

OptiFastening II

Optimerad montering av lättvikts skruvförband

Öppen slutrapport



Författare Jan Skogsmo och projektgrupp OptiFastening
 Datum 141128
 Delprogram FFI - Hållbar Produktionsteknik

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	4
4. Genomförande.....	6
5. Resultat	8
5.1 Bidrag till FFI-mål	8
6. Spridning och publicering.....	20
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	20
6.2 Publikationer	21
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	21
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	22

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

1. Sammanfattning

Detta projekt är en direkt fortsättning på FFI-projektet OptiFastening, Dnr 2009-00299, som avslutades 2011-03-31. Projektet avser att omsätta den framtagna informationen till förbättrade rutiner och processer inom fordonsindustrin. Projektet fokuserar på optimerad konstruktion och produktion av viktoptimerade skruvförband.

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. Färre förband kan användas om livscykelbelastning och förbandets sättning är känd. Detta sparar kostnader även för montering. I båda fallen behövs en mer sofistikerad monteringsteknik för att kunna minska inflytandet från spridning i bl a monteringsfriktion.

Ultraljudsstyrd montering till strax under skruvens sträckgräns och ultraljudsövervakad montering till strax över skruvens sträckgräns är här en teknologi som projektet kommer att visa på. Oförstörande kontroll med hjälp av ultraljud kommer också att utvecklas i projektet.

De framtagna processerna och informationen ska ge konstruktörer, beredare och produktionstekniker verktyg, bl a i form av användarvänliga predikteringsmodeller, som behövs för att framställa lätta, säkra och ekonomiska skruvförband.

Budget: 8 MSEK Sökt support från VINNOVA: 4 MSEK
Tidsperiod: 2012-01-01 – 2014-12-31

Deltagare: Volvo Car Corporation (PL), Scania CV, Volvo Powertrain, Vicura, Bulten Sweden, Atlas Copco Tools, Swerea KIMAB, Swerea IVF.

2. Bakgrund

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. En lastbil har ungefär samma antal men då skruvdimensionen är större blir totalvikten för skruvarna ca 200 kg medan den blir ca 25 kg för en personbil. Det totala värdet av de skruvförband som produceras årligen inom den svenska fordonsindustrin uppskattas till 10 miljarder SEK.

Ökat fokus på CO₂-utsläpp och bättre bränsleeffektivitet tillsammans med säkrare och bättre utrustade fordon med bra prestanda är en ekvation som är svår att lösa. Den huvudsakliga vägen är att minska fordonens vikt. Detta sätter fokus på användning av lättviktsmaterial och att utnyttja materialens egenskaper fullt ut.

Lättviktskonstruktioner kommer i ökande utsträckning att baseras på konstruktioner med komponenter i olika material. När olika material ska fogas är skruvförband en av de tillgängliga teknikerna, tillsammans med annan mekanisk fogning och limning. Skruvförband med blandade material ställer stora krav på processen, val av yttryck, galvanisk korrosion, olika friktionsvärden och termisk utvidgningskoefficient etc.

För att minska vikten på skruvförbanden i sig finns det två vägar: lättare skruvar eller färre förband. Skruvarna kan göras lättare genom att mindre dimensioner med högre styrka används och också genom att man utnyttjar skruvens hela styrka. Höghållfasta skruvar där hela klämkraften utnyttjas kräver mer av monteringsmekaniken. Inflytandet av variation i friktionsvärden måste minimeras och skruvdragarna måste vara mycket exakta för att nå den önskade klämkraften med hög precision och repeterbarhet.

3. Syfte

Syftet med projektet var att ta fram pålitliga och lättanvända hjälpmedel för att åstadkomma bästa möjliga montering av viktoptimerade skruvförband. Detta har skett genom att utveckla modeller som ger monteringsparametrar utan föregående provning samt modeller som på ett trovärdigt sätt predikterar sättning i klämkraftskritiska förband. Tillsammans med framtagna verktyg för ultraljudsbaserad sträckgränsmontering kan förbanden optimeras, vilket kan ge en stor besparing i vikt och kostnad. Till modellerna har lättanvända gränssnitt utvecklats och publicerats på nätverkets hemsida.

Syftet med projektet var att all framtagen information ska finnas lätt tillgängligt. Det har uppfyllts genom att handboken och beräkningshjälpmedel finns fritt på hemsidan, www.sfnskruv.se.

Syftet med de olika arbetspaketen presenteras kort:**WP1**

Att ta fram ett pedagogiskt användargränssnitt till SFN:s hemsida i vilket sambandet mellan klämkraft och ultraljuds Time-Of-Flight ges av en FE-modell då förbandets geometri är känd, se figur 1. Även förbandsstyvheten för hela och delar av förbandet ska lätt kunna återges.

WP2

Ultraljudsteknik erbjuder möjligheter till produktionseffektivisering, bland annat genom att med noggrannare klämkraftstyrning kunna reducera vikt och kostnad för skruvförband men även genom att bättre och enklare kunna verifiera och kvalitetssäkra processer och utrustningar för sträckgränsdragning. Projektet avser att med två demonstrationer visa detta. Projektet utnyttjar landvinningar från tidigare MERA/ FFI/ VINNOVA arbete inom området FE-modellering av skruvförband och så kallade dry couplants.

WP3

Projektgruppen har i det tidigare projektet inventerat EMAT och Bi-wave teknikerna för ultraljudsmätning av klämkraft och sett att den fungerar i labbmiljö. Syftet var nu att undersöka möjligheterna att även utnyttja teknikerna i produktion. Eftersom vikt- och prestandaoptimerade skruvförband förutsätts utnyttja sträckgränsmontering måste inverkan av plasticering på bi-wave tekniken klargöras. Andra faktorer som inte är klarlagda är inverkan av och kraven på ytjämnhet och ytbehandling på skruvens ändytor samt för vilka skruvdimensioner ultraljudssonden kan anpassas och användas till.

WP4

Att ta fram ett användarvänligt gränssnitt där konstruktörer och andra kan prediktera sättningsförluster med relativt stor noggrannhet i olika typer av förband. Detta ska ge svar på vilken dimension och monteringsmetod som är lämplig för en tänkt komponent. Sättningen i dynamiskt belastade skruvförband med olika material och ytor ska kartläggas och analyseras.

WP5

De från provnings- och simuleringsarbetets utvecklade användargränssnitten för beräkning och prediktering av skruvförband kopplas upp mot SFN:s hemsida (www.sfnskruv.se).

Målet med handboken är att den på sikt ska ge vägledning i flertalet av de frågor som uppstår vid konstruktion, beredning, produktion och underhåll av skruvförband. Handboken vänder sig främst till fordonsindustrin och dess leverantörer. Andra branscher har också mycket information att hämta i handboken.

I detta paket ingår också genomförandet av en internationell konferens.

4. Genomförande

Arbetet fördelades på 5 arbetspaket med ansvarig WP-ledare för vardera paket.

WP1

Framtagande av FE-modell i vilken man kan se hur krafterna utvecklas i förbandet allt eftersom det dras åt. Den befintliga modellen utökas till att bli modulbaserad så att t ex val av skruvskalle och gänglängd innefattas. Detta gör att valfri standardskruv kan modelleras.

Med en korrekt bild av spänningsfördelningen i detta område kan framräkningen av ultraljudssvaret användas till att styra/övervaka åtdragningsmaskiner ända in i sträckgränsområdet för olika skruvtyper. Vidare ska påverkan från gängfriktion vid sträckgränsdragning analyseras så att korrekt noggrannhet kan ges med avseende på relationen mellan klämkraft och ”Time-Of-Flight” ultraljudsrespons.

Elastiska egenskaper hos ett godtyckligt förband räknas fram med detaljerade FE-modeller så att enklare modeller av förband lätt kan tas fram med en mer korrekt styvhet i förbandet. Idag används handberäkning, delvis erfarenhetsbaserad, från ett fåtal prover. Arbetspaketet omfattar behandling av simuleringsresultat samt utveckling av förenklad algoritm samt användargränssnitt lämpligt för handbokens webb-applikation.

WP2

Dragning av skruvförband över sträckgränsen för materialet utnyttjar skruven maximalt. Klämkraftsvariationerna blir dessutom förhållandevis små ($\leq 10\%$) och kommer från variationer i materialets sträckgräns och variationer i gängfriktionen. Monteringen sker antingen som en moment + vinkeldragning eller som en så kallad gradientstyrd montering där man styr monteringen efter lutningen på moment-vinkelkurvan.

I projektet avses att ett antal faktiskt sträckgränsdragna förband hos Volvo AB, Volvo Cars, Saab och Scania identifieras och att någon/några applikationer väljs ut. Prestandademonstration med ultraljudsstyrd montering är det slutliga målet men inledningsvis används ultraljud för verifiering av att rätt klämkraft har uppnåtts.

Tidigare VINNOVA-projekt har utöver FE-modellering bland berört så kallade ”dry couplants”, membran som ersätter det i laboratoriesammanhang använda glycerinet som akustiskt kopplingsmedel. Glycerin är uppenbarligen inte praktiskt i löpande produktion. Atlas Copco Tools and Assembly Systems har parallellt utvecklat ett konceptuellt mutterdragningssystem med spindel, elektronik och styrsystem. Detta är nu tillgängligt för dragning av skruvförband under produktionsförhållanden.

WP3

EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer) är en teknik för att med elektromagnetism generera ultraljud i ytan på materialet. Det innebär att metoden är

beröringsfri och att det därmed inte behövs något kopplingsmedium mellan sonden och skruvskallen. Att inte vara beroende av ett kopplingsmedium är en stor fördel för produktionsanpassad ultraljudsmätning av skruvförband.

Bi-wave är en teknik som använder sig av både transversellt och longitudinellt ultraljud. Då hastigheten hos dessa ljudvågor ändras olika när skruven sträcks går det att mäta spänningen och därmed klämkraften i monterade skruvar utan att dessa har mätts upp innan de monterades. Detta är av synnerligen stort intresse både för direkt styrning och analys av montering av skruvförband och för senare uppföljning av återstående klämkraft.

Projektgruppen har inventerat EMAT och Bi-wave teknikerna och sett att de fungerar i labbmiljö. Det finns frågor som behöver besvaras innan den kan bli aktuell för införande i produktion.

WP4

Varje draget skruvförband tappar klämkraft med tiden. Initialt sker detta i samband med montering och som en anpassning av motgående ytor som kommer i kontakt. 1-10 % av klämkraften går förlorad bara av statisk belastning. För dynamisk höghållfasta förband, t ex chassiförband, sker ytterligare klämkraftreduktion när fordonet används. 10-20 % är normalt men ibland betydligt mer. I detta arbetspaket kommer sättningen i dynamiskt belastade skruvförband med olika material och ytor att kartläggas och analyseras med mål att fylla upp en regressionsmodell (MODDE).

Resultaten analyseras och formuleras till en regressionsmodell som tillfredsställande beskriver sättning i ett valfritt skruvförband. Sättningskurvor för de olika försöken genereras. Ett användarvänligt gränssnitt för regressionsmodellen kommer att tas fram. Detta kommer att vara webbaserat med tillgång genom SFN-handbokens hemsida.

WP5

De från provnings- och simuleringsarbetet utvecklade användargränssnitten för beräkning och prediktering av skruvförband kopplas upp mot SFN:s hemsida (www.sfnskruv.se). Målet med alla aktiviteter inom OptiFastening II är att de resulterar i information som införs i handboken till gagn för svensk fordonsindustri. SFN:s hemsida och Handboken kommer också att omfatta beräkningsmodeller och interaktiva hjälpmedel för konstruktion och produktion av skruvförband.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet kommer att bidra till minskad bränsleförbrukning och minskade CO2 utsläpp från fordon. Detta möjliggörs genom att projektet har utvecklat bättre processer för konstruktion, styrning och övervakning av skruvförband så deras egenskaper kan utnyttjas fullt ut. Idag utnyttjas många skruvförband endast till halva kapaciteten eller lägre. Projektet kommer att medföra att skruvförbandens antal och dimensioner kan reduceras vilket möjliggör en viktreduktion av skruvförband och därmed en viktreduktion av fordonet.

Projektet kommer också att medföra en effektivare konstruktion och beredning av skruvförband genom att de framtagna modellerna kan användas för att beräkna vilket ultraljudssvar som ska ges för att en viss klämkraft ska vara uppnådd. Detta blir då oberoende av variationer i friktionsvärden.

Uppföljning av resulterande och även av kvarvarande klämkraft efter användning kommer att förenklas betydligt och bli helt oförstörande eftersom uppmätning av ultraljudssignalen inte kräver demontering eller annan fysisk påverkan av förbandet. Detta kan på sikt bidra till att öka företagets konkurrenskraft.

Genom att kunna förutsäga vilken sättning ett visst förband kommer att få kommer det att bli lättare att välja rätt dimension och typ av förband och därmed att optimera konstruktionen.

Skruvförband är en kärnteknik för montering av fordon. Genom att utveckla tekniken bidrar vi till att förbättra möjligheterna att behålla och utöka avancerad industriell produktion i Sverige. Det har tidigare varit sparsamt med större utvecklingsinsatser inom detta område.

Projektet kommer att öka kompetensen hos svensk fordonsindustri och dess leverantörer och bidra till att fordonsföretagen ligger i den internationella fronten. Informationen som har tagits fram finns fritt tillgänglig på projektets hemsida, vilket medför att också andra branscher kan ha stor nytta av den. Informationen som presenteras i handboken kommer också att kunna användas till kursmaterial, både för produktionsteknisk utbildning inom verkstadsindustrin och för utbildning på universitet, högskolor och forskningsinstitut.

Det nätverk (SFN = Swedish Fasteners Network) som har bildats inom fordonsindustrin och utvecklats genom projekten OptiFastening är mycket viktigt för kontakter och erfarenhetsutbyte mellan företagen. Genom att vi arbetar för samsyn inom skruvförbandsteknik bildar vi en bra grund för en förbättrad och snabbare utveckling i Sverige.

5.2 Sammanfattning av de 5 arbetspaketen

WP1: FE-analys av skruvförband med mål att ge enkla användargränssnitt till resultaten. Även indata till WP5.

En parameterstyrd FE-modell som representerar ett förband har tagits fram. Det är en tredimensionell modell. Det innebär att alla spänningskomponenterna tas med när spänningsbilden studeras. Friktionskoefficienten har antagits vara 0.1. I Figur 1 visas en bild på ett av de förband som studerades.

Ett stort antal olika simuleringar genomfördes för att skapa en bas för det interaktiva användargränssnittet. Det som varierades var, gängdimension, material i gods och gänga, olika typer av skalle och olika typer av mutter.

Simuleringarna har använts till att ge spänningsbilden i centrum på skruven. Målet är att kunna beskriva tiden en ultraljudspuls tillbringar i skruven, om den startar i skallen, som en funktion av uppnådd klämkraft. Eftersom hastigheten på ultraljudspulsen i skruvmaterialet är starkt beroende av spänningen som den går i ger spänningsbilden en nödvändig information till tidsberäkningen. Nedan ses ljudhastigheten som funktion av spänningen.

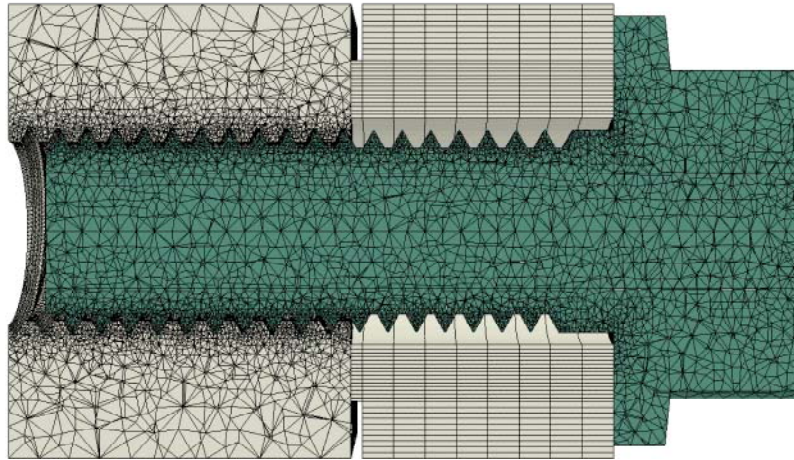
$$\frac{v_0 - v}{v_0} = \frac{A}{C} \sigma_i + \frac{B}{C} (\sigma_j + \sigma_k)$$

$$A = 2(\lambda + \mu)(4m + 5\lambda + 10\mu + 2l) - 2\lambda(2l + \lambda)$$

$$B = 2(2l + \lambda)(\lambda + \mu) - \lambda(2l + \lambda) - \lambda(4m + 5\lambda + 10\mu + 2l)$$

$$C = -4\mu(\lambda + 2\mu)(3\lambda + 2\mu)$$

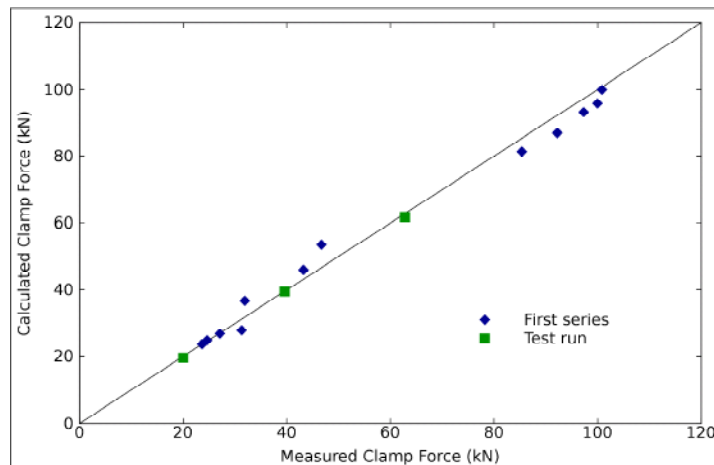
Alla konstanter (λ , μ , l , m) som bygger upp till A, B & C är elastiska materialkonstanter. Ur FE-simuleringarna så fås också en mer exakt förbandsstyvhet än vad som fås när de empiriska modellerna i t ex VDI-2230 används.



Figur 1. Modell av ett av de studerade förbanden.

I projektet mättes de elastiska konstanterna upp för materialet 10.9 från två olika tillverkare. Medelvärden för konstanterna från dessa mätningar användes för att beskriva sambandet mellan klämkraft och Δ TOF. Speciell utrustning användes för att kunna mäta l & m som endast går att bestämma då materialet är under belastning. Poissons tal och E-modulen mättes på traditionellt vis.

Genom att kombinera materialmätningarna med resultaten från FE-simuleringarna går det att räkna ut den tid som en ultraljudspuls tillbringar i en skruv med 10.9 kvalitet och bestämma den extra tid (Δ TOF) som åtgår när skruven har monterats och är under belastning, Figur 2..



Figur 2. Efter analys med FE-baserad spänningsbild och ett medelvärde av alla uppmätta elastiska konstanter för 10.9 material.

WP2 Demonstration av styrning och övervakning av skruvförband med hjälp av ultraljudsteknik. Även indata till WP1.**Ultraljudskontrollerad åtdragning av skruvförband på Scania CV.**

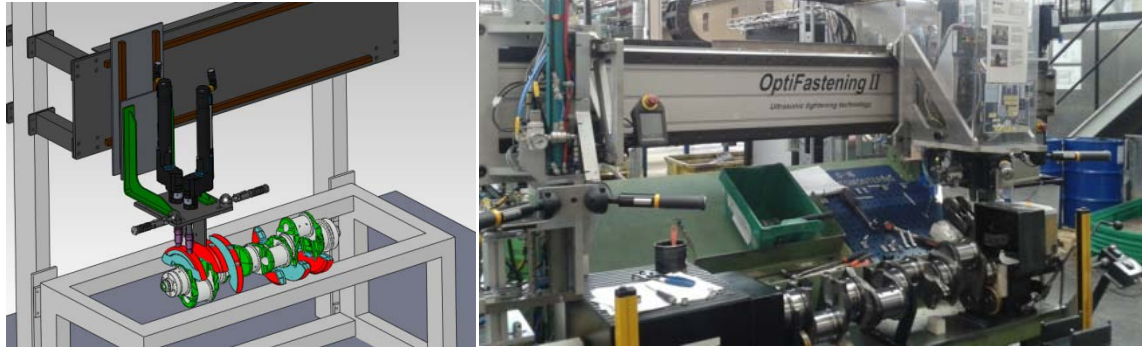
Det som styr klämkraften i ett skruvförband är förlängningen av skruven, vid användning av ultraljud så mäts ToF (time-of-flight) alltså tiden det tar för ultraljudssignalen att gå genom skruven och studsa tillbaka. Projektets mål har varit att styra åtdragningen med hjälp av ultraljudsteknik med 100 % godkända styrningar och med en spridning mindre än 10 % från verklig klämkraft.

En åtdragningsutrusning har tagits fram tillsammans med Atlas Copco Industrial Technique AB för montering av motvikter på Scanias vevaxlar i produktion. Provriggen på Atlas Copco inkluderar en lastcell för att mäta sann klämkraft, en muttergänga och en distansdel med samma klämlängd som för monteringen av motvikter på vevaxlar på Scania, se figur 3.



Figur 3. Atlas Copcos provrigg för utveckling av ultraljudsmontering.

I produktionsmiljö på Scania, se figur 4, efter 10 000 dragningar var utfallet 99,9% med godkänd ultraljudsignal och i labbmiljö var antalet godkända dragningar 100 % och spridningen i klämkraft mindre än ± 2.5 % för de skruvar som används i fältprovet. I detta fel ingår fel i hela mät- och styrsystemet, men även fel beroende på toleranser i skruvmaterial och dimensioner.



Figur 4. Ultraljudsövervakad sträckgränsdragning VÄNSTER: Schematisk illustration; HÖGER: Produktionsutrustning på plats på Scania CV.

Ultraljudsteknik på Volvo Cars

Så kallad sträckgränsmontering används i kraftöverförande förband för att på så sätt åstadkomma högsta möjliga hållfasthet med minst antal skruv av minsta möjlig dimension också då produkten har använts. Sträckgränsdragning har idag en relativt omständlig kontrollmetod. Audit med ultraljud utgör här ett mycket intressant alternativ då denna metod är icke förstörande.

Dagens metod (se figur 5 vänster)

Mekanisk mätning genomförs genom att:

1. Mäta skruvens längd innan montering
2. Montera
3. Demontera
4. Mäta demonterad skruv
5. Återmontera förbandet med ny skruv

Morgondagens metod (se figur 5 höger)

Med ultraljud kan följande mätschema användas:

1. Mätning innan montering
2. Mätning monterad skruv



Figur 5. Utrustning för mekanisk längdmätning (vänster) och ultraljud (höger).

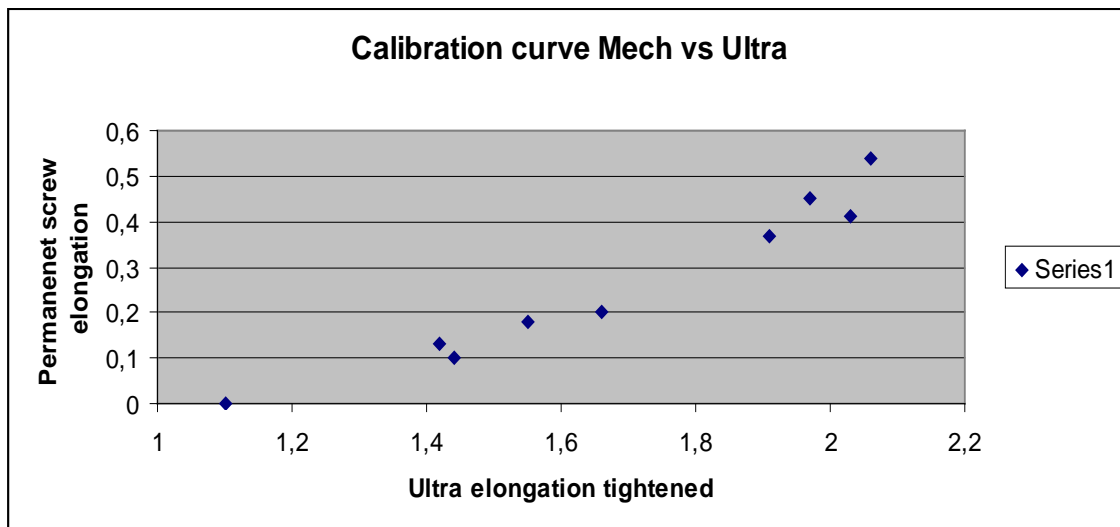
Eftersom vi ska mäta på sträckgränsdragen skruv är det idag lämpligt att ta fram en så kallad kalibreringskurva. D v s man mäter både mekanisk och med ultraljud och översätter mekaniska krav till ultraljudsvärden.

Aktuellt förband monteras till olika nivåer av permanent skruvförlängning.

Ultraljudssignal mäts på monterat förband. Än så länge kan mätning med god precision enbart utföras på stillastående objekt

Mekaniskt mätt permanent skruvförlängning sätts som en funktion av ultraljudsförlängning monterat förband, se figur 6.

I exemplet nedan sätt ultraljudsgränserna till min 1.3 och max 1.7



Figur 6. Kalibreringskurva för ultraljudsförlängning mot mekanisk förlängning.

Speciella skruvar måste anskaffas, merkostnad ca 5 %. Skruvens ändytor måste vara jämna och planparallella och att det måste vara rikligt med glycerin för att få bra kontakt och få signal. Glycerinet måste hanteras varsamt, så man inte smörjer gängorna på skruv/muttrar och orsakar lägre monteringsfriktion.

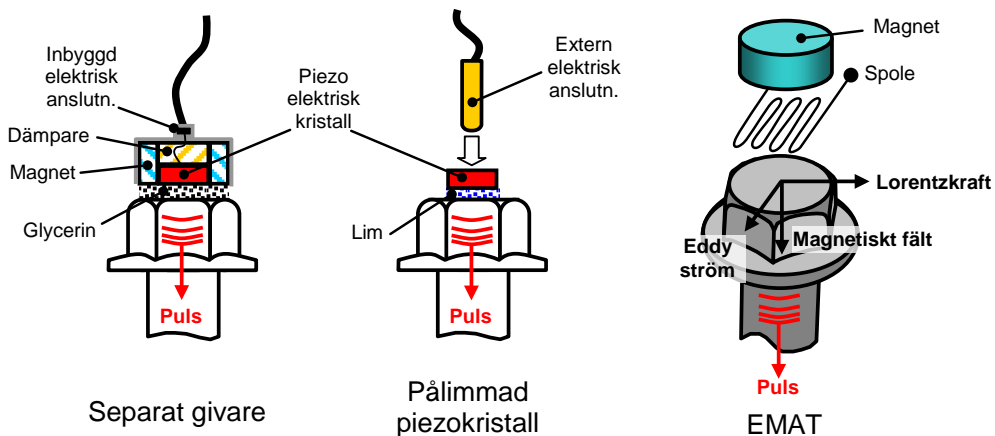
Mätmetoden har potential att vara betydligt snabbare än dagens metod eftersom man slipper demontering och återmonteringen. Metoden kräver utbildad personal och en stillastående station för att ge relevanta mätresultat. Sammantaget är inte den aktuella metoden och utrustningen ännu tillräckligt stabil och utvecklad för produktionsmiljöer.

WP3 Utvärdering av alternative ultraljudstekniker (EMAT/Bi-wave) för produktionsapplikationer. Även indata till WP2.

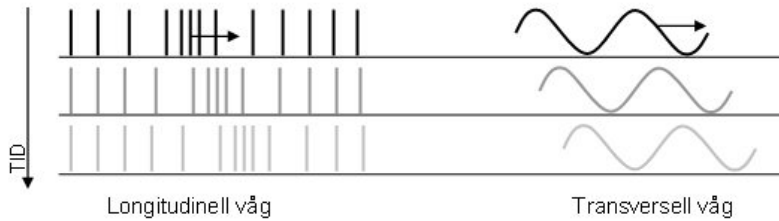
EMAT (Electro Magnetic Acoustic Transducer) är en teknik för att med elektromagnetism generera en ultraljudspuls i ytan på materialet som skall undersökas. Detta är en teknik som inte kräver en direkt kontakt mellan skruv och givare utan ultraljudet genereras direkt i skruvskallen. Det innebär att metoden är i princip beröringsfri och att det därmed inte behövs något kopplingsmedium mellan sonden och skruvskallen, vilket är fallet med traditionellt använd ultraljudsteknik. Att inte vara beroende av ett kopplingsmedium skulle vara en stor fördel för produktionsanpassad ultraljudsmätning av skruvförband.

Projektet hade som avsikt att utföra:

1. Inventering och utvärdering av lämplig tillgänglig utrustning.
2. Utredning av möjligheter och begränsningar för EMAT-tekniken.
3. Utredning av bi-wave teknikens kapacitet för sträckgränsmontering.
4. Produktionsanpassad utvärdering mha Atlas Copco och Fordonstillverkare



Figur 7. 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.



Figur 8. Longitudinella och transversella vågor.

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

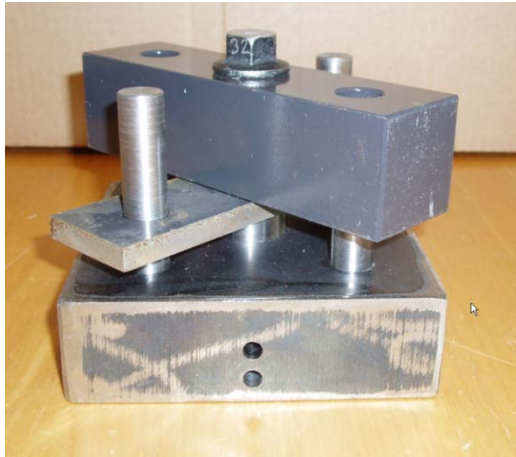
EMAT och bi-wave har utvärderats i labbmiljö på forskningsinstitutet CETIM i Frankrike och vi följer företaget Innerspec Technologies utveckling av en produktionsanpassad utrustning. När denna finns tillgänglig, vilket var aviserat till hösten 2011, skulle den utvärderas inom OF II. Den har dock ännu inte kommit hösten 2014. Alternativa leverantörer med kommersiellt tillgängliga system har inte kunnat finnas.

Projektgruppen beslutade under våren 2013 att EMAT-tekniken fortfarande är intressant men med de begränsade resurser projektet förfogade över beslutades att vi inte skall driva egen utveckling av mätutrustning utan att arbetspaketet (WP3) avslutas och resurserna överförs till de andra arbetspaketen.

WP4 Användargränssnitt för konstruktion av sättningskänsliga klämkräftskritiska skruvförband. Även indata till WP5.

Typiska förband där sättningsförluster kan komma ifråga identifierades; kraftöverförande chassi- och drivlineförband i dimensionerna M8 till M14. Normalt förekommande skruvlängder (klämlängder) och med representativa material; ytbehandlat stål, aluminium och obehandlat stål specificerades. Provkropparnas geometri (figur 9 vänster) anpassades för dynamisk provning i MTS maskin fastställdes.

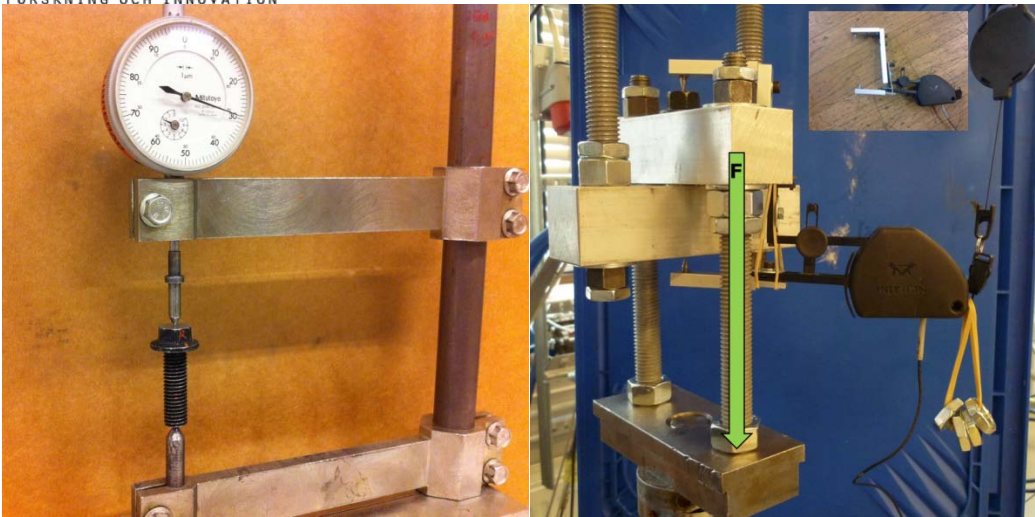
Faktorer som vi ville studera var initial kraft, åtdragningshastighet, kontaktareans storlek, ytans inverkan (olika material och lackering), skruvens diameter och klämlängd, se figur nedan. För att begränsa antalet provkroppar användes SFP, statistisk försöksplanering, med hjälp av programvaran Modde. Utvärderingen av provningen har skett med samma mjukvara.



Figur 9. Provkroppsgeometri och fixtur (nederst i bilden till vänster) som användes vid åtdragning av skruvförbandet (höger).

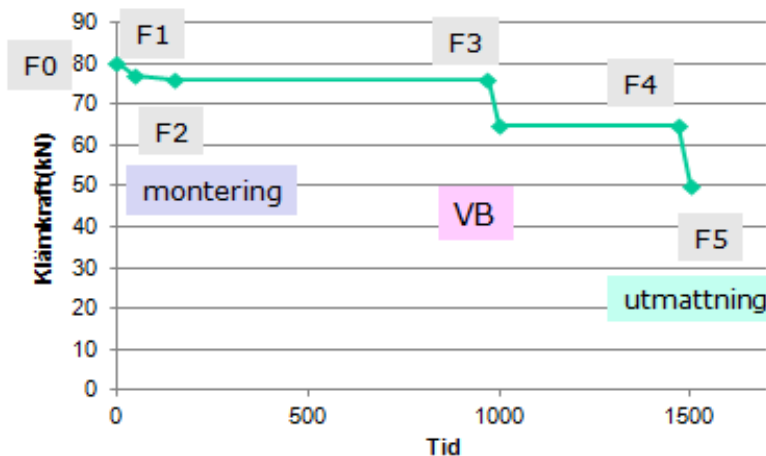
Nästa steg i provningen var att utsätta förbanden för värmepåverkan som liknar fältmässiga förhållanden. Förbanden lades in i värmeskåp med likadana förband som försetts med påsvetsade termoelement för att följa temperaturförloppet. Vissa förband uteslöts från provningen och betecknas RT (låg temperatur) medan de rena stål och aluminiumförbanden fick ligga vid 90 och 120 °C och de lackerade förbanden utsattes för 60 och 90 °C i 24 timmar. Skruvlängden mättes före och efter testet.

De dynamiska lastförsöken efterliknar lågcykelutmattning, som när man kör ner i en grop, alltså inte tusentals små vibrationer utan relativt stora laster i storleksordningen hundratals cykler. Speciell utrustning byggdes för att utföra provningen, se figur 10.



Figur 10. Fixtur för längdmätning av skruv och apparatur för dynamisk lastprovning av skruvförband.

Efter varje steg mättes skruvens elastiska förlängning. På så sätt kunde man se klämkraftutvecklingen. Efter avslutad provning demonterades förbandet och skruvens nollnivå med avseende på elastisk förlängning verifierades ånyo (skruven mättes också innan montering vid projektets början).



Figur 11. Illustration av utvärderingen av sättning.

Provresultaten matades därefter in i Modde modellen och modellens precision kunde uppskattas och trimmas. Med hjälp av regressionsmodellen "Modde" kan så olika kombinationer av material, klämlängder åtdragningsnivåer och belastningsmoder predikteras. Allt baserat på fysiska prover. Ett användarvänligt gränssnitt utvecklades och finns nu publicerat på projektets hemsida, se under "Beräkningshjälpmedel" på www.sfnskruv.se. Sättning i form av klämkraftförlust kan nu med relativt god precision

predikteras för ett antal chassi- och drivlineförband, något som möjliggör optimering av förbandets geometri och monteringssteknik.

Initialsättningen

- Initialsättningen för förbanden visade ingen tydlig effekt av åtdragningshastigheten.
- Ökad klämlängd har den tydligaste effekten av alla testade variabler och minskar sättningen i alla fall.
- Ökat kontaktryck ökar sättningen. För att få en viss kvarstående kraft måste man alltså öka mer än bara det man tappar.
- För stål tappar vi c:a 2 % av kraften initialt, något mer för klenare skruv.
- Pulverlack tappar mest, runt 4.5 %, sedan kommer Al och ED-lack med runt 3.5-4 %.

Inverkan av temperatur

- Ökad temperatur ger ökad sättning
- Ökad klämlängd har ingen tydlig effekt
- Ökat yttryck har liten effekt utom för Aluminium som får ökad sättning
- Stålförbanden visar ingen eller mycket liten känslighet i det testade intervallet, ~2 %
- ED-lackade förbanden visar liten känslighet, ~5 %
- Aluminium och pulverlackerade förband visar hög känslighet, ~20 %.

Inverkan av dynamisk last

- Kontaktrycket är viktigaste parameter vid dynamisk last. Ökat kontaktryck ger ökad relaxation, c:a 25 % skillnad mellan litet och stort kontaktryck.
- Stål och ED-lackade prover visar låg känslighet ~5 %, medan Aluminium ger sättningar på runt 15 % och pulverlackade prover kan ge ~30 % relaxation.
- Längre klämlängd ger åter en minskad tendens till sättning. För Al och pulverlackade prover ligger skillnaden på runt 20 % i relaxation mellan kort och lång klämlängd.

WP5 Vidareutveckling av SFNs hemsida med införandet av nya webbapplikationer, se WP1 och WP5 samt utvidgning av den befintliga handboken

Handbok i skruvförbandsteknik

Målet med alla aktiviteter inom projektet har varit att de ska resultera i ny och förbättrad information som görs tillgänglig genom Handboken. SFNs hemsida och Handboken i skruvförband är öppet tillgängliga under www.sfnskruv.se. Handboken innehåller uppdaterad kunskap om det mesta som behövs för att konstruera och producera optimerade skruvförband. Handboken är sammanställd av projektgruppens ledande expertis från svensk fordonsindustri. Vår förhoppning är att den ska utgöra det naturliga hjälpmedlet och stödet vid konstruktion och produktion av skruvförband. I första hand för

fordonsindustrin och dess leverantörer men också för övrig industri. Vår förhoppning är att vi kan fortsätta att utveckla dess innehåll och användbarhet genom nya projekt för utveckling av skruvförbandsteknik.

Handboken har under projektet fått 19 nya kapitel. Handboken har nu 55 kapitel.

De nya kapitlen är:

1. Processövervakning
2. Ultraljud i produktionen
3. Ultraljud i labb
4. Insatsgängor
5. Speciella fästelement
6. Kompositlaminat
7. Elektriskt ledande förband
8. Ultraljud introduktion
9. Brickor
10. Håltagning
11. Aluminiumskruv
12. Smörjning
13. Skruvförband för plast
14. Gängformande höghållfasta förband
15. Svetsmuttrar och -skruvar
16. Stansmuttrar
17. Enkel skruvförbandsberäkning
18. Haverianalys
19. FAQ

Utöver de nya kapitlen har alla tidigare kapitel reviderats och åtskilliga kapitel har byggts på med förbättrad och utökad information och nya bilder.

Beräkningshjälpmedel

Två beräkningshjälpmedel har införts. Dels för att beräkna ultraljudsrespons vid mätning på skruvar i klämförband och dels för att beräkna sättning som en följd av statisk last, dynamisk last och temperaturpåverkan. Informationen för beräkningshjälpmedlen är framtagna inom WP1 för ultraljudsrespons och inom WP4 för sättningsberäkning. De presenteras närmare där. Beräkningarna är inte exakta eftersom sambanden är mycket komplexa. De ska ses som en god indikering på det verkliga utfallet.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hemsidan med handboken finns fritt tillgänglig på nätet under www.sfnskruv.se. Vid sökning efter skruvrelaterad information kommer den upp som ett tidigt alternativ.

Skruvexperterna på företagen kan rekommendera handboken för många av de frågor av generell art som ställs. Därmed frigörs tid för mer specifika problem samtidigt som handboken hjälper till med kompetensuppbyggnad hos konstruktörer, beredare och montörer och skapar också ett ökat intresse och fokus på skruvförbandsteknik.

Information och resultat från projektet har presenterats internt på företagen och vid olika konferenser och möten som exempelvis VINNOVAs FFI-konferenser och LIGHTers möten. Exempel på presentationer:

- *Vilka möjligheter ger framtidens skruvdragare*, FFI Katrineholm, 2012, Erik Persson, Atlas Copco Tools.
- *Simulering av skruvdragning*, FFI Katrineholm, 2012, Niclas Stenberg, Swerea KIMAB.
- *Digital handbok i Skruvförband*, FFI Katrineholm, 2012, Jan Skogsmo, Swerea IVF.
- *Nya möjligheter att optimera skruvförband – rätt klämkraft trots lägre vikt*, FFI Katrineholm, 2013, Thomas Hermansson, Volvo Cars.
- *Mätning av skruvkrafter*, FFI Katrineholm, 2013, Jan Skogsmo, Swerea IVF.
- *Ultraljud för kvalitetssäkrad skruvmontering på Scania CV och Volvo Cars*, FFI Katrineholm, 2014, Lars Oxelmark, Scania CV, Thomas Hermansson, Volvo Cars.

Genom utvecklandet av en gemensam kravprofil på fästelement, konstruktion av skruvförband och monteringsmekanik kan standardiseringen drivas längre vilket ökar konkurrenskraften. Att ta fram en svensk samsyn på smart montering som förevisas internationellt ökar också vår internationella trovärdighet som duktiga och ambitiösa fordonsproducenter.

Modern screw joint technology - Internationell konferens

Inom projektet ordnades en internationell konferens ”Modern screw joint technology”. Den var en tvådagars konferens som hölls i Stockholm den 18-19 september 2013. Möteslokalerna var dels Quality Hotel Nacka och dels Gruvan på Atlas Copco i Nacka. Konferensen samlade 62 deltagare, till stor del från svensk fordonsindustri men även annan industri och internationella deltagare. Konferensen hölls på engelska. Presentationerna skickades till deltagarna med länk i pdf-format. Sidan finns på adressen: http://extra.ivf.se/sfn_conference/Default.asp Logga in med adm/adm. Programmet framgår nedan. Konferensen var mycket uppskattad och det finns klara önskemål om att den får en uppföljare.

6.2 Publikationer

A robust algorithm to find the relation between clamp force and Ultrasonic Time of Flight in a bolted joint, Niclas Stenberg, Chunhui Luo, Peter Lundin, Submitted for publication, 2014.

Skruva med ultraljud – och få ner bilens vikt, Ny Teknik, 110921.

Minskad vikt tar skruv, VINNOVA-nytt 1, 2012

Lättviktsförband och förband med aluminiumskruv, Aluminium Scandinavia, 5, 2012.

Skruvmontering till rätt klämkraft, IVF-publikation_ Teknik och Tillväxt, 2013

Följande rapporter har tagits fram och skickats till deltagarna:

1. Rapport OptiFast modellering 140423. Beskrivning av utvecklingen av modellering
2. Artikel ULbolt_JAMT. Artikel om modellering av ultraljud
3. Rapport Atlas Copco 140822. Beskrivning av utveckling på Atlas Copco.
4. Rapport Scania 140815. Sammanfattning av ultraljud i produktion på Scania.
5. Rapport Volvo Cars 140821. Sammanfattning av ultraljud i produktion på Volvo Cars.
6. Rapport Screw joint weight reductions 140416. Ultraljud i produktion på Volvo Cars.
7. Rapport Försök och beräkningsmodell för sättning i skruvförband

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Skruvförbandsteknik är ett mycket komplext område som har ett stort behov av fortsatt forskning och utveckling. Det finns stora vinster med förbättrad skruvförbandsteknik:

- Lättare skruvförband
- Mindre antal fästelement
- Snabbare och enklare konstruktionsarbete
- Snabbare provning
- Snabbare och säkrare montering
- Bättre kvalitetssäkring
- Färre haverier
- Möjliggör konstruktioner i mixade material

Det finns ett klart behov av en pedagogiskt upplagd sekvens för hur skruvförband konstrueras och dimensioneras. En del av de parametrar som behövs vet man inte exakt utan de måste uppskattas, men hur då? En handledning kan vara upplagd i block där man för varje block förklarar hur man tar fram den information som behövs, som t ex friktionsvärde, behov av klämkraft, val av skruvdimension etc.

Denna dimensioneringsanvisning skulle vara pedagogiskt upplagd och tillgänglig genom hemsidan. I denna del skulle också uppdatering och komplettering av handboken med utökad information och nya kapitel ingå.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

Ordinarie deltagare och kontaktpersoner

Thomas Hermansson 031-325 23 87, 0734-33 71 91	Volvo Car Corporation Therma14@volvocars.com
Jan Skogsmo 031-706 6042, 070-780 6042	Swerea IVF Jan.skogsmo@swerea.se
Niclas Stenberg 08-440 48 66, 0734-16 98 38	Swerea KIMAB Niclas.stenberg@swerea.se
Filip Bergman 031-322 33 62	Volvo Powertrain Filip.bergman@volvo.com
Göran Toth 0701-67 82 17	VICURA AB Goran.toth@vicura.se
Lars Oxelmark 08-553 859 72	Scania CV Lars.oxelmark@scania.com
Kurt Andersson 0220-213 64, 070-569 13 56	Bulten Sweden Kurt.andersson@bulten.com
Erik Persson 08-743 94 25, 070-619 94 25	Atlas Copco Tools & Assembly Systems Erik.persson@se.atlascopco.com

Övriga deltagare och kontaktpersoner

Anders Johansson 08-553 817 78, 070-165 9700	Scania CV Anders.z.johansson@scania.com
Anders Enwall 031-325 79 07	Volvo Car Corporation Aenwall@volvocars.com
Raymond Pettersson 031-325 46 95	Volvo Car Corporation Rpetter1@volvocars.com
Arne Roloff 08- 743 9415, 070-517 9415	Atlas Copco Tools & Assembly Systems Arne.roloff@se.atlascopco.com
Petra Kastensson 08 743 9577, 070-279 9577	Atlas Copco Tools & Assembly Systems Petra.kastensson@se.atlascopco.com
Jonas Holmberg 031-706 6072, 070-780 6072	Swerea IVF Jonas.holmberg@swerea.se
Håkan Thoors 08-440 48 07	Swerea KIMAB Hakan.thoors@swerea.se
Robert Indersons 070-569 1357	Bulten Sweden Robert.indersons@bulten.com
Sebastian Kivimaier 070-271 6776	Bulten Sweden Sebastian.kivimaier@bulten.com