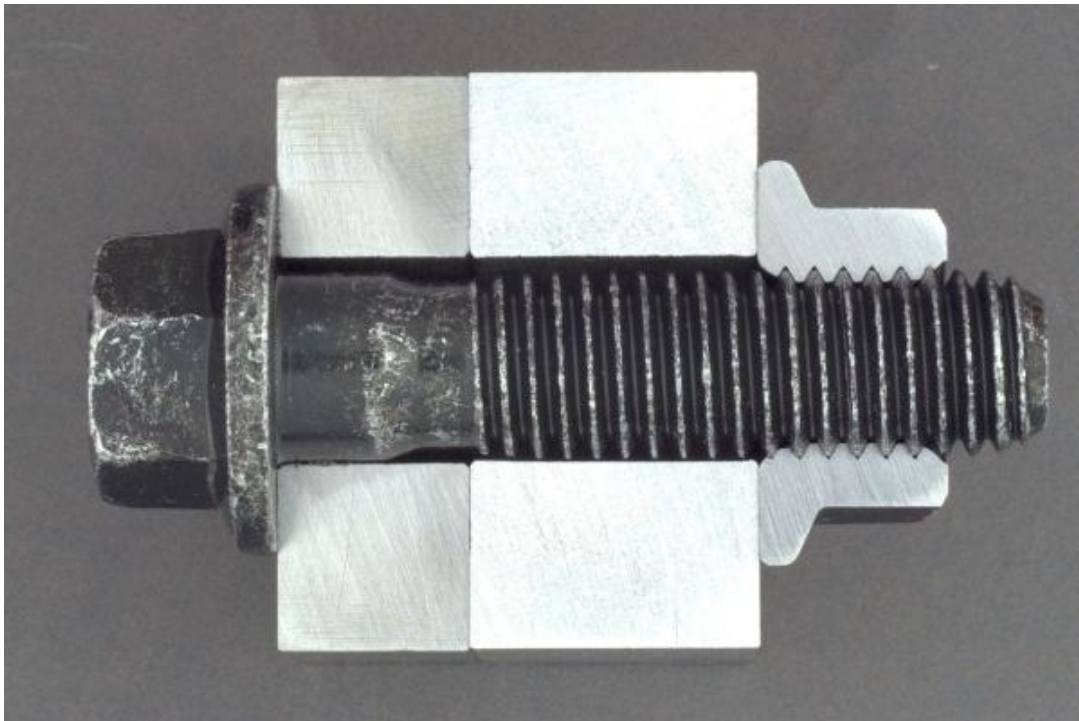


## OptiFastening – Optimerad montering av lättvikts skruvförband



**Skruvförband: Skruv, mutter och två klämda delar.**

Författare     Thomas Hermansson - Volvo Car Corporation  
                    Jan Skogsmo - Swerea IVF  
Datum           110531  
Delprogram    Hållbar produktionsteknik

## Innehåll

<b>1. Sammanfattning</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Bakgrund</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Syfte</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>5</b>
<b>5. Resultat</b> .....	<b>8</b>
5.1 Bidrag till FFI-mål .....	8
<b>6. Spridning och publicering</b> .....	<b>9</b>
6.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	9
6.2 Publikationer .....	9
<b>7. Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>10</b>
<b>8. Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>11</b>

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på [www.vinnova.se/ffi](http://www.vinnova.se/ffi)

## 1. Sammanfattning

Projektet OptiFastening startade 2009 och avslutades 31 maj 2011. OptiFastening är ett projekt för optimerad konstruktion, beredning och montering av lättvikts skruvförband inom fordonsindustrin.

Deltagare är SFN (Swedish Fasteners Network) med svensk fordonsindustri: Volvo Cars; AB Volvo, SAAB Automobile och Scania CV; leverantörer av fästelement och monteringsutrustning: Bulten Sweden och Atlas Copco; samt forskningsinstitutet Swerea med bolagen Swerea IVF och Swerea KIMAB.

Projektets mål har varit att ta fram anvisningar, beräkningsmodeller och andra verktyg för att underlätta optimerad konstruktion och produktion av skruvförband. Projektet har fokuserat på lättvikts skruvförband. Skruvförband i ett fordon kan göras lättare genom att antalet skruvförband minskas och/eller att skruvdimensionerna minskas. Detta innebär att skruvförbandens styrka utnyttjas i högre grad. För att kunna öka utnyttjandegraden av skruvförbanden i serieproduktion av fordon behövs en mer sofistikerad monteringsmekanik, för att kunna minska inflytandet från t ex. spridning i monteringsfriktion. Det behövs också bättre kontroll på hur klämkraften i skruvförband beter sig för olika material och efter olika belastning.

En svensk webbaserad handbok för skruvförband har utvecklats och publicerats, öppen för alla, se [www.sfnskruv.se](http://www.sfnskruv.se). Simuleringsmodeller för skruvförband har utvecklats. De utgör basen för de beräkningsprogram för ultraljudsmätning och styrning av klämkraft samt prediktering av sättning som finns tillgängliga på SFNs hemsida. Möjligheten att använda ultraljud för styrning och uppföljning av montering även vid sträckgränsen, vilket ger maximalt utnyttjande av skruven, har förberetts inom projektet och kommer att utvecklas inom fortsättningsprojektet OptiFastening II (OF II).

Alla aktiviteter inom projektet har haft som mål att resultera i praktiskt användbar information som görs tillgänglig på SFNs hemsida och i handboken.

## 2. Bakgrund

SFN (Swedish Fasteners Network) bildades 2006 för att samordna utveckling av skruvförbandsteknik inom svensk fordonsindustri. Deltagare är svensk fordonsindustri: Volvo Cars; AB Volvo, SAAB Automobile och Scania CV; leverantörer av fästelement och monteringsutrustning: Bulten Sweden och Atlas Copco; samt forskningsinstitutet Swerea med bolagen Swerea IVF och Swerea KIMAB.

Skruvförband är en nyckelteknologi för montering av personbilar, lastbilar och andra fordon. En modern bil har ca 2 000 skruvförband, varav ca 100 är säkerhetsklassificerade. Det totala värdet av de skruvförband som produceras årligen inom den svenska fordonsindustrin uppskattas till ca 10 miljarder SEK.

För att minska vikten på skruvförbanden i sig finns det två vägar:

1) lättare skruvar eller 2) färre förband.

Skruvarna kan göras lättare genom en högre utnyttjandegrad av befintliga skruvdimensioner (sträckgränsmontering) eller genom att byta till ett starkare skruvstål. På så sätt kan förbandet minskas en dimension och vikten reduceras med ca 40 gram per fognpunkt i ett typiskt förband. Färre förband kan användas om livscykelbelastning och förbandets sättning är känd. För fullt utnyttjande av skruvförbanden krävs optimerad monterings teknik och full kontroll på de viktiga parametrarna, som friktion, hastighet, moment, vibrationer och klämkraft. Informationen måste vara lätt tillgänglig för personal inom konstruktion, beredning och produktion.

## 3. Syfte

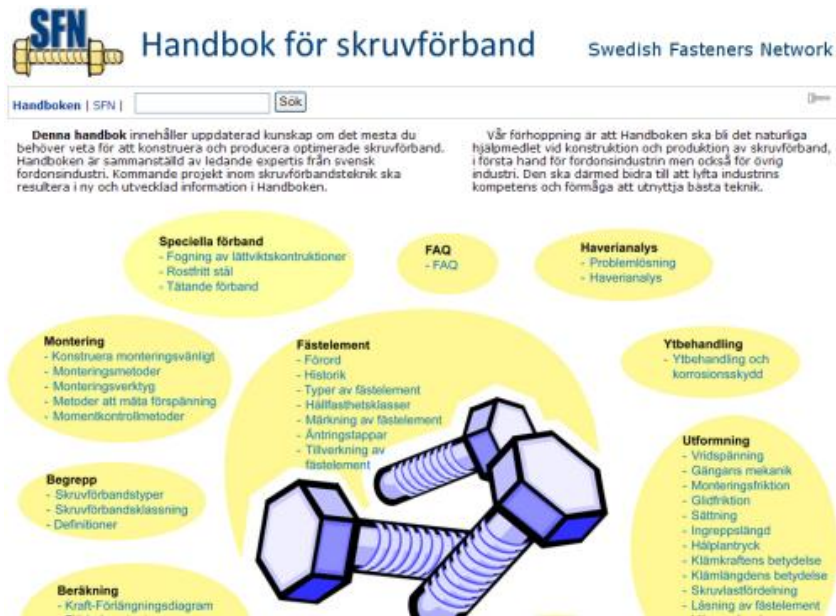
Syftet med projektet har varit att ge anvisningar och andra verktyg till konstruktörer, beredare och montörer för att stötta optimerad konstruktion och montering för ökad utnyttjandegrad och därigenom sänkt vikt i skruvförbanden i fordon. För att kunna utnyttja ultraljud för styrning och uppföljning av klämkraft behövde simuleringsmodeller för spänningsfördelning i skruvförbanden utvecklas. De utgör basen för de beräkningsprogram för ultraljudsmätning och styrning av klämkraft samt prediktering av sättning som finns på SFNs hemsida. Möjligheten att använda ultraljud för styrning och uppföljning av montering även vid sträckgränsen, vilket ger maximalt utnyttjande av skruven, skulle utvärderas inom projektet och kommer att utvecklas för produktion inom fortsättningsprojektet OptiFastening II (OF II).

Syftet med alla aktiviteter inom projektet var att de ska resultera i praktiskt användbar information som finns lätt tillgänglig på SFNs hemsida och i handboken.

## 4. Genomförande

### Handboken

Handboken har tagits fram genom att en ansvarig författare samt medförfattare från projektgruppen har producerat respektive kapitel. Dessa har sedan gått på korrektur till hela projektgruppen. Swerea har anpassat innehållet till ett enhetligt webbformat. När alla har godkänt innehållet har det publicerats på webben, se [www.sfnskruv.se](http://www.sfnskruv.se) och välj "Handbok". Den presenterade informationen är därmed konsensus för svensk fordonsindustri. Information tillförs och förfinas löpande.

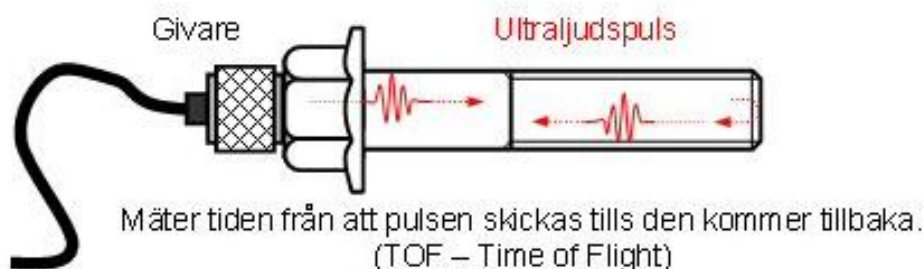


Figur 1. Handbok i skruvförband, [www.sfnskruv.se](http://www.sfnskruv.se).

### Modell för beräkning av spänningsfördelning och ultraljuds ToF

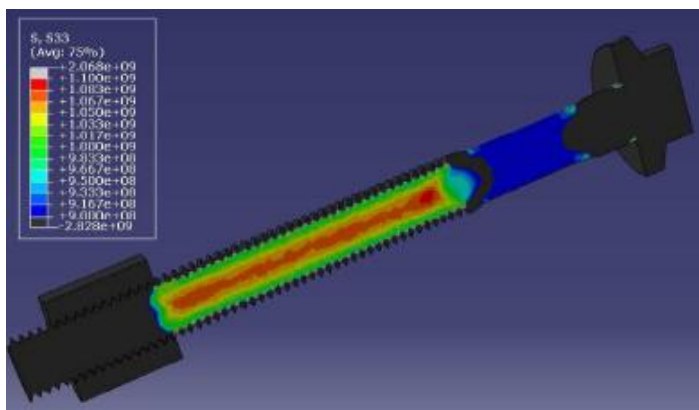
Ultraljud används som en form av ekolod. Man mäter skruvens längd genom att mäta den tid det tar för en ultraljudspuls att färdas fram och tillbaka genom skruven, se figur 2.

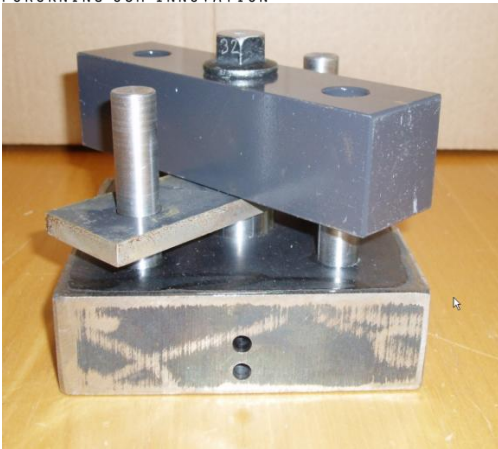
Ultraljudets ToF (flygtid) påverkas huvudsakligen av a) skruvens längd och b) skruvens spänningstillstånd. Spänningstillståndet har betydligt större inverkan än längdförändringen. Även temperaturen inverkar på ToF. Spänningen i skruven är inte jämnt fördelad utan varierar utefter längden och tvärsnittet beroende på hur förbandet ser ut och hur det har monterats. Beredningsingenjörer kan använda ultraljudsmodellen för att beräkna den flygtid (ToF) som motsvaras av den önskade klämkräften för ett visst förband.



**Figur 2.** Principen för ultraljudsmätning av skruv.

Simulerings tekniken, med en FE-modell för spänningsfördelning för att få klämkraft i skruvförband som funktion av ultraljudsflygtiden, har utvecklats till ett användbart verktyg för att konstruera optimerade skruvförband. Avsikten är att vidareutveckla modellen för att både ge bättre stöd vid avancerad beräkning och för att förbättra enkla beräkningsmodeller.



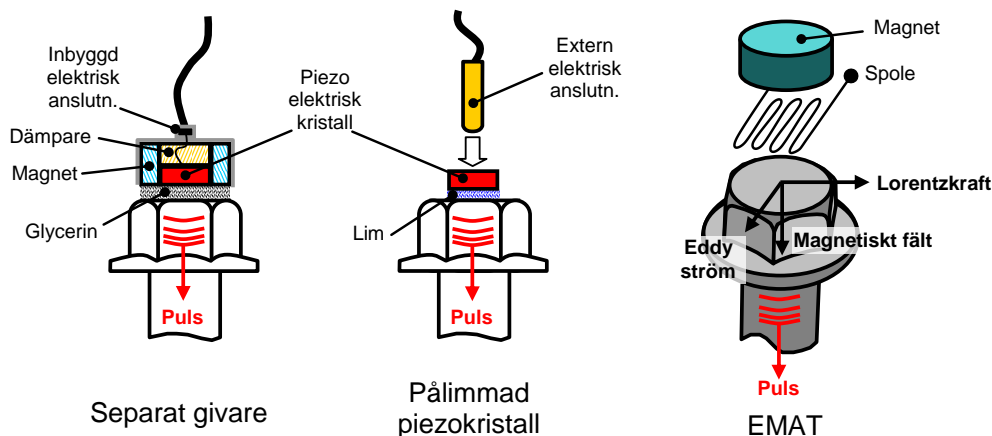


**Figur 4.** Monterad provkropp i fixtur.

### Alternativa ultraljudstekniker

Alternativa intressanta ultraljudstekniker har analyserats, se figur 5 för en av dem: EMAT = Electro Magnetic Acoustic Transducer. Detta är en teknik som inte kräver en direkt kontakt mellan skruv och givare utan ultraljudet genereras direkt i skruvskallen. Därmed behövs inget kopplingsmedium mellan givare och skruvskalle, vilket är av mycket stort värde för produktionsmässig mätning.

En annan teknik som har utvärderats är bi-wave. Denna baseras på att både longitudinella och transversella vågor används. Dessa två vågor påverkas olika av spänningar i materialet och detta kan användas för att mäta spänningarna. Det innebär att klämkraften kan mätas direkt utan att skruven har mätts upp innan montering.



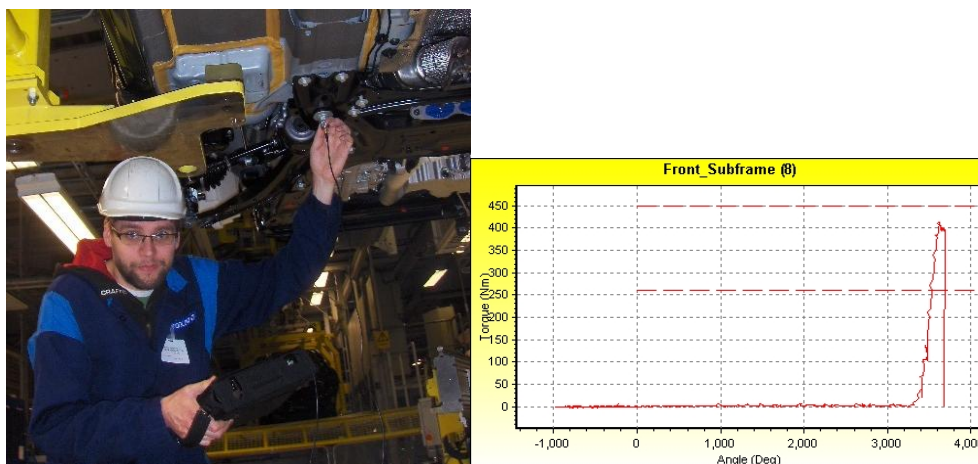
**Figur 5.** Vänster: Separat givare för longitudinella vågor. Glycerin kan ej överföra transversella vågor. Mitten: Pålimmad piezokristall, kan principiellt användas även för transversella vågor. Höger: Princip för EMAT-givare. Kan generera både transversella och longitudinella vågor.



Det är fullt möjligt att kombinera EMAT och bi-wave teknikerna. Att kunna mäta klämkraften direkt utan föregående mätning av ultraljudssignalen från den obelastade skruven och att kunna göra det utan att använda kladdigt glycerin som kopplingsmedium är av mycket stort värde inte bara för fordonsindustrin utan minst lika intressant för flygplan, fartyg, vindkraftverk, master, broar och andra konstruktioner med kritiska skruvförband. Om metoden kan möjliggöra stabil montering till eller nära sträckgräns så ger det mycket ökade möjligheter till att uppnå optimerade skruvförband, lättare konstruktioner och förenklad uppföljning och kvalitetssäkring.

### Ultraljudsuppföljning av klämkraftskritiska förband i produktion

Uppföljning av klämkraft i kritiska skruvförband har utförts med ultraljud i produktionen på fordonsföretagen. Avsikten var att välja ut lämpliga förband för produktionsmässig uppföljning samt att ge en förstudie för praktiskt genomförande och kravspecifikation av utrustningen.



**Figur 6.** Uppföljning av klämkraft i produktion på Volvo Cars med ultraljudsmätning samt moment-vinkelkurva för monteringsförloppet.

## 5. Resultat

### 5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet har bidragit till åtskilliga av de mål som är uppsatta för programmet:

- Lättare skruvförband ger lättare fordon och därmed minskade koldioxidutsläpp.
- Utveckling av skruvförbandsteknik ger ökade möjligheter att införa lättviktskonstruktioner och konstruktioner sammansatta av olika material.



- Projektet har medfört täta kontakter mellan fordonsföretagen och viktiga leverantörer.
- Erfarenhetsutbytet som har skett är mycket värdefullt för att öka kunskaperna, skapa konsensus och stärka svensk fordonsindustri och dess leverantörer.
- Projektet bidrar till direkt teknik- och kompetensuppbyggnad på alla nivåer inom verkstadsindustrin, inte enbart fordonsindustrin, genom att informationen finns lätt tillgänglig på hemsidan och i handboken.
- Handboken kan användas för att ta fram utbildning inom produktionsteknik.
- Projektet har haft som mål att alla aktiviteter ger användbar information som presenteras på hemsidan och i handboken.
- Program för simulering av skruvförband har tagits fram. De kan användas för att konstruera optimerade skruvförband och för att förutsäga det ultraljudssvar som motsvarar en bestämd klämkraft vilket är av stort värde för industrin.
- Handboken och de framtagna kalkylprogrammen underlättar konstruktion och produktion av optimerade skruvförband vilket är viktigt för att stärka konkurrenskraften.
- Det bildade nätverket SFN, representerande svensk fordonsindustri, är en kraftfull forskningspartner med god internationell konkurrenskraft.

## 6. Spridning och publicering

### 6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Handboken finns tillgänglig på [www.sfnskruv.se](http://www.sfnskruv.se).

Förutom handbokens ca 50 informativa kapitel finns där också kalkylprogram för beräkning av ultraljudssvar från monterade skruvar samt beräkning av nivå på sättning hos skruvförband.

Användning av handboken som informationskälla marknadsförs av projektdeltagarna på sina respektive företag samt externt genom artiklar och hänvisningar.

### 6.2 Publikationer

Ett internationellt seminarium på Swerea IVF den 2009-10-06.

IVF rapport ”Ultrasonic testing for determination of clamping force”, Swerea IVF, 2009.

The usage of ultrasonic testing for determination of clamping force – measuring ToF  
Summary of presentations, International meeting, Report Swerea IVF (2009)

FEM simulation of tightening into the plastic region of an M12, ISO 10.9 screw joint,  
Nathaniel Chia, Report KIMAB-2008-138 (2009).

”Simulation based calibration for clamping force prediction in bolted joints with use of ultrasonic measurement”, Chunhui Luo, Niclas Stenberg Swerea KIMAB, Carl Carlin, Arne Roloff, Atlas Copco Tools and Assembly Systems, a paper from Swedish Fasteners Network. To be submitted to scientific journal, 2011.

”Introduktion till klämkräftsmätning i skruvförband med hjälp av ultraljud”, Sammanställning av State-of-the-Art, SFN, maj 2011.

## 7. Slutsatser och fortsatt forskning

Skruvförband är och kommer att fortsätta att vara en mycket viktig komponent vid montering av fordon. Skruvförbandens prestanda utnyttjas idag till knappt 75 %. Genom att öka utnyttjandegraden blir skruvförbanden säkrare och kan göras lättare. För detta krävs stabila monteringsmetoder, bättre kontroll på ingående parametrar och ökad kunskap om hur skruvförbanden beter sig vid montering och under drift.

- Projektet har utvecklat simuleringsmodeller där spänningarna i skruvförband kan beräknas. Detta kan användas för att optimera konstruktionen.
- Modellerna kan användas för att förutsäga vilket ultraljudssvar som motsvarar en bestämd klämkräft. Detta ger möjlighet att använda ultraljud för uppföljning och även för styrning av klämkräft.
- Utvärderingarna visar att det finns goda möjligheter att införa ultraljud för klämkräftsmätning i produktionen.
- Handboken har utvecklats till ett viktigt verktyg som nu används på företagen.
- Kalkylmodeller för vilket ultraljudssvar som motsvarar en viss klämkräft samt för beräkning av sättning har införts på hemsidan.

Skruvförband är en komplex konstruktion som påverkas av en mängd olika faktorer, material och belastningar. Under projektet har det framkommit att de framtagna modellerna behöver förfinas och utökad provning behöver genomföras. Det som främst ska genomföras inom fortsättningsprojektet OptiFastening II är:

- Interaktiva beräkningshjälpmedel för övervakningsgränser för ultraljud ska tas fram och införas på SFNs hemsida.
- Simuleringsmodellen för spänningsfördelning behöver utvecklas för sträckgränsmontering.

- Det ska utvecklas ett användargränssnitt som ger konstruktörer möjlighet att räkna ut skruvförbandets styvhet och utföra analys av spänningsfördelning.
- Försöksserien för framtagning av modeller för sättning ska utökas för att ge en säkrare prediktering för olika material och efter dynamisk belastning. Det behöver också tas fram en testcykel för sättning sett ur ett livscykelperspektiv.
- Produktionsutvärdering av ultraljudsutrustningar, inkluderande EMAT och bi-wave ska utföras.
- Handboken ska utökas med nya kapitel och utökad information

## 8. Deltagande parter och kontaktpersoner



Kurt Andersson, Skruvförbandsspecialist, Bulten Sweden AB,  
[kurt.andersson@bulten.com](mailto:kurt.andersson@bulten.com) , tel: +46705691356

Lars Oxelmark, Kompetens manager, Åtdragningsteknik, Scania CV AB,  
[lars.oxelmark@scania.com](mailto:lars.oxelmark@scania.com) , tel:+ 46702900035

Göran Toth, teknisk specialist skruvförband, Saab Automobile AB/VICURA AB,  
[goran.toth@vicura.se](mailto:goran.toth@vicura.se) , tel: +46701678217

Filip Bergman, Material- och skruvförbandsspecialist, Volvo Powertrain Corporation,  
[filip.bergman@volvo.com](mailto:filip.bergman@volvo.com) , tel: +46313223362

Carl Carlin, General Manager, Atlas Copco Tools AB,  
[carl.carlin@se.atlascopco.com](mailto:carl.carlin@se.atlascopco.com) , tel: +46706336690

Niclas Stenberg, Senior forskare, Swerea KIMAB AB,  
[niclas.stenberg@swerea.se](mailto:niclas.stenberg@swerea.se) , tel: +46734169838

Jan Skogsmo, Projektledare, Swerea IVF AB,  
[jan.skogsmo@swerea.se](mailto:jan.skogsmo@swerea.se) , tel: +46707806042

Thomas Hermansson. Skruvförbandsspecialist, Volvo Personvagnar,  
[therma14@volvocars.com](mailto:therma14@volvocars.com) , tel: +46313252387.

***Notis 1***

Carl Carlin kommer att ersättas i fortsättningsprojektet då han är nybliven pensionär. Projektgruppen tackar Calle för ett mycket givande samarbete och många insiktsfulla och värdefulla inlägg.

Ny kontaktperson för Atlas Copco blir:

Erik Persson, Team leader tightening technique, Atlas Copco Tools AB  
[erik.persson@se.atlascopco.com](mailto:erik.persson@se.atlascopco.com) , tel: +46706199425

***Notis 2***

SAABs del i fortsättningsprojektet kommer att fördelas mellan SAAB Automobile AB och VICURA AB.

Ny kontaktperson för SAAB blir:

Peter Lidman, SAAB Automobile AB  
[peter.lidman@saab.com](mailto:peter.lidman@saab.com) , tel +4652084511

**Göran Toth fortsätter som kontaktperson för VICURA AB.**