap inom svets- och limprocesserna, material och utrustning, vilket har lett till goda förutsättningar för ett effektivt och målinriktat arbete. Stygruppen har bestått av representanter från Swerim, RISE, Volvo Cars, Scania, Modul-System och Svetsrådet.

Partner	Kontaktpersoner
<b>Volvo Cars</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Carin Eriksson</li><li>○ Marcus Schmidt</li><li>○ Oscar Andersson</li><li>○ Martin Olsson</li><li>○ Per Lindahl</li><li>○ Sune Evertsson</li></ul>
<b>Scania</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Mattias Olsson</li><li>○ Roger Karlsson</li><li>○ Berth Palmberg</li><li>○ Erik Tolf</li></ul>
<b>Modul-System</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Anders Carlsson</li></ul>
<b>Svetsrådet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Stefan Borg</li></ul>
<b>RISE</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Tomas Luksepp</li><li>○ Andreas Reeb</li><li>○ Martin Olsson</li></ul>
<b>Swerim</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Elias Repper</li><li>○ David Löveborn</li><li>○ Rickard Aldén</li><li>○ Klara Trydell</li></ul>



*SVETSRADET AB*



## 10 Referenser

- [1] P. Janiak and M. Lindén, "SpotLight - Resistance spot welding for light weight design Challenging spot welding," 2013.
- [2] S. Singh and J. P. Misra, "WELD-BONDING A STATE OF ART REVIEW."