- New Approach for Weldability and Process Robustness Testing for Spot Welding (PROFS)

- Ny approach i svetsbarhetsutvärdering för punktsvetsning

Författare: Karl Fahlström, Elias Repper, Pia Borg, Joakim Hedegård
Datum: 2021-08-18
Projekt inom FFI - Hållbar Produktion

FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation
VINNOVA Energimyndigheten TRAFIKVERKET FKG VOLVO SCANIA VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning 3

2 Executive summary in English 4

3 Bakgrund 5

4 Syfte, forskningsfrågor och metod 7

5 Mål 8

6 Resultat och måluppfyllelse 9

6.1 Volvo Cars 9

6.2 Scania 11

6.3 Modul-System 12

6.4 Sammanställning 13

7 Spridning och publicering 13

7.1 Kunskaps- och resultatspridning 14

7.2 Publikationer 14

8 Slutsatser och fortsatt forskning 15

9 Deltagande parter och kontaktpersoner 16

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktviteter 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.

1 Sammanfattning

Det finns ett stort behov av en förbättrad metod för att utvärdera svetsbarheten av punktsvetsförband, för att överbrygga skillnaderna mellan labbmiljö och verklig produktion. Det skulle göra det säkrare att välja mer tunna, höghållfasta material, med reducerad vikt, ökad produktivitet och lägre miljöbelastning som följd. I fordonsindustrin är punktsvetsning den mest frekvent använda fogningsmetoden och den är mycket vanlig i tillverkningsindustrin generellt. Processen är kostnadseffektiv, har låg miljöbelastning och är relativt robust för konventionella material. Men för mer avancerade och komplexa materialkombinationer är det svårare att konsekvent uppnå hög och jämn svetskvalitet. Med ökad tillförlitlighet för i processutprovningen framtagna data, att dessa fungerar i produktionsmiljö, kommer möjligheterna att använda lättare och starkare material att öka samtidigt som mängden svetsförband kan minskas när man kan lita på kvaliteten i varje svetspunkt. Antal reparationer minskar och effektiviteten i produktionen ökar.

Denna förstudie, PROFS, har sökt utvärdera vilka faktorer: process-, utrustnings- och materialrelaterade, som har störst påverkan på svetsprocessens robusthet i produktion. Arbetet ska sedan ligga till grund för utvecklingen av en ny och förbättrad metod för bedömning av punktsvetsbarhet och robusthet som tar hänsyn till de fenomen och situationer som kan uppstå i produktion. Metodutvecklingen kommer att göras i ett efterföljande fullprojekt.

För att utveckla en sådan metod krävs noggrann kartläggning av ovan nämnda faktorer och hur dessa skiljer sig för provningslabb och produktion och mellan olika stationer i produktion. Kartläggningen kommer göras genom insamlande av data från provning och produktion och via dataanalys och verifierande tester. Arbetssättet har utvecklats inom förstudien och kommer att byggas vidare i det fullprojekt som ska sökas medel för. Projekten adresserar två av FFI-utlysningens utmaningar och programområden; *Resurseffektivitet i produktion för minskad miljöpåverkan och ökad konkurrenskraft,* samt *Robust och effektiv produktion av nya produkter, funktioner och egenskaper.* Dessutom FFI-Hållbar produktions övergripande utmaning: *Förmåga att med minimal miljöpåverkan kunna producera nya produkter/ komponenter med nya material*. Projektområdet är prioriterat av FFI-kluster FormningFogning, kopplar till Agenda 2030-mål nr 9 och 12, främjar samverkan mellan institut, industri, leverantörer samt olika OEM, och medverkan av underleverantörer och SME. Nyhetsvärdet är stort – inget systematiskt är publicerat kring nya utvärderingsmetoder med denna inriktning och omfattning.

Förstudieprojektet som här rapporteras leddes av Swerim och genomfördes i nära samverkan med Volvo Cars, Scania, Modul-System och Svetsrådet. Projektgruppen har både bred och djup kunskap inom områdena punktsvetsning, produktion och material, vilket är en förutsättning för framgång. Projektet har löpt i 9 månader och haft en sammanlagd budget på 1 MSEK varav 0,5 MSEK från Vinnova. Resultaten visar att faktorer som kantnära svetsar, eller för stora spalter mellan plåtar, har negativ inverkan och riskerar att störa svetsningen. När avancerad styrning av svetsprocessen finns tillgänglig och är aktiverad kan regleringen i många fall, men inte alltid, kompensera så att godkänt svetsresultat nås. Cykeltiden blir dock ofta förlängd. Även fel i svetsutrustning (inkorrekt linjering eller formering av elektroder) har påvisats kunna ge stora störningar i svetsprocessen. Arbetssättet som utvecklats i förstudie PROFS där produktionsdata analyseras i mjukvara (JMP) för flerfaktoranalys för att hitta trender och avvikande resultat har varit framgångsrikt i sökandet av olika orsaker till produktionsstörningar. Detta kommer att vidareutvecklas och nyttjas i den metodutveckling som ska ske i det efterföljande fullprojekt som ska sökas: PROFS-II.

2 Executive summary in English

There is a great need for an improved method for evaluating the weldability of resistance spot-welded joints, in order to bridge the differences between the lab environment and actual production. This would make it safer to choose thinner, high strength materials, resulting in reduced weight, increased productivity and lower environmental impact. In the automotive industry, spot welding is the most frequently used joining method and it is very common in the manufacturing industry in general. The process is cost-efficient, has low environmental impact and is relatively robust for conventional materials. However, for more advanced and complex material combinations, it is more difficult to achieve high and consistent welding quality. With increased reliability of the data produced in the process testing, that these will work in a production environment, the possibilities of using lighter and stronger materials will increase while reducing the amount of welding joints when the quality of each weld can be trusted. The number of repairs decreases and the efficiency of production increases.

This preliminary study, PROFS, has sought to evaluate which factors: process, equipment and material related, have the greatest impact on the robustness of the welding process in production. The work shall then form the basis for the development of a new and improved method for assessing spot weldability and robustness that considers the phenomena and situations that may arise in production. The method development will be done in a subsequent full project.

In order to develop such a method, careful identification of the above factors and the differences in test labs and production and between different stations in production is required. The mapping will be done by collecting data from testing and production and through data analysis and verifying tests. The working method has been developed within the feasibility study and will be built on in the full project for which funding will be sought. The projects address two of the challenges and programme areas of the FFI call; Resource efficiency in production for reduced environmental impact and increased competitiveness, as well as robust and efficient production of new products, functions and properties. In addition, FFI-Sustainable Production's overall challenge: Ability to produce new products/ components with new materials with minimal environmental impact. The project area is prioritized by FFI cluster FormingFogning, it is connecting to Agenda 2030 goals No. 9 and 12, promoting collaboration between institute, industry, suppliers, OEMs, subcontractors and SMEs. The news value is great – nothing systematic is published about new evaluation methods with this focus and scope.

The feasibility study project reported here was led by Swerim and carried out in close collaboration with Volvo Cars, Scania, Modul-System and Svetsrådet. The project team has broad and deep knowledge in the areas of spot welding, production and materials, which is a prerequisite for success. The project has run for 9 months and had a total budget of SEK 1 million, of which SEK 0.5 million from Vinnova. The results show that factors such as edge-close welds, or too large gaps between plates, have a negative impact and risk inferior welds. When advanced control of the welding process is available and activated, the regulation can in many cases, but not always, compensate and reach approved welding results. However, the cycle time is often extended. Minor errors in welding equipment (incorrect alignment or formation of electrodes) have also been shown to be able to cause significant disturbances in the welding process. The methodology developed in this pre-study PROFS, where production data is analyzed in software (JMP) for multi-factor analysis to find trends and abnormal results, has been very successful in the search for causes of production disruptions. This methodology will be further developed and utilized in the method development to be carried out in the planned subsequent full project: PROFS-II.

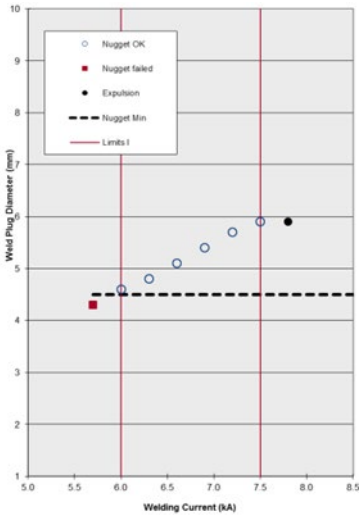
3 Bakgrund

Fordonsindustrin strävar fortsatt efter minskad vikt på komponenter och produkter för att sänka CO_2-utsläpp, minska materialuttag och öka krocksäkerheten på sina fordon genom användning av tunnare och mer höghållfasta material. För detta krävs flexibla, hållbara, robusta och produktionsvänliga fogningsprocesser. Punktsvetsning är den idag mest använda svetsprocessen inom fordonsindustrin tack vare hög kostnadseffektivitet, låg miljöbelastning och relativt god robusthet för dagens materialkombinationer. Metoden förväntas fortsatt finnas kvar i fordonsindustrin, men med behov av utökning till alltmer avancerade tillämpningar. Krav på förbättrade provnings- och svetsbarhetsbedömningsmetoder ökar i takt med att mer avancerade och tunna material införs, samtidigt som möjligheter med nya avancerade processtyrningar behöver beaktas. Dessa faktorer tillsammans med det faktum att förhållanden mellan provningslabb och produktionslinjer skiljer sig kraftigt åt innebär att det finns stort behov av att utveckla en ny, mer pålitlig provningsmetod som ger ökar robusthet för nya avancerade materialkombinationer. Förstudien PROFS primära mål har varit att identifiera och kvantifiera processvariationer, för att sedan kunna utveckla en metod som tar hänsyn till de faktorer och fenomen som skiljer sig mellan provning och produktion: hur svetskvaliteten skiljer sig beroende på vilken utrustning som används och variationer i ingående material. En sådan metod skulle kraftigt kunna minska mängden underkända svetsar i produktion, vilket betyder minskade kostnader i form av färre reparationsarbeten och ökad produktivitet, även genom att antalet svetspunkter per komponent då kan minskas eftersom tillförlitligheten till kvaliteten i varje svetspunkt blir hög.

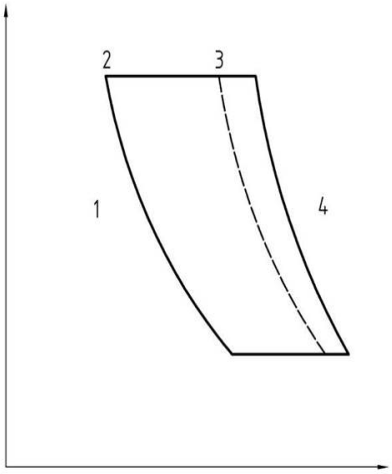
Det är välkänt att svetskvaliteten varierar mellan produktion och labb och mellan olika stationer i produktion. Variationerna kan bero på utrustningstekniska skillnader, där utrustningar arbetar olika i elektrisk och mekanisk styrning, produktionstekniska variationer som dålig passning och smuts på plåtar, och materialtekniska variationer i resistivitet och tjocklek på beläggningar. Men inverkan av de enskilda och sammanlagda variationerna är inte klarlagda vilket gör att det idag inte är möjligt att på ett systematiskt vis öka kvaliteten och minska mängden underkända svetsar. Målet med denna förstudie har därför varit att analysera och kartlägga orsakerna till dessa variationer och även se hur de samverkar för att därefter kunna hitta kompenserande åtgärder och därmed öka kvaliteten och krocksäkerheten på morgondagens fordon. Därtill möjliggörs också att öka produktiviteten i produktion genom att ge möjligheter till en ny, mer pålitlig och robust metod för bedömning av punktsvetsbarheten hos nya avancerade materialkombinationer. Förstudien har försökt kartlägga de komplexa samband som uppkommer i produktion och tittat på lämpliga vägar för beaktande av detta i en ny provningsmetod.

Dagens svetsutprovning för punktsvetsning (motståndssvetsning) görs främst genom så kallade svets- eller 1D-lober, där elektrodkraft och svetstid hålls konstanta medan svetsströmmen varieras, för att därefter mäta svetsens linsstorlek för respektive fall för att bedöma om den är godkänd eller underkänd. Detta resulterar i framtagandet av ett godkänt strömintervall, illustrerat av de två röda linjerna i Figur 1, där den lägre utgörs av den lägsta ström som ger godkänd svetsstorlek och den övre av den högsta strömmen innan svetssprut uppstår. Denna metod har fördelar i att den är tidsmässigt effektiv, flexibel med avseende på företagsunika krav på svetskvalitet och att det är möjligt att variera en eller flera parametrar (ström, elektrodkraft och svetstid) efter utrustning och kvalitetskrav. När två parametrar varieras för att kartlägga ett processfönster kallas detta en 2D-lob, vilket illustreras i Figur 2. 1D- och 2D- utprovningsmetoderna innehåller även rekommendationer på kriterier för att godkänna en materialkombination. Metoderna används av många punktsvetsande företag. Ofta utförs tre till fem svetsar för varje undersökt parameterinställning, vilket ger ett visst statistiskt underlag och fångar upp avvikelser från förväntat utfall, men detta görs på små, plana (ideala) provkuponger.

Det har emellertid visat sig att de parameterinställningar som gav bäst resultat vid utprovning inte alltid ger svetsar som uppfyller de krav som ställs på svetskvalitet i produktion.



Figur 1. Exempel på 1D-lob för svetsbarhetsbedömning.



Figur 2. 2D-lob svetsbarhetsbedömning

Detta anses bero på de skillnader som finns mellan labb- och produktion, till exempel passningsproblem, fixturering, skillnad i utrustningar och styrningar, smuts och olja på plåtarna, etc. Vilken eller vilka av dessa faktorer som har störst inverkan är i dagsläget okänt och för att kunna utforma en provningsmetodik och optimering som ger en mer stabil process i produktion behöver detta utredas. Det har också visat sig att 1D-lober utförda på samma sätt, med samma typ av materialkvalitet, tjocklekar och processinställningar kan ge olika resultat beroende på om materialet kommer från t ex olika materialbatcher. Allt detta måste beaktas vid utvecklingen av en ny, mer robust, provningsmetodik. Ytterligare en aspekt – en stor möjlighet – har varit att dagens moderna svetsutrustningar till stor del kan använda adaptiva styrningar som mäter och reglerar parameterinställningar för ström och tid för att uppnå kraven på svetsstorlek. Dock finns det inga rekommendationer framtagna för bedömning av svetsbarhet och robusthet med dessa adaptiva system. Även för produktion med avancerade styrningar behövs en ny metodik för bedömning av rätt data för ökad robusthet för motståndssvetsning. Materialen inom fordonsindustrin blir mer och mer sofistikerade och därmed ofta krävande ur svetsbarhetssynpunkt, vilket ytterligare ökar behovet av en ny och pålitlig utprovnings- och beredningsmetodik för robust punktsvetsning. Internationellt finns ingenting presenterat inom detta område.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Förstudien har siktat på att kartlägga i vilken grad viktiga faktorer och parametrar skiljer sig mellan labb- och produktionsmiljö, samt hur stor påverkan dessa har på svetskvalitet och processtabilitet, och identifiera samverkanseffekter. Både förstudien och det tilltänkta fullprojektet avser att använda befintlig utrustning i industrin och öka användbarheten och flexibiliteten för denna, vilket ger snabb och effektiv implementering. Det övergripande målet har varit att ta fram en metodik, eller en förståelse, som kan klargöra skillnad mellan provningslabb och produktion för punktsvetsning i fordonsindustrin.

Projektet har arbetat i fyra arbetspaket (AP). I AP1 ”Faktorer och parametrar” har den samlade kunskapen och erfarenheter av punktsvetsprocessen i projektgruppen sammanställts för att välja ut de parametrar och faktorer som förväntas skilja sig mycket mellan provningslabb och produktion. Denna insamling har även inkluderat att välja ut svetsade komponenter och specifika svetspunkter från produktion där man vet att implementeringen av provningslabbparametrar har varit problematisk. Dessa utvalda komponenter och svetspositioner har varit huvudfokus genom hela projektet. Ett case har studerats för Volvo Cars, ett för Scania, och ett för Modul-System. Utöver att studera casen har information sökts i litteratur och i tidigare arbeten.

Resultaten från AP1 har genererat en testmatris som undersökts i AP2 och utvärderats i AP3. AP2 ”Undersökningar och tester” har undersökt aktuella svetsförband i positioner som uppvisar sprut eller ojämn kvalitet från produktion (casen) och analyserat hur förutsättningar för dessa förband skiljer sig från miljön i beredningen. AP2 har även utfört en större del svetsförsök där utvalda faktorer och parametrar varierats på ett kontrollerat vis för att analysera inverkan ytterligare. Själva analysen har utförts i AP3 ”Analys och utvärdering”, där även statistisk analys har gjorts med mjukvaran JMP. AP4 ”Projektledning och kunskapsspridning” har ansvarat för möten, kunskapsspridning samt rapportering.

Projektet har även genomfört ett lyckat examensarbete på master-nivå.

5 Mål

Förstudien har haft som mål att kartlägga i vilken grad viktiga faktorer och parametrar skiljer sig mellan labb- och produktionsmiljö, samt hur stor påverkan dessa har haft på svetskvalitet och processtabilitet, och identifiera samverkanseffekter. Målet har också varit att använda befintlig utrustning i industrin och öka användbarheten och flexibiliteten för denna, vilket bör ge snabb och effektiv implementering av resultaten.

En del av förstudien har ägnats åt att konkretisera vad en ny provningsmetod behöver täcka och därmed klargöra vad ett efterföljande fullprojekt behöver innehålla. Detta har mynnat ut i en ny förenklad metodik att titta på data, samt olika kontrollerade variationer i verifieringstester. I fullprojektet ska denna metodik vidareutvecklas och förfinas. När en ny metoden är implementerad efter genomfört fullprojekt, kommer den leda till minskad miljöpåverkan eftersom den ger ökade möjligheter att använda tunnare och mer höghållfasta material i fordonsindustrin. Detta då möjligheterna att svetsa dessa material med hög, repeterbar kvalitet ökar markant, samtidigt som det leder till ett minskat materialuttag då både mängden provning och skrot kan minskas. Utöver minskad miljöpåverkan kommer fullprojektet också ge en mer effektiv och robust produktion med färre svetspunkter och högre kvalitet tack vare ökad processtabilitet samt färre kassationer och reparationer. Ytterligare en viktig effekt från projektet kommer att vara en ökad krocksäkerhet då en mer stabil svetsprocess och högre svetskvalitet ger en generellt högre produktkvalitet och därmed förbättrade krockegenskaper.

Vad som skiljer förstudiens utförande (mål) i förhållande till ansökan är att inga produktionsbesök har kunnat göras pga COVID-19, istället har industrirepresentanterna fått agera informationskällor till deras respektive produktion. Likaså har inga större workshops kunnat utföras som planerat. Båda dessa avvikelser är en konsekvens av pandemin. Detta har dock inte påverkat projektets resultat nämnvärt eftersom industrirepresentanterna har utgjort en väl fungerande länk till produktionen.

6 Resultat och måluppfyllelse

Förstudien har adresserat två programområden i FFIs Strategiska 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, samt FFI-Hållbar produktions övergripande utmaning: Förmåga att med minimal miljöpåverkan kunna producera nya produkter/ komponenter med nya material.

Vid implementering av resultaten från fullprojektet kommer minskad miljöpåverkan nås genom att möjliggöra fogning av nya, avancerade och tunnare material genom en mer robust utprovningsmetod. Detta kommer ge minskat klimatavtryck genom minskat materialuttag och lägre produktvikt, samt mer krocksäkra fordon. Den nyutvecklade metoden kommer att ge ökad produktivitet då färre svetsar behövs för att uppnå hållfasthetsmässiga krav samt att mindre tid och resurser åtgår för reparation av svetsar. Det resultatet kopplar till Agenda 2030-mål nr 9 (Hållbar industri, innovationer och infrastruktur) och mål nr 12 (Hållbar konsumtion och produktion) och främjar samverkan mellan institut, industri, leverantörer, samt mellan olika OEM. Det främjar även medverkan av underleverantörer och SME. Resultatets nyhetsvärde är stort – tidigare finns inget systematiskt publicerat kring nya utvärderingsmetoder med denna omfattning.

För att tydligare redogöra för de tekniska resultaten så är texten nedan kopplad till de tre respektive case som har studerats i förstudien.

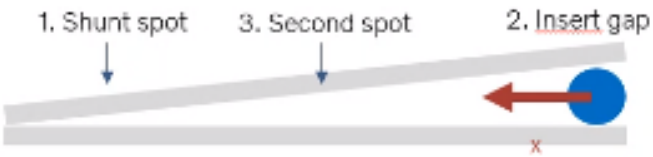
6.1 Volvo Cars

I Volvo Cars case så har ett antal faktorer identifierats från produktion som kan inverka på svetskvaliteten. Dessa faktorer får anses som obefintliga vid svetsutprovning i provningslabb men de är mer eller mindre vanligt förekommande i produktion, varpå de blir extra intressanta för projektet. Dessa tre faktorer fick sedan designade provokationer/tester för att se inverkan på svetskvaliteten och hur processen betedde sig. Följande provokationer designades:

Om svetsen, pga felpositionering (men inom toleranser) av antingen material eller svetstång, placerats för nära en kant. Se Figur 3 nedan.

Figur 3. Felpositionerade svetsar, kantnära (avstånd x till kant).

Om svetsen, pga dålig passning hos ingående material, har ett gap som inte alltid kan tryckas ihop av svetstången före svetsning. Se Figur 4 nedan.



Figur 4. Test för att studera passningsfel (spalt) mellan plåtar. Effekten av olika spaltgap provas.

Om svetsningen, pga för kort pitch-avstånd, får shunteffekter. Se Figur 5 nedan.

Figur 5. Effekten av olika avstånd mellan svetsar, så kallat "pitch-avstånd" provas.

Dessa tre faktorer som illustreras i figurerna 3-5 ovan infördes i en provmatris, med dels en lättsvetsad materialkombination (som nästan alltid beter sig stabilt) och dels en svårsvetsad kombination (som mer ofta påvisar svetssprut eller för liten svetsstorlek).

Svetstesterna utfördes i Swerims fogningslabb i Kista med den adaptiva styrning som används idag i produktion hos Volvo Cars. Utvärdering gjordes främst genom fläkprover där pluggstorlek på svetsförbanden uppmättes.

Lättsvetsad kombination (innehållandes två tunna mjukare stål)

Svetsning nära kant
Avstånd till kant minskades 6 respektive 12 mm från standard. Resultatet visade att relativt små störningar fås vid ändrat kantavstånd. Något mindre svetspunkter fås om avståndet till kant minskas. Adaptiviteten styr även ut något längre svetstider (ca 15 ms i snitt), och vid 12 mm förskjutning så fås även några svetssprut.

Svetsning med gap
Ett konstgjort gap mellan plåtarna (125 mm långa) varierades med shims i ena änden på 2 respektive 4 mm. Resultatet visade att störningar fås vid 4 mm spalt, där punktstorleken sjönk från ca 6,2 mm till 5,7 mm. Likaså styrde adaptiviteten ut längre svetstider med ökning på ca 50 ms. Något enstaka sprut förekom.

Varierat pitch-avstånd
Pitchavstånd varierades till 15 respektive 50 mm (25 mm är referens). Resultatet visade att relativt små störningar fås vid ändrat pitchavstånd. Något större svetspunkter fås med ökande pitchavstånd, vilket stämmer med tidigare observationer, eftersom shunteffekten (läckström) blir mindre. Något enstaka sprut förekom.

Svårsvetsad kombination (innehållandes borstål)

Svetsning nära kant
Utfördes på samma sätt som för den lättsvetsade kombinationen. Resultatet visade relativt små störningar i punktstorlek. Däremot styrde adaptiviteten ut ca 35 ms längre svetstider då förskjutningen var 12 mm. Inga sprut noterades.

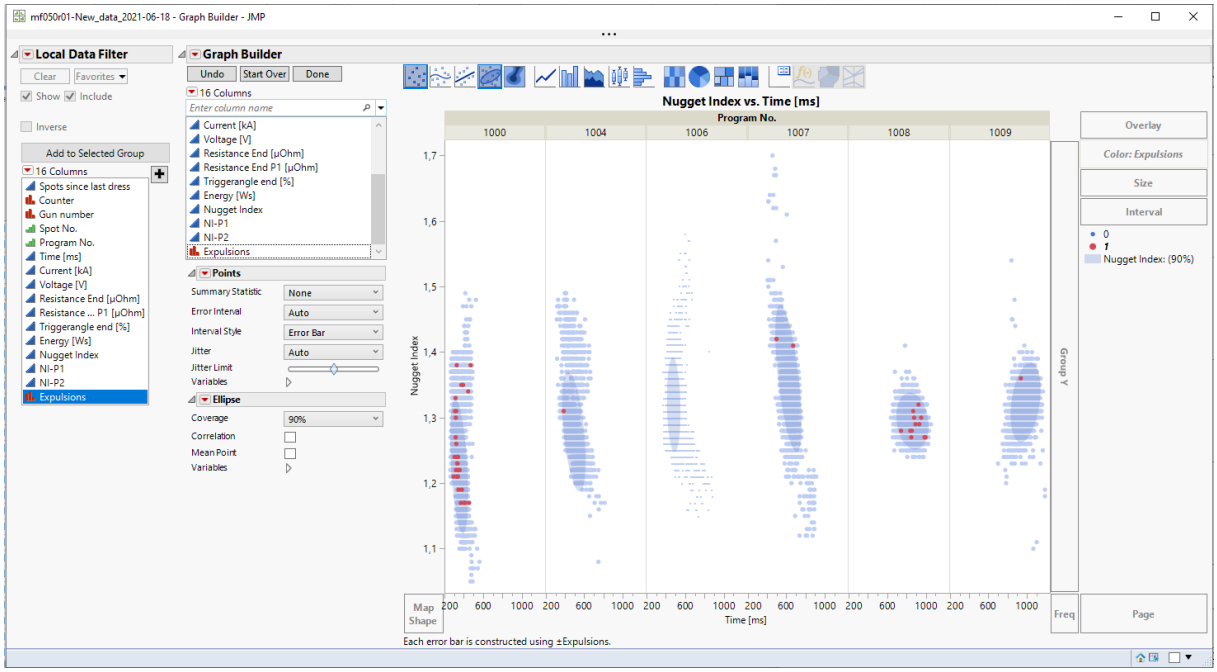
Svetsning med gap
Detta utfördes på samma sätt som för den lättsvetsade kombinationen. Resultatet visade på störningar i punktstorlek med en minskning från ca 6,0 mm till 5,4 mm. Inga sprut noterades, men ca 30 ms längre svetstider från den adaptiva styrningen. Vad som är intressant här är att processen och kvaliteten förblev konstant, trots ökande gap.

Varierat pitch-avstånd
Detta utfördes på samma sätt som för den lättsvetsade kombinationen. Resultatet visade att relativt små störningar fås vid ändrat pitchavstånd, men ett antal sprut noterades för 15 mm pitchavstånd.

Med ovanstående tester och resultat så har en bättre förståelse kunnat fås för hur produktionsrelaterade variationer som inte förekommer i labbmiljö påverkar stabiliteten i processen och således även resulterande svetskvalitet.

6.2 Scania

I Scanias case så har datainsamling gjorts, där både statistisk och kvalitativ analys legat till grund för resultaten. Ett antal svetsvakter har valts ut, med tillhörande robot och servotänger. Datan har inhämtats i tre omgångar och analyserats med JMP. En illustration av hur det kan se ut visas nedan i Figur 6.



Figur 6. Ett exempel på studie av svetsdatautfall i mjukvaran JMP. Data kan hanteras i en mångdimensionell rymd vilket möjliggör avancerad analys. Här illustreras variationen av "Nugget Index", en kvalitetsparameter i svetssystemet.

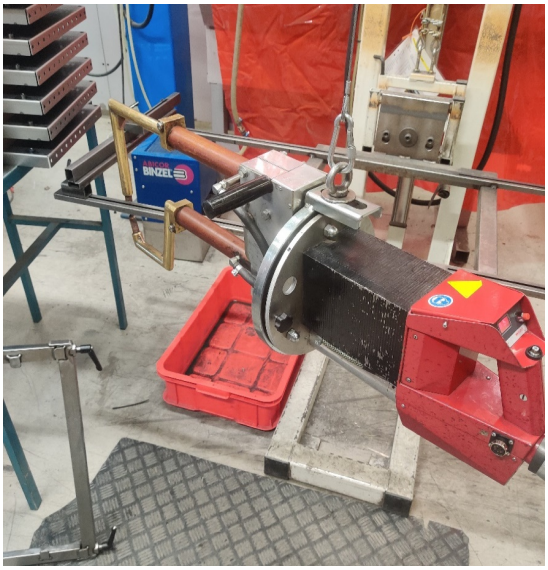
En första analys på data från Scania visade exempelvis att resultaten kunde skilja mellan höger och vänster A-stolpe, där en av punkterna innehåller två plåtar, och de andra två innehåller tre plåtar. En robot påvisade mer sprut och mer varierande svetstid som styrts ut av adaptiviteten. Antal sprut var i sammanhanget dock fortfarande lågt (400/6000 punkter).
En andra analys av senare data visade att problemet kvarstod. Det fanns fortfarande skillnad mellan höger och vänster sida, men inte lika stora. Exempelvis sprutade 200/6000 punkter i ena roboten och 100/6000 punkter i andra.

Efter närmare analys av anledningen till skillnaden så upptäcktes att det fanns ett linjeringsfel i ena tången. Detta ansågs vara möjlig orsak till att de två stationerna gav olika mängd sprut.

Ovanstående är bara en del av de resultat som kommit ur JMP-analysen. Resultaten visar på möjligheten att statistiskt utvärdera data från produktion för att hitta skillnader mellan hur det bör vara (likt labbmiljö) samt verkligheten (produktion) och hur man med återkommande analys av samma celler / positioner på detta sätt kan identifiera kvarstående problem, dvs positioner som bör fokuseras på i ett förbättringsarbete.

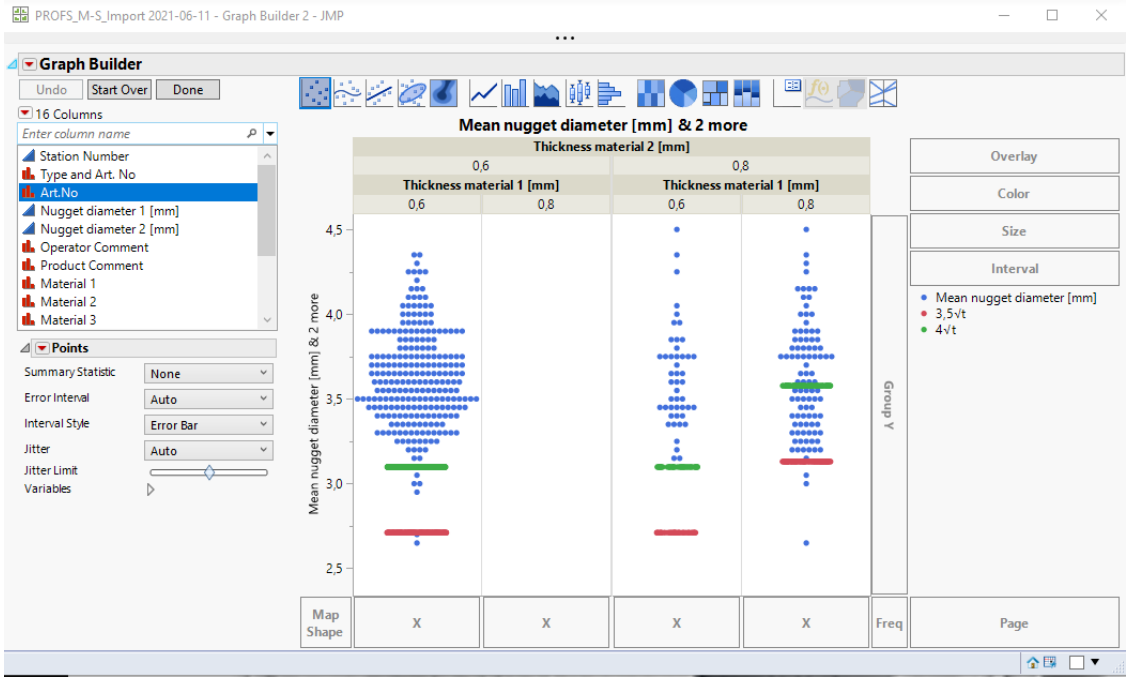
6.3 Modul-System

Likt Scanias case så har data från Modul-Systems produktion samlats in. Data från ett antal produktionsstationer (ett exempel visas nedan i Figur 7) med olika batcher och artiklar har loggats. Ett fläkprov har gjorts innan ny batch påbörjas, samt i mitten av en batch, och i slutet. Två lastbärande punktsvetsar har undersökts närmare.



Figur 7. En produktionsstation i Modul-System där data analyserats.

Data från fläkprover har analyserats inom respektive plåttjocklek. Två olika kvalitetskrav för svetsstorlek (grön och röd linje) har inkluderats. Se graf från JMP nedan i Figur 8. Vid analys av data sågs att en stor andel av svetspunkterna möter krav men marginalen var i vissa fall inte så stor. Framförallt syntes detta på tunna förband: 0.8 mot 0.8 mm plåttjocklek. Totalt är 491 punkter plottade.



Figur 8. Analys av produktionsdata i JMP från en svetsstation i Modul-System. Två olika kvalitetskrav för svetsstorlek illustreras med grön, respektive röd, linje. Punktplottar illustrerar utfall av faktisk svetsstorlek.

Ovanstående visar att man med statistisk analys av produktionsdata kan identifiera var svetsprocesserna är som känsligast för störningar (har minst marginal) mot satta krav. Detta har god användbarhet i produktionsutveckling och är troligtvis ingenting som loggas idag. Fel kan undvikas med god kännedom om produktionens marginaler och uppföljning av förändringar i tiden.

6.4 Sammanställning

Det finns flera goda exempel på användbara resultat och vidtagna åtgärder från detta förstudieprojekt, men egentligen ingenting som löser det generella problemet med variationer i tiden i produktionen. Snarare illustreras behovet av att kunna gå djupare i analysen av dessa problem, att kunna studera detta i ett fullprojekt. De tre studerade casen har tydliggjort att det finns möjlighet att på detta sätt i labbmiljö studera problem närmare, som identifierats uppstå i produktion. Nya analyssätt har även framtagits, där statistisk analys använts för att titta på produktionsvariationer, kvalitetssäkring och toleranser. Dessa metoder kompletterar den 1D- och 2D-lobsutprovning som görs idag i industrin.

7 Spridning och publicering

Förstudien har fokuserat på att identifiera viktiga faktorer och kartlägga i vilken grad faktorer och parametrar skiljer sig mellan labb- och produktionsmiljö, samt hur stor påverkan dessa har på svetskvalitet och processtabilitet och identifiera samverkanseffekter. Kunskaps- och resultatspridning, samt publicering, har skett enligt nedan.

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Genom projektet har deltagande parter ökad sin kompetens om både punktsvetsning generellt, produktions/labbvariationer, samt olika sätt att analysera/studera data och mätresultat från produktion för att få en bättre förståelse för sin tillverkning. Parterna har också haft goda tillfällen att utbyta erfarenheter över företagsgränserna. Information från projektet har spridits i de deltagande företagen och kommer att tas vidare in i ett fortsättningsprojekt. Till detta kommer flera parter att bjudas in, varpå spridningen blir större.

I kommande FFI-konferens ska projektet presentera resultat och diskutera plan framåt. Även inom Svetskommissionens arbetsgrupp AG43 Motståndssvetsning ska resultaten diskuteras.

Information om projektet har även givits vid föreläsningar på KTH och i Centre for Joining & Structures årliga konferens. Resultaten kommer att spridas ytterligare, dels genom utbildning internt i företagen, dels på högskolan (KTH Svetsingenjörsutbildningen), samt genom det examensarbete som blir publicerat inom kort.

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Projektresultaten är direkt kunskap till deltagande organisationer,ska spridas via FFI -konf. och SvK
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Projektet förväntas fortsätta i ett PROFS II som metodutvecklar och implementerar
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Efter fullprojektets implementering
Introduceras på marknaden	X	Efter PROFS II kommer ny metodik att implementeras i produktion
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

7.2 Publikationer

Projektet har genererat en publik slutrapport, samt en stängd slutrapport och en kort artikel i tidningen Svetsen. Utöver detta har ett examensarbete utförts och publiceras inom kort. I efterföljande fullprojekt PROFS-II planeras vetenskapliga publikationer.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Approachen som har använts i PROFS får anses som lyckad, även om frågeställningen inte är besvarad fullt ut (det är oklart om alla parametrar har hunnit identifieras). Frågeställningen har visat sig mycket komplex, men då fler faktorer som skiljer mellan produktion och provningslabb har framkommit så kommer vinsten vid lyckad metodutveckling och implementering att vara desto större. Flera viktiga komponenter, metodik och verktyg, har tagits fram inom projektet och möjliggjort en kartläggning.

Att sammankoppla flera expertföretag på området har givit många givande diskussioner och bra kompetensbyggande inom projektet. Projektets genomförande får också anses som lyckat då alla parter haft en bidragande och aktiv roll.

Resultaten visar att faktorer som kantnära svetsar, eller för stora spalter mellan plåtar, har negativ inverkan och riskerar att störa svetsningen. När avancerad styrning av svetsprocessen finns tillgänglig och är aktiverad kan regleringen i många fall, men inte alltid, kompensera så att godkänt svetsresultat nås. Cykeltiden blir dock ofta förlängd. Även fel i svetsutrustning (inkorrekt linjering eller formering av elektroder) har påvisats kunna ge stora störningar i svetsprocessen. Arbetssättet som utvecklats där produktionsdata analyseras i mjukvara (JMP) för flerfaktoranalys för att hitta trender och avvikande resultat har varit framgångsrikt i sökandet av olika orsaker till produktionsstörningar. Detta kommer att vidareutvecklas och nyttjas i den metodutveckling som ska ske i det efterföljande fullprojekt som ska sökas: PROFS-II.

Leveranserna från projektet är i linje med ansökan, och kommer fortsätta genom fullprojektet PROFS-II. Fullprojektet kommer använda framtagen metodik, ta in mer data och vidareutveckla metoderna att studera och illustrera skillnader mellan provningslabb och produktion. Samt ta fram den nya metod för svetsbarhetsbedömning som baserar sig på de resultat och metodiker som tagits fram och som industrin så väl behöver.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Deltagarna i projektet har varit några av Sveriges största aktörer inom motståndssvetsning. Konstellationen har givit både bred och djup kunskap om processen, material, utrustning, avancerade styrningar och produktionsteknik, vilket har varit mycket goda förutsättningar för ett effektivt och målinriktat arbete. Deltagarna i projektet har haft stor erfarenhet och goda kunskaper om dagens produktions- och beredningstekniska lösningar, vilket gav goda möjligheter att maximera nyttan av projektresultaten och möjliggöra startskottet för utvecklingen av en ny, mer pålitlig berednings- och bedömningsmetodik. Projektet har haft tillgång till kvalitets- och statistikexperter vilket gör att de experiment som utförts och den data som genererats kunde analyseras effektivt och relevant. Styrgruppen har bestått av representanter från Swerim, Volvo Cars, Scania, Modul-System och Svetsrådet.

Partner	**Kontaktpersoner**
Volvo Cars	○ Oscar Andersson ○ Martin Olsson ○ Per Lindahl ○ Sune Evertsson
Scania	○ Martin Lundgren ○ Mattias Olsson
Modul-System	○ Anders Carlsson ○ Jakob Alexandersson
Svetsrådet	○ Stefan Borg
Swerim	○ Joakim Hedegård ○ Pia Borg ○ Elias Repper ○ Karl Fahlström ○ David Löveborn ○ Rickard Aldén ○ Felix Lindblom (examensarbetare)