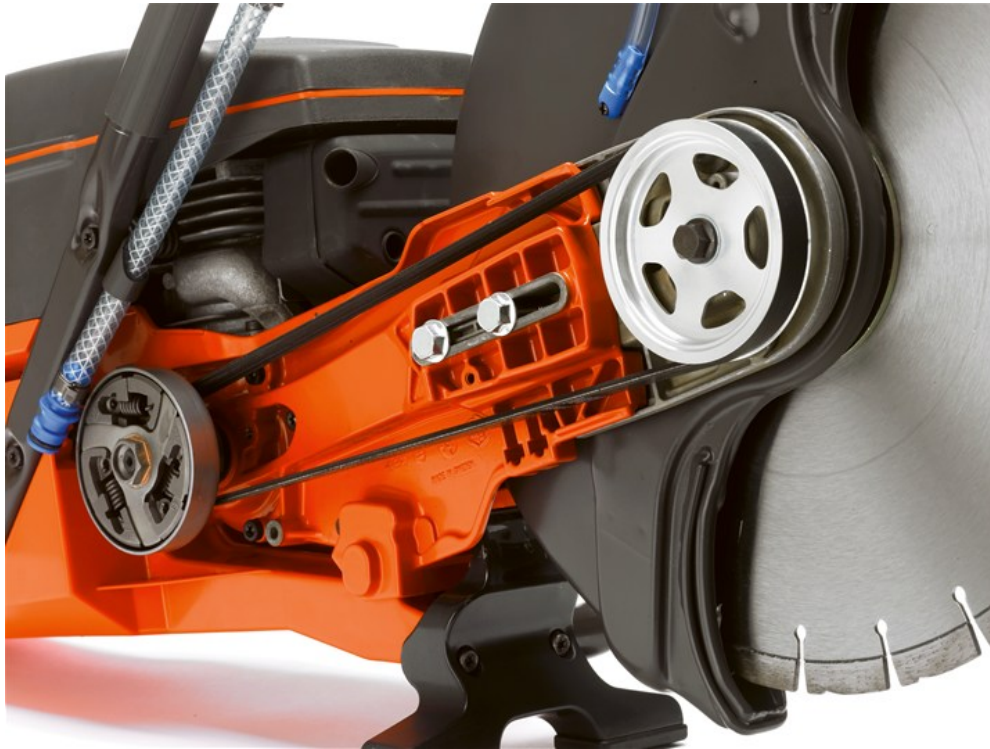


CHALMERS



UTVÄRDERING AV SKRUVFÖRBAND TILL BETONGKAP

Kartläggning av felfaktorer och förbättringspotentialer samt hitta, undersöka och utvärdera relevanta prov och provmetoder

EVALUATION OF BOLTED JOINTS ON A POWER CUTTER

MAGNUS LENGQUIST

SARA SOMMARSJÖ

Institutionen för Produkt och produktionsutveckling

Avdelningen för produktutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2012

Maskiningenjörsprogrammet

Examinator: Kjell Melkersson

Förord

Examensarbetet har utförts som en obligatorisk avslutande del under vårterminen 2012 på maskiningenjörsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola. Omfattningen av examensarbetet är på 15hp vilket motsvarar nio veckors heltidsarbete. Programinriktningen på maskiningenjörsprogrammet är konstruktion vilket innefattar konstruktion och design av produkter genom produktutveckling samt analys av dessa med modernt datorstöd.

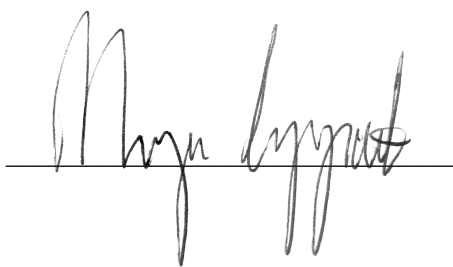
Examensarbetet har utförts åt Husqvarna Construction Products i Jonsered. Vi vill först och främst tacka vår handledare på Husqvarna, Niklas Sundberg, och vår handledare samt examinator univ. lektor Kjell Melkersson på Chalmers Tekniska Högskola för den hjälp och vägledning vi fått av er under arbetets gång. Tack till Anders Reuterberg, chef över kapmaskinerna på Husqvarna Construction Products som har varit till stor hjälp med idéer och stöd.

Ett stort tack till Magnus Claesson på rigglaboratoriet Husqvarna (i Huskvarna) för den hjälp, assistans och engagemang han har bidragit med samt till Lars-Åke Abellsson som gjort provningarna som skett i Huskvarna möjliga.

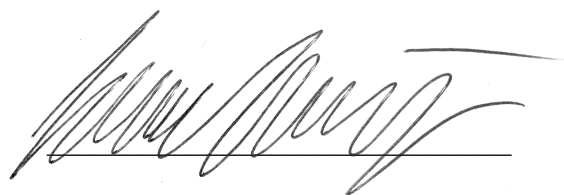
Vi vill även tacka för de studiebesök vi fått möjlighet att göra hos Filip Bergman på Volvo Powertrain, Jan Skogsmo på Swerea IVF och Göran Toth på VICURA AB. Studiebesöken har varit till stor hjälp för hela examensarbetet.

Examensarbetet har varit väldigt roligt och lärorikt. Vi har fått ta del av väldigt mycket och gjort allt ifrån kartläggning av möjliga felfaktorer och inköp av mikrometer till planering, utförande och utvärdering av prov. Vi har fått mycket stöd och hjälp från alla anställda som vi varit i kontakt med på Husqvarna och examensarbetet har gett oss en god inblick i hur det kan vara att jobba som ingenjör.

Magnus Lengquist

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Magnus Lengquist', written over a horizontal line.

Sara Sommarsjö

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sara Sommarsjö', written over a horizontal line.

SAMMANFATTNING

I vissa fall har de två skruvförbanden som sitter på kaparmen till Husqvarnas betongkap havererat i förtid. De laborationstester som utförts på betongkapen i de befintliga laborationsriggarna har inte kunnat påvisa detta. Eftersom orsaken var okänd var syftet med detta arbete att kartlägga möjliga felfaktorer och sedan hitta en eller flera provmetoder att utvärdera felfaktorerna åt Husqvarna Construction Products i Jonsered.

De faktorer som undersökts är inverkan av betongdamm, åtdragning med två olika klämkrifter och värme. Proven har skett i form av värmeprov, tvärkraftsprov och utmattningsprov. Provingen har enbart utförts på de befintliga skruvförbanden och ingen omkonstruktion har gjorts eller provats.

Den slutsats som kan dras utifrån proven är att värme har en stor betydelse för hur stor klämkraft skruvförbanden förlorar. Då skruvarna dragits åt till en klämkraft på 20 kN per skruv och befunnit sig i en rumstemperatur på 23°C i två timmar har skruvarna förlorat mindre än 1 kN vilket är en liten klämkraftsförlust relativt standardavvikelsen för mätningarna. Då förbanden däremot befunnit sig under uppvärmning i ugn i en timme, så att de uppnått en temperatur på 130°C, för att sedan låtit svalna i rumstemperatur en timme har vardera skruven förlorat mer än 10 kN. Det betyder att vardera skruvförband tappat över hälften av sin klämkraft och det anses då vara havererat (Swedish Fasteners Network, 2012).

En temperatur på 130°C under en timme kan tyckas vara extremt men för varmare länder där samtidigt betongkaparna utsätts för stor belastning är det inte alls orimligt att skruvförbanden uppnår denna temperatur. Laborationstest vid hård belastning har visat en uppnådd temperatur på 135°C vid skruvförbanden.

För att lösa problemet med värme rekommenderas skruvar som har en liknande längdutvidgningskoefficient som magnesium, som de klämda delarna i förbanden består av, till exempel aluminiumskruvar. Det går även att minska trycket under vardera skruven genom att fördela den totala klämkraften från förbanden på tre skruvar istället för två. Att öka anläggningsytorna på muttrarna genom att välja större muttrar eller tillföra brickor minskar också spänningarna i magnesiumet.

SUMMARY

In some cases, the bolted joints located on the cutting arm to the power cutter made by Husqvarna has wrecked premature. This have not been demonstrated when laboratory work samples have been made at Husqvarna. Since the causes to this are unknown the aim in this work was to survey the possible error factors and then find one or more test methods to evaluate the error factors for Husqvarna Construction Products in Jonsered.

The factors that have been studied are impact of concrete dust, tightening two different clamping forces and heat. The tests have been made by heat test, tensile test and fatigue test. They have been made on the existing bolted joint and no reconstruction have been done or tested.

The conclusion to be drawn from the tests is that heat has a important affect on how large the loss of the clamping force becomes. When the screws are tightened to a clamping force of 20 kN per screw and been in a room temperature of 23°C for two hours, both of the screws have lost less than 1 kN, which is a insignificant clamp force relative standard deviation of the measurements. When the bolted joint has been present during heating in an oven for an hour, then been cooled in room temperature in an hour, so that it has reached a temperature of 130°C each screw has lost more than 10 kN. That means that the bolted joints are seen as wrecked (Swedish Fasteners Network, 2012).

Heating the cutter arm to a temperature of 130°C during an hour may appear to be extremely but in warmer countries and countries where the power cutters are being exposed to large loads it is not excessive that the bolted joint reaches the temperature. Laboratory work samples where large load has been applied to power cutters shows a reached temperature of 135°C by the bolted joint.

To solve the problem with heat it is recommended to replace the current screws with screws that have similar thermal expansion coefficient to magnesium, for example aluminium screw. It is also possible to reduce the pressure from each screw by adding an additional screw and thereby distribute the total clamping force from the bolted joints to three screws instead of two. Increasing the contact area under each screw-nut by change to larger screw-nuts or adding washers underneath the screw-nuts will decrease tension in the magnesium.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE	8
1.3	AVGRÄNSNINGAR	9
1.4	PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNINGEN	9
2	BAKGRUNDSFAKTA OM SKRUVFÖRBAND	10
2.1	VIKTIGA PARAMETRAR OCH FELFAKTORER I SKRUVFÖRBAND	10
2.2	FÖRKLARING AV F – Δ DIAGRAM	12
2.3	ÅTGÄRDER TILL FÖRBÄTTRING AV SKRUVFÖRBAND	16
2.4	MÄTNING AV KLÄMKRAFT I SKRUVFÖRBAND	16
2.4.1	MIKROMETER	17
2.4.2	ULTRALJUD	17
2.5	MÄTINSTRUMENT FÖR TEMPERATURMÄTNING	18
2.5.1	VÄRMEKAMERA	18
2.5.2	TERMOMETER	18
3	UTFÖRANDE AV KAPARMENS SKRUVFÖRBAND	19
3.1	SKRUVAR	19
3.2	MUTTRAR	19
3.3	BRICKA	20
3.4	VEVHUS & LAGERHUS	20
4	TILLVÄGAGÅNGSSÄTT FÖR UTVÄRDERINGEN AV SKRUVFÖRBAND	23
4.1	INFORMATIONSSÖKNING OM FELFAKTORER OCH PROVMETODER	23
4.2	UPPNÅDD KLÄMKRAFT FÖR OLIKA ÅTDRAGNINGSMOMENT OCH KRYPNING I RUMSTEMPERATUR	24
4.3	UNDERSÖKNING AV UPPSKATTAT REKOMMENDERAT ÅTDRAGNINGSMOMENT	24
4.4	VÄRMEPROV	24
4.5	TVÄRKRAFTSPROV	25
4.6	TRYCKPROV	25
4.7	UTMATTNINGSPROV	26
5	RESULTAT & DISKUSSION AV KARTLÄGGNING AV FELFAKTORER, UTFÖRDA PROVER OCH MÄTMETODER	27
5.1	KARTLÄGGNING AV FELFAKTORER OCH VALDA PROVMETODER	27
5.2	UPPNÅDD KLÄMKRAFT FÖR OLIKA ÅTDRAGNINGSMOMENT OCH KRYPNING I RUMSTEMPERATUR	28
5.3	UNDERSÖKNING AV UPPSKATTAT REKOMMENDERAT ÅTDRAGNINGSMOMENT	29
5.4	VÄRMEPROV	29
5.5	TVÄRKRAFTSPROV	33
5.6	TRYCKPROV	34
5.7	UTMATTNINGSPROV	35
5.8	KOMMENTARER ANGÅENDE UTFÖRDA MÄTNINGAR	36

6	FELFAKTORER OCH REKOMENDERADE FÖRBÄTTRINGSÅRGÄRDER.....	38
6.1	SKRUVAR.....	38
6.2	MUTTRAR.....	38
6.3	BETONGDAMM.....	38
6.4	VÄRME.....	39
7	FORTSATT ARBETE	40
7.1	VÄRMEPROV.....	40
7.2	TVÄRKRAFTSPROV.....	40
7.3	TRYCKPROV.....	40
7.4	UTMATTNINGSPROV.....	41
8	SLUTSATS.....	42
9	REFERENSER.....	43
10	BILAGOR

1 INLEDNING

Här presenteras bakgrund till arbetet, syfte, avgränsningar som gjorts och precisering av frågeställningen.

1.1 Bakgrund

Husqvarna Construction Products utvecklar bland annat betongkapar. De vill hitta en provmetod för att utvärdera de befintliga skruvförbanden som sitter på kaparmen till betongkapar.

Anledningen till att det finns skruvförband på kaparmen, se figur 1.1, är för att remmen ska kunna förspännas genom att en främre del av kaparmen skjuts fram så axelavståndet ökas och rätt remspänning uppnås. Detta behövs göras då efter en viss tids användning av betongkapen slits bland annat remmen och den tappar remspänning.



Figur 1.1 Överblick över kaparm till betongkap (Husqvarna AB)

Skruvförbanden på betongkapens kaparm har vid vissa omständigheter erhållit en för stor nötning så att förbandens livslängd förkortats. Den i vissa fall förkortade livslängden har inte uppkommit under Husqvarnas laborationsprovningar som utförs i en ren laborationsrigg där motorn varvas upp och ner enligt ett förprogrammerat program. Därför vill de genomföra prov av de felfaktorer som tros orsaka haveriet med en annan metod än den de hittills använt sig av.

1.2 Syfte

Syftet är att, genom kartläggning av möjliga felfaktorer till skruvförbandens stora nötning på kaparmen, hitta en eller flera provmetoder att utvärdera felfaktorerna i. Utifrån provresultaten ska utvärderingen leda till vilka av de provade felfaktorerna som är en orsak till den i vissa fall förkortade livslängden av skruvförbanden.

1.3 Avgränsningar

Det som inte ska behandlas är framtagning av nya alternativa konstruktioner och de skruvförband som behandlas är enbart de två som sitter på kaparmen. Arbetet ska inrikta sig på att hitta en eller flera tillförlitliga provmetoder att utvärdera skruvförbanden i. Provmeteroderna ska avgränsa sig till att inte vara alltför komplexa att utvärdera, utföra eller starta upp. Det ska finnas möjlighet att erhålla tydliga resultat från provmetoderna utifrån de troligaste felfaktorerna och provningarna ska gå att utföra i befintliga provriggar som finns tillgängliga inom tidsramen för arbetet samt ligga inom ett rimligt prisintervall.

1.4 Precisering av frågeställningen

- Vilka är de möjliga felfaktorerna som i vissa fall orsakar en förkortad livslängd på skruvförbanden till betongkapen?
- Vilka av dessa felfaktorer är möjliga att testa?
 - Tillgänglighet av provriggar
 - Ekonomi – kostnad för provning
 - Tid
 - Plats
 - Svårighetsgrad med avseende på mätutrustning, tid och svårighetsgrad för lärande av hantering för att få trovärdiga mätresultat
- Vilka felkällor ska studeras närmare och vilka provmetoder ska användas och varför?
- Hur ska proven gå till?
 - Förberedelse
 - Material
 - Tillvägagångssätt
 - Trovärdighet
 - Möjlighet att repetera proven
- Vilka resultat gav proven?
- Hur trovärdiga är resultaten?
 - Felkällor vid provning
 - Verklighetsförankring
 - Statistisk analys
- Vilka förbättringar kan Husqvarna göra vid omkonstruktion av skruvförbandet utifrån de provresultat som erhållits?
- Vilka slutsatser kan dras då provresultaten utvärderats och analyserats?

2 BAKGRUNDSFAKTA OM SKRUVFÖRBAND

I det här kapitlet behandlas bakgrunds fakta till viktiga parametrar, felfaktorer och åtgärder till dessa för skruvförband. Kapitlet innefattar det som behövs för att kunna läsa och förstå den övriga delen av rapporten.

2.1 Viktiga parametrar och felfaktorer i skruvförband

Definitionen av ett skruvförband är en förbindning som går att demontera och består av en skruv, en mutter och klämda delar (Swedish Fasteners Network, 2012).

Friktionen är en mycket viktig parameter för skruvförband för att beräkning av monteringsmoment ska kunna ske och för att motverka glidning och uppglappning då skruvförbandet är monterat. Friktion finns under mutter, skruvskalle, mellan gängor och klämda delar.

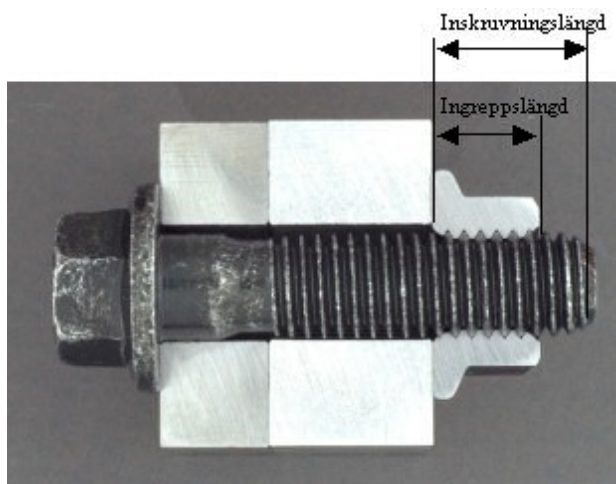
Friktionen mellan gängor och skruvskalle/mutter bör vara relativt låg med liten spridning för att få en kontrollerad förspänningskraft men inte så pass låg att självvurgängning uppstår.

Skruvförbandens huvudsyfte hos kaparmen är att överföra tvärkraft. För att överföra så stor tvärkraft som möjligt bör friktionen mellan ingående klämda delar vara hög. Hos kaparmen ingår i vardera skruvförband tre klämda delar.

Hos ett skruvförband uppkommer alltid sättningar. Sättning är en minskning av klämkraft som uppstår på grund av att detaljernas kontaktytor deformeras plastiskt då ytprofiltopparna belastas över sin flytgräns. Den sättning som uppkommer vid montering brukar kallas för statisk sättning och beror på skruvens klämkraft. Ytterligare sättning på grund av en yttre pålagd dynamisk belastning, som också kan vara en dynamisk temperaturlast, kallas för dynamisk sättning. Den dynamiska sättningen avtar med tiden och därmed begränsas förlusten av klämkraften. I det här arbetet är endast den dynamiska sättningen intressant och kommer i fortsättningen förutom enbart sättning även att kallas för plasticering.

Det finns även ett begrepp som kallas krypning. Krypning innebär en ökad deformation i tiden då spänningen hålls konstant och kan påskyndas av exempelvis förhöjd temperatur. Vanligtvis avtar inte krypningen med tiden utan förlusten av klämkraft i förbandet fortskrider så länge spänning i materialen finns.

Ingreppslängd är det mått som den utvändiga och invändiga gängan teoretiskt har kontakt, se figur 2.1.1. Hur stor ingreppslängden ska vara beror på materialen i gängorna. Om skruven dras i ett mjukare material måste ingreppslängden vara större för att förhindra uppkomsten av gängskjuvning om skruven dras åt för hårt eller om förbandet blir utsatt för en relativt hög yttre last.

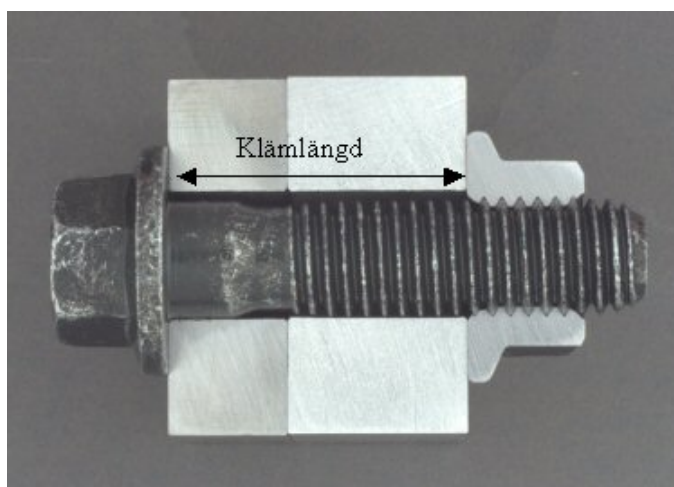


Figur 2.1.1 Beskrivning av ingreppslängd (Swedish Fasteners Network, 2012)

Hålplantryck innebär det tryck som verkar under skruvskalle och mutter. Högt hålplantryck bildas då hög klämkraft erhålls vid åtdragning av ett skruvförband som kan innebära en plastisk deformation av godset under skruvskallen och/eller muttern. Det kan ge konsekvenser som att den tilltänkta klämkraften inte uppnås eller att fortlöpande sättning uppstår. För magnesiumlegeringen AZ-91, som de klämda delarna i kaparmens skruvförband består av, rekommenderas det maximala hålplantrycket 180 MPa.

Klämkraften definieras som ”Den axiella kraft som en monterad skruv utövar på förbandsdelarna. Enheten är kilo Newton [kN]” (Swedish Fasteners Network, 2012). ”Rätt” klämkraft är viktig för att ge ett skruvförband god dynamisk hållfasthet, det vill säga motstånd mot pulserande yttre last. Klämkraften åstadkommes vanligen genom momentåtdragning av skruven/muttern med momentnyckel.

Klämlängden är en viktig parameter för ett skruvförband och definieras som den längd som de ingående delarna kläms samman, se figur 2.1.2. Genom erfarenheter har det framkommit att erhållande av en bra dynamisk hållfasthet fås då klämlängden är minst två gånger skruvens gängdiameter. Med lång klämlängd blir ett skruvförbands styvheter/fjäderkonstanter mätt i kN/ μm lägre och en sättning i förbandet innebär då en mindre förlust av klämkraften.



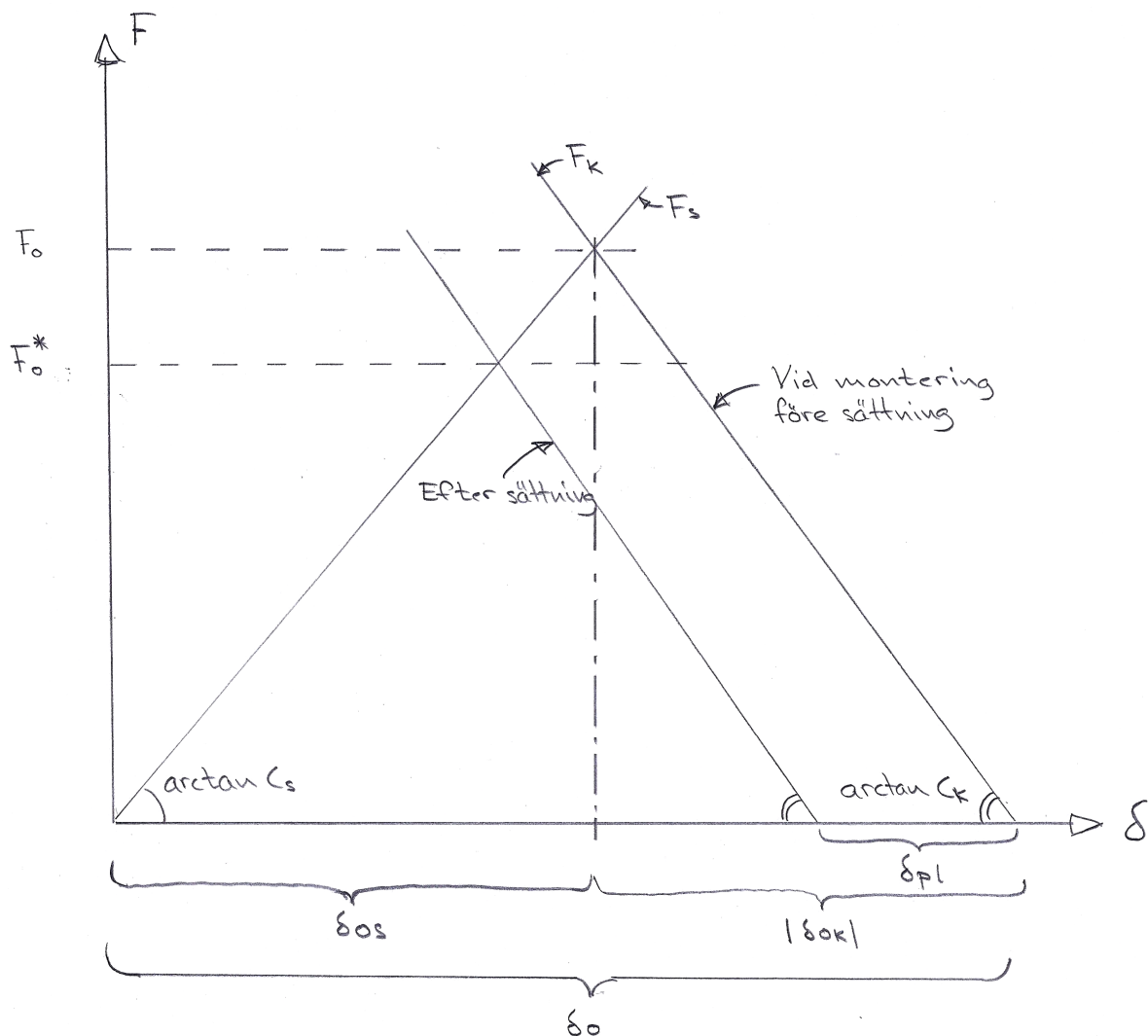
Figur 2.1.2 Beskrivning av klämlängd (Swedish Fasteners Network, 2012)

Om ett skruvförband utsätts för värme är det viktigt att det inte förlorar sin klämkraft eller tvärtom, att klämkraften inte blir för hög. Då stålskruvar används med klämda delar av magnesiumlegering, där magnesium har högre längdutvidgningskoefficient än stål, bildas ett stort krafttillskott då förbandet blir utsatt för värme. Det resulterar i ökning av spänningar och kan även ge plastisk deformation av magnesiumet samt även relaxation vilket kommer leda till att skruvförbandet tappar en stor del av sin ursprungliga klämkraft då temperaturen återgår till normal temperatur.

Tappad klämkraft är den vanligaste orsaken till haveri av skruvförband. Då ett skruvförband helt har förlorat sin klämkraft har förbandet "glappat upp". Ett skruvförband har glappat upp sig då glapp har uppstått under drift, det vill säga då rörelse uppkommit mellan förbandets ingående delar. Om klämkraften har minskat med mer än 50 % av den ursprungliga klämkraften anses dock skruvförbandet havererat.

2.2 Förklaring av F – δ diagram

Ett F- δ diagram kan grafiskt visa hur sättningen inverkar på klämkraften. I figur 2.2.1 visas ett F- δ diagram där deformationer, krafter och sättning kan läsas av.



Figur 2.2.1 Allmänt F- δ diagram som visar krafter och deformationer

Följande beteckningar är införda i figur 2.2.1:

F_0 = klämkraften efter montering.

δ_0 = den totala deformationen i ett skruvförband efter montering.

δ_{0s} = deformationen i skruv efter montering.

$|\delta_{0k}|$ = absolutbeloppet av deformationen hos klämda delar efter montering.

δ_{pl} = en plastisk deformation (sättning) som orsakats av t.ex. en varierande yttre last.

F_0^* = kvarvarande klämkraft efter plastisk deformation δ_{pl} ägt rum.

c_s = styvheten i skruven, även kallat skruvens fjäderkonstant.

c_k = styvheten i de klämda delarna, även kallat de klämda delarna fjäderkonstant

Sambandet mellan krafterna, fjäderkonstanterna och den plastiska deformationen kan, med hjälp av ett F- δ diagram, beskrivas med följande ekvation (Mägi & Melkersson, 2011):

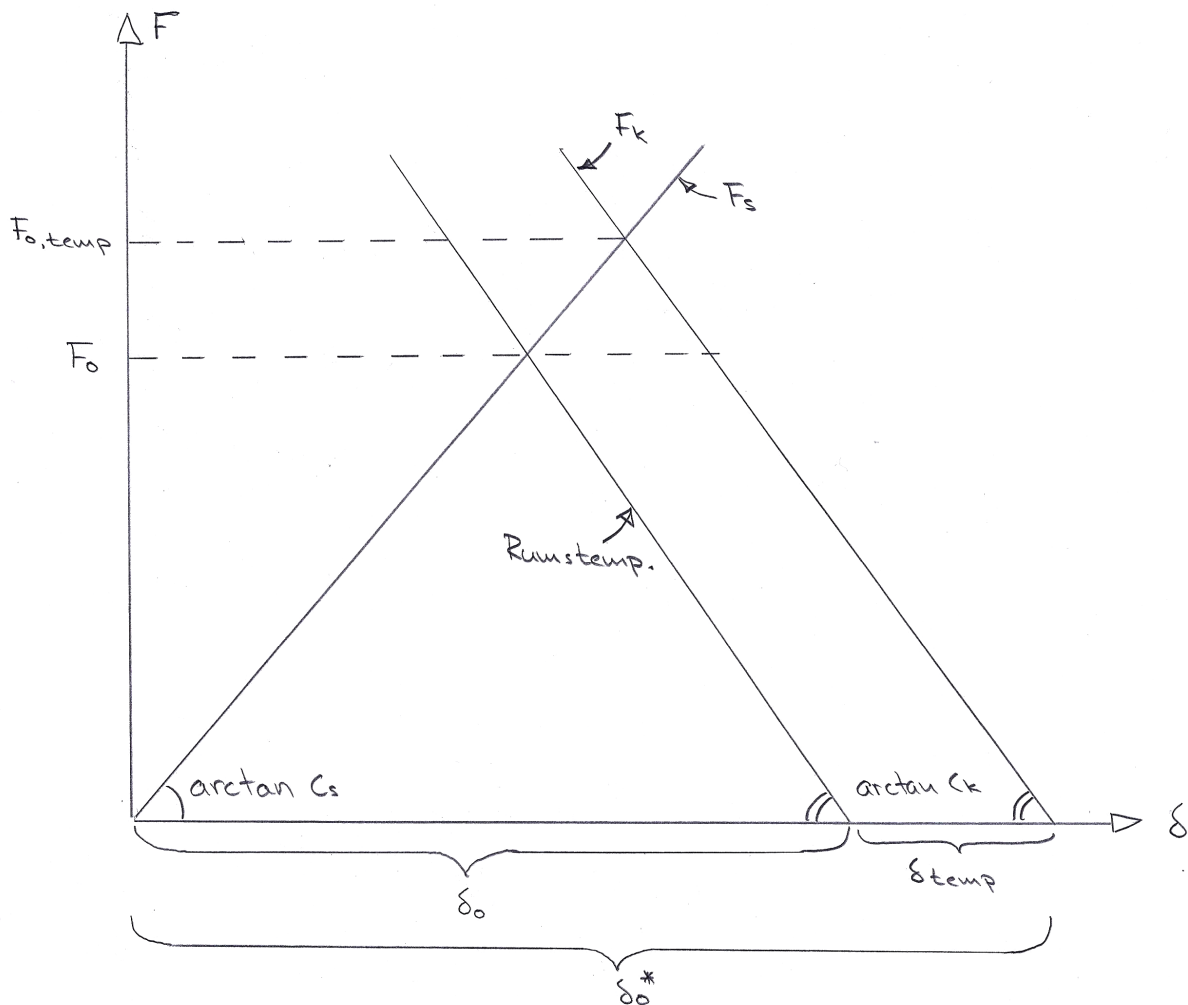
$$F_0^* = F_0 - \frac{c_s \cdot c_k}{c_s + c_k} \cdot \delta_{pl} \dots (1)$$

Ekvation (1) beskriver alltså hur klämkraften F_0 minskar till F_0^* på grund av δ_{pl} . Men eftersom $F_0 = \frac{c_s \cdot c_k}{c_s + c_k} \cdot \delta_0$ fås ur ekvation 1:

$$F_0^* = \frac{c_s \cdot c_k}{c_s + c_k} \cdot (\delta_0 - \delta_{pl}) \dots (2)$$

Ur ekvation (2) kan ses att om plasticeringen δ_{pl} är stor i förhållande till den totala deformationen δ_0 resulterar det i en liten kvarvarande klämkraft F_0^* . Det är därför viktigt med stor klämlängd som tidigare tagits upp i avsnitt 2.1.

Om ett skruvförband utsätts för värme och de klämda delarna utvidgas mer än skruven vid en temperaturhöjning kommer skruvförbandet få en ökad klämkraft på grund av denna temperaturlast. I figur 2.2.2 syns ett liknande F- δ diagram som visades i figur 2.2.1 men med en pålagd temperaturlast istället för en uppkommande plastisk sättning.



Figur 2.2.2 F-δ diagram med pålagd temperaturlast

Följande beteckningar är införda i figur 2.2.2:

δ_{temp} = skruvförbandets deformationsökning på grund av temperaturlasten.

δ_0^* = skruvförbandets totala deformation vid aktuell temperaturlast.

$F_{0,temp}$ = klämkraften vid aktuell temperaturlast.

Sambandet mellan $F_{0,temp}$, F_0 och δ_{temp} kan beskrivas enligt (Mägi & Melkersson, 2011):

$$F_{0,temp} = F_0 + \frac{c_s \cdot c_k}{c_s + c_k} \cdot \delta_{temp} \dots (3)$$

$$\text{där } \delta_{temp} = (\alpha_k - \alpha_s) \cdot \Delta T \cdot L_k \dots (4)$$

Här betecknar:

α_k = längdutvidningskoefficienten för klämda delar i skruvförbandet.

α_s = längdutvidningskoefficienten för skruven i skruvförbandet

ΔT = temperaturökningen från rumstemperatur.

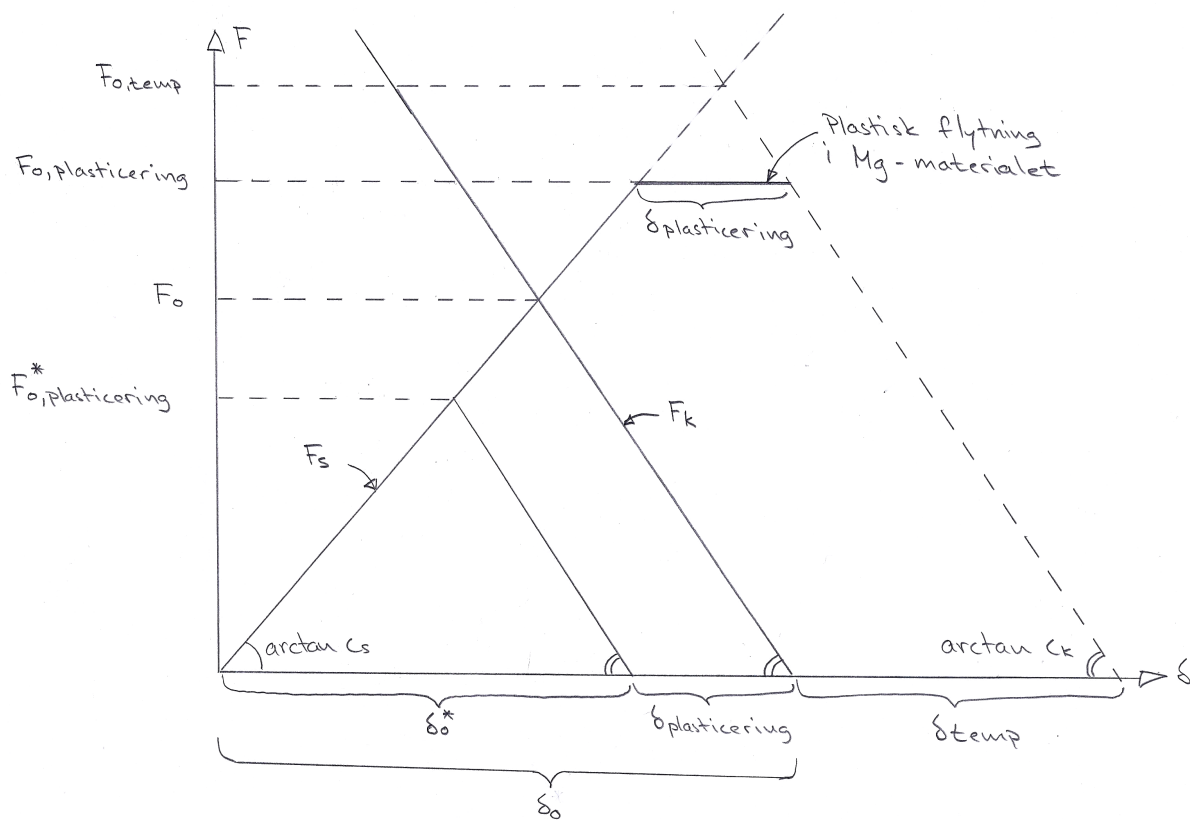
L_k = skruvförbandets totala klämlängd.

Insättning av ekvation (4) in i ekvation (3) ger:

$$F_{0,temp} = F_0 + \frac{c_s \cdot c_k}{c_s + c_k} \cdot (\alpha_k - \alpha_s) \cdot \Delta T \cdot L_k \dots (5)$$

Ur ekvation (5) ses att bland annat temperaturökningen ΔT och skillnaden mellan längdutvidgningskoefficienterna α_k och α_s påverkar hur stor kraften $F_{0,temp}$ blir. Ekvation (3) till ekvation (5) gäller under antagandet att materialen beter sig linjärt elastiskt och att inte fjäderkonstanterna eller längdutvidgningskoefficienterna ändras med temperaturen.

Givetvis kan inte $F_{0,temp}$ öka obegränsat utan kraften kommer uppnå en nivå där materialet börjar plasticeras, $F_{0,plasticering}$, vilket kan ses i figur 2.2.3. F- δ diagrammet gäller under antagandet att materialet som plasticeras beter sig linjärt elastiskt idealplastiskt.



Figur 2.2.3 F- δ diagram med utsatt temperaturlast med plasticering som följd

Följande beteckningar är införda i figur 2.2.3:

$F_{0,plasticering}$ = kraft när material i skruvförbandet börjar plasticera.

$F_{0^*,plasticering}$ = kvarvarande klämkraft efter utsatt temperaturlast.

$\delta_{plasticering}$ = plasticering i skruvförbandet vid och efter utsatt temperaturlast.

Figur 2.2.3 kan tänkas beskriva en temperaturcykel där skruvförbandet gradvis värms upp och klämkraften F ökar också den gradvis från F_0 tills den når $F_{0,plasticering}$ där material i skruvförbandet börjar att plasticeras. Temperaturen fortsätter att öka gradvis men klämkraften ökar inte längre då materialet i skruvförbandet inte längre "håller" för kraften utan en permanent deformation uppkommer som finns kvar även då förbandet svalnar. Då förbandet svalnat och återgått till rumstemperatur kan man se deformationen $\delta_{plasticering}$ som en typ av

sättning δ_{pl} , enligt figur 2.2.1, och använda ekvation (2) för att beräkna den kvarvarande kraften F_0^* , plasticering.

2.3 Åtgärder till förbättring av skruvförband

För att öka förmågan att överföra tvärkraft kan följande åtgärder utföras:

Öka klämkraften genom att:

- Införa ytterligare skruvförband för att öka totala klämkraften
- Sträckgränsmontering

Minskning av sättning och därmed minskning av förlorad klämkraft i ett skruvförband kan åtgärdas genom:

- Förbättra ytjämnheten
- Minimera antalet kontaktytor
- Hårdare material
- Minska hållplantrycket, helst genom flänskruvar. Vanligtvis används dock lösa brickor vilka måste vara tillräckligt hårda och ha tillräckligt stor ytterdiameter.
- Förbättra renheten i gängade delar

För att reducera minskningen av klämkraften kan åtgärder utföras genom att:

- Använda en tillräckligt stor klämlängd som är minst två gånger gängdiametern
- Ytbehandling av ingående delar för att kontrollera friktionen vilket leder till minskad variation i klämkraft vid montering. Gäller vid åtdragning med momentnyckel.

2.4 Mätning av klämkraft i skruvförband

Klämkraften F_0 kan mätas på ett antal olika sätt. Den vanligaste metoden är att mäta skruvens förlängning då den är sträckt/åtdragen relativt obelastat tillstånd.

Att det är möjligt att mäta klämkraften F_0 genom skruvens förlängning δ_{0s} förklaras genom att skruvens material elastiskt töjs under pålagd kraft. Töjningen är linjär upp till sträckgränsen och kan skrivas som:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{F_s}{A_s \cdot E} \dots (6)$$

där σ = spänningen i kraftens riktning [Pa], F_s = skruvkraften = F_0 [N], E = E-modulen för materialet [Pa], A_s = snittarean som ligger normal mot kraftens riktning [m^2] (Dahlberg, 2001).

Utveckling av ekvation (6) ovan för en skruv och användningen av uttrycket $\frac{A_s \cdot E}{L}$ = skruvens fjäderkonstant c_s fås:

$$\varepsilon = \frac{\delta_s}{L_s} = \frac{F_s}{A_s \cdot E} \Rightarrow F_s = \delta_s \cdot \frac{E \cdot A_s}{L_s} = \delta_s \cdot c_s \Rightarrow$$

$$\boxed{F_s = \delta_s \cdot c_s} \dots (7)$$

där δ_s = skruvens förlängning och L_s = skruvens fjädrande längd.

Eftersom skruvens klämkraft F_s huvudsakligen mäts indirekt genom skruvens förlängning δ_s behövs ett lättillgängligt och noggrant sätt att mäta denna förlängning på. Det är viktigt att mätningen klarar små mått då skruvens totala förlängning δ_s kan vara mindre än tjockleken på ett hårstrå som i genomsnitt är cirka 60 μm .

2.4.1 Mikrometer

Med en mikrometer, se figur 2.4.1.1, finns möjlighet att mäta ner till en tusendels millimeter vilket är en stor fördel då skruvförlängningen vid åtdragning δ_{0s} är väldigt liten.

Förlängningen av skruvarna till kaparmen är ungefär 20 μm upp till 70 μm . Eftersom mikrometern kan mäta så pass noggrant blir den också känslig för smuts och skräp som kommer in mellan mätanslagen och skruven.



Figur 2.4.1.1 Mikrometer



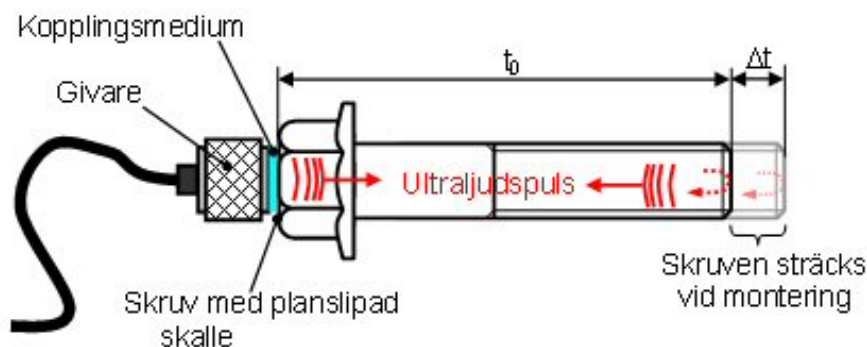
Figur 2.4.1.2 Lös spets till platt mätanslag

Med mikrometer ges möjligheten att mäta antingen med platta eller med spetsiga mätanslag, se figur 2.4.1.2. Spetsiga mätanslag har fördelen att det går att mäta mellan två väl definierade punkter i form av små hål där spetsarna förs in vid mätningen. Hålen är lätta att skapa med till exempel ett körnslag eller dubbhål som tillverkas med hjälp av en svarv. Det är viktigt att hålen kommer så nära skruvens centrumlinje som möjligt för att få bra mätvärden. Spetsiga anslag är dock känsliga från vilken vinkel relativt skruvens centrumläge mätningen sker och bör mätas från samma vinkel varje gång för noggrant resultat. (Bergman, 2012).

Med platta anslag är det viktigt att ha mycket planparallella ytor på skruven för ett noggrant resultat. Dessa kan tillverkas med en svarv. Vid plansvarvning kan det dock bildas grader på kanterna som mätanslagen kan hamna på vid mätning och därmed ge felaktiga utslag. Graderna kan dock slipas eller poleras bort.

2.4.2 Ultraljud

Med ultraljud skickas, från en givare, en ljudpuls som färdas från skruvskallen genom hela skruven till botten där den studsar och färdas tillbaka mot givaren på skruvskallen, se figur 2.4.2.1. Tiden det tar för pulsen att komma tillbaka, efter att den skickats ut i en obelastad skruv, mäts och jämförs mot tiden det tar med en sträckt/åtdragen skruv. Tiden beror på förutom av skruvlängden även av ljudhastigheten i aktuell skruv, spänning i materialet och temperatur. Tidsdifferensen ΔT räknas sedan om till en skruvförlängning δ_s utifrån känd materialdata och temperatur. (Swedish Fasteners Network, 2012)



Figur 2.4.2.1 Mätning med ultraljud (Swedish Fasteners Network, 2012)

En stor fördel med metoden är att den enbart kräver åtkomst från skruvskallen och inte skruvens botten. Det möjliggör mätning av en skruvs förlängning och därmed beräkning av dess klämkraft även då den är skruvad i ett motorblock eller liknande då skruvänden är svåråtkomlig. Det är även möjligt att mäta förlängningen under tiden man drar åt skruven.

Nackdelen med metoden är att utrustningen är kostsam, kräver en viss vana innan bra resultat erhålls samt att skruvens båda ändar behöver vara planparallella med mycket fin noggrannhet. Specialtillverkade skruvar för just ultraljudmätningar kan dock köpas in och användas. Dessa har bättre akustiska egenskaper som ökar noggrannheten vid mätning med ultraljud.

2.5 Mätinstrument för temperaturmätning

I kaparens skruvförband, där detaljerna består av olika material, är det befogat att undersöka inverkan av temperaturökningar. Det finns många olika sätt att mäta temperaturer på. I det här avsnittet tas endast de mätinstrument som använts för temperaturmätning vid kaparens skruvförband upp.

2.5.1 Värmekamera

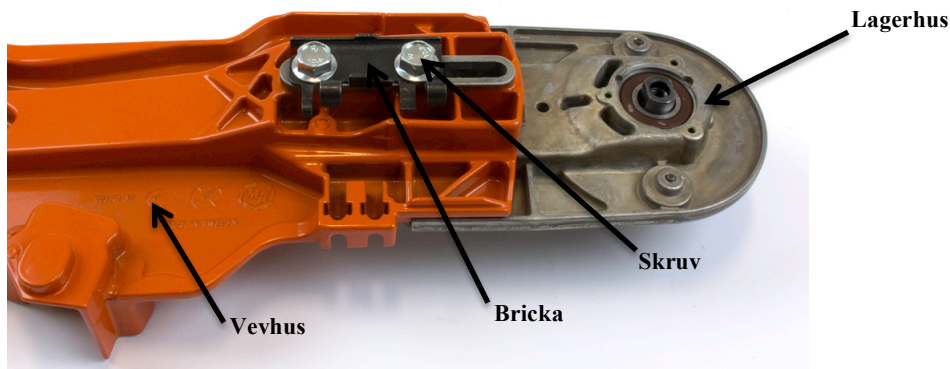
Till att mäta temperaturen på skruvförbandsdelarna användes FLIR ThermoCAM E45. Det är en handhållen värmekamera som mäter temperaturskillnader med en noggrannhet på $\pm 2^{\circ}\text{C}$ eller $\pm 2\%$ av absoluttemperaturen med ett mätintervall på -20°C till 250°C . Den används genom att rikta kameran mot det område temperaturen ska mätas på. Temperaturen tas på ett område som indikeras av en kvadratisk ruta på skärmen. Med värmekameran går det att se temperaturskillnader över ett objekt och kameran kan även ta fotografier som kan föras över till dator via en USB-kabel (FLIR, 2012).

2.5.2 Termometer

Temperaturen i ugnen mättes med hjälp av en termometer modell CIE 307 Thermometer och tillhörande termoelement. (Mer information om termoelement kan fås från produktinformationen.) Termoelementet kopplas på ena sidan in i termometern med hjälp av en kontakt och andra sidan skalas av, tvinnas ihop och placeras där temperaturen ska mätas, vilket vid de här proverna var i en ugn utan att vara nära någon vägg. Termometern har en noggrannhet på $\pm 0,3\% + 1^{\circ}\text{C}$ och mätintervallet på termometern ligger mellan -50°C till 1300°C . Två termoelement kan kopplas in samtidigt i termometern och det går att växla vilken temperatur som ska synas på skärmen av de två ingångarna (CIE, 2012).

3 UTFÖRANDE AV KAPARMENS SKRUVFÖRBAND

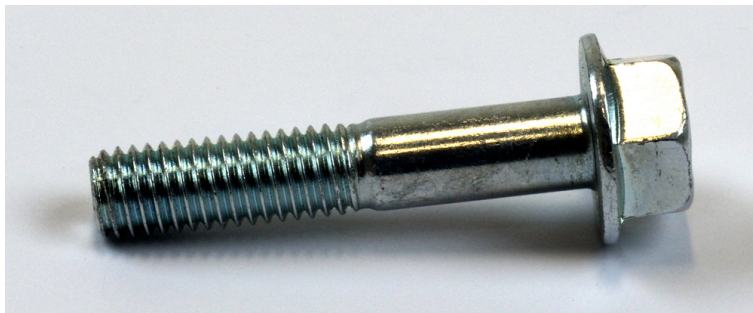
Kaparmens två skruvförband består vardera av M8 skruv och mutter samt klämda delar från vevhus, lagerhus och bricka, se figur 3.1. Skruvförbanden lossas och dras åt ute på fält för att spänna om remmen då den slits. Skruvförbandens uppgift är därefter att förhindra relativrörelse mellan de klämda delarna. Mer information om varje del i skruvförbanden beskrivs i avsnitt 3.1 - 3.4.



Figur 3.1 Kaparmen på en betongkap. Muttrarna syns ej då de sitter på insidan.

3.1 Skruvar

Skruvarna i förbanden är två identiska M8 flänsskruvar av stål och med hållfasthetsklass 10.9. Skruven är gängad halva längden upp till skruvskallen och därefter ogängad, se figur 3.1.1.



Figur 3.1.1 M8 Flänsskruv

Data för skruven kan sammanfattas enligt följande:

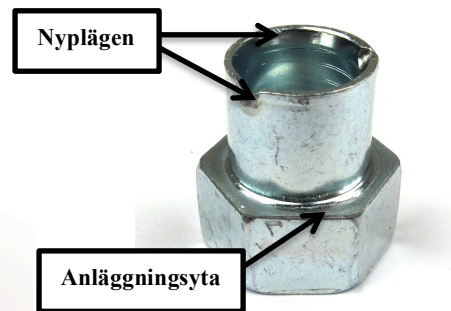
Material	Stål
Ytbehandling	Elförzinkad blank-kromaterad
Brottgräns	1000 MPa
Sträckgräns	900 MPa
E-Modul, Drag	ca 205 GPa
Termisk längdutvidgningskoefficient	11,5 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Övrigt	ISO 4014, ISO 4759

3.2 Muttrar

Muttrarna i figur 3.2.1 sitter direkt mot lagerhuset. De används för att skruven inte ska behöva gängas direkt i magnesium som lagerhuset är gjort av. Vid montering trycks de ner i hålen och nyps fast i överkant vid halsen så att de inte faller ur vid demontering av skruvarna. Se figur 3.2.2 för mutterns utförande innan den monteras på kaparmen.



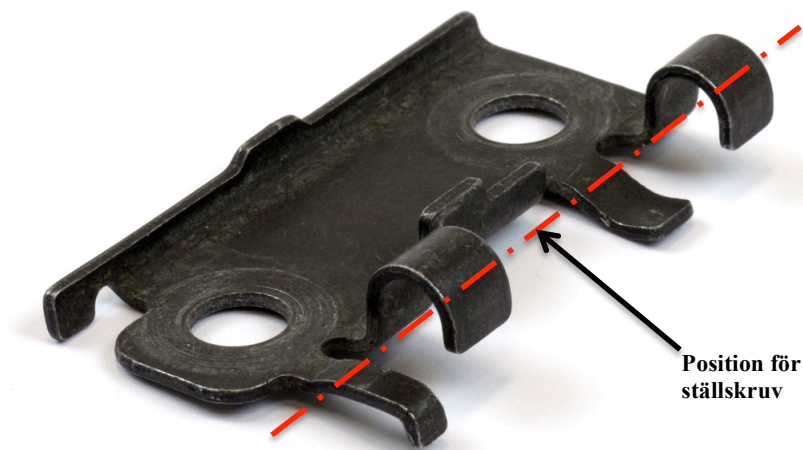
Figur 3.2.1 Muttrar fästa i lagerhuset



Figur 3.2.2 Mutter

3.3 Bricka

Brickan är monterad mellan skruvskallarna och vevhuset av magnesium som figur 3.1 visar. Brickan som också kan ses i figur 3.3.1 har två uppgifter. Den ska sprida ut trycket från skruvskallarna jämnt över magnesiumunderlaget. Den skall även verka som ett stativ till en ställskruv för justering av remspänningen. Ställskruven är dock inte en del av skruvförbanden och kommer därför inte tas upp vidare i rapporten.



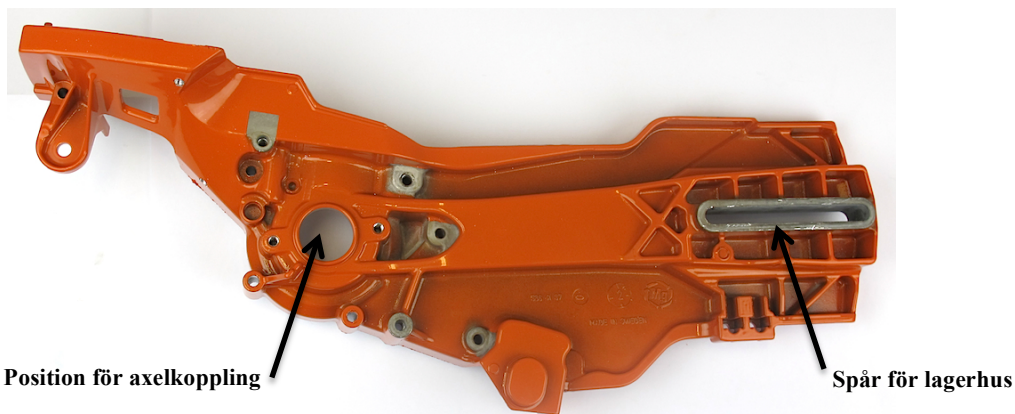
Figur 3.3.1 Bricka

För brickan gäller följande data:

Material	Boloc-02 Härdad
E-modul	ca 205 GPa
Ytbehandling	Manganfosfaterad
Övrigt	ISO 2768-1 m

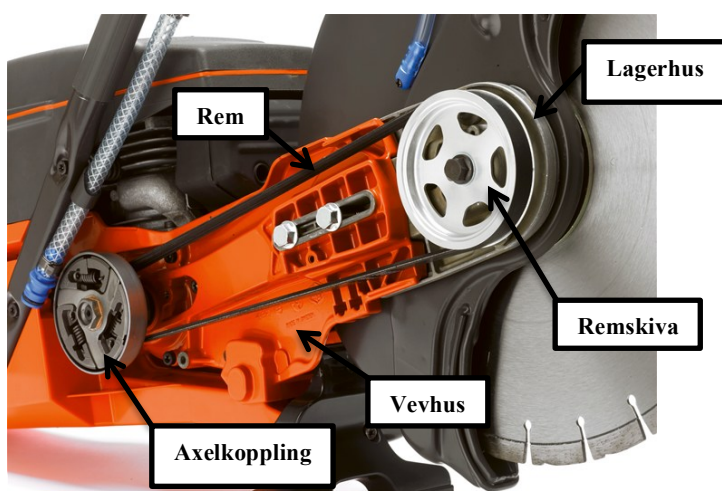
3.4 Vevhus & lagerhus

Vevhus och lagerhus är huvuddelarna som bygger upp kaparmen och är två av tre klämda delar i skruvförbanden, brickan är den tredje. Vevhuset kan ses i figur 3.4.1 och lagerhuset kan ses i figur 3.4.3 och figur 3.4.4.



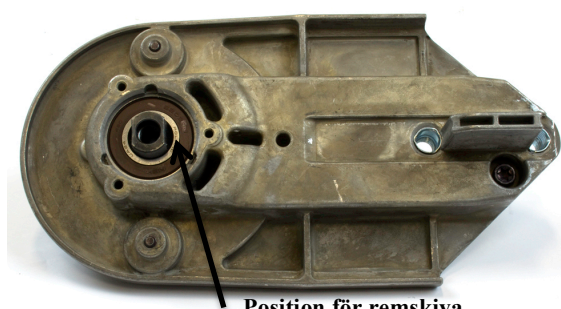
Figur 3.4.1 Vevhus K-Sida

Vevhusets K-sida är en av två delar som bygger upp vevhuset och samtidigt agerar som en del i kaparmen. Här efter kallas den enbart vevhuset då det är endast K-sidan som behandlas i rapporten. Denna detalj sitter i direkt kontakt med vevpartiet som via en axelkoppling driver en remtransmission som sätter snurr på klingan. Axeldkopplingens placering kan ses i figur 3.4.1. Lagerhuset monteras med två skruvförband vid spåret på vevhuset som också kan ses i figur 3.4.1 och i figur 3.4.2. Spåret är till för att lagerhuset skall kunna skjutas fram för att spänna remmen.

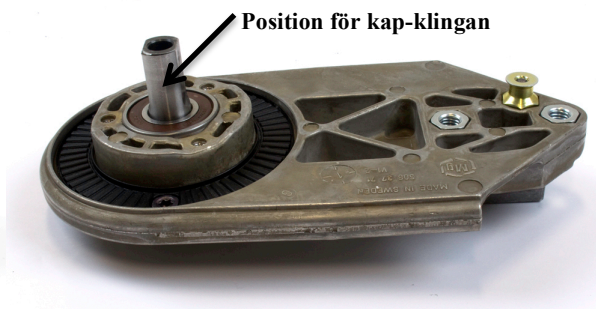


Figur 3.4.2 Skruvförband monterat på betongkap (Husqvarna AB)

Lagerhuset håller kapklingan som kan ses i figur 3.4.2 som sitter på axeln i figur 3.4.4. Kapklingan drivs via remmen och tillhörande remskiva på motsatta sidan av klingan, se figur 3.4.3.



Figur 3.4.3 Lagerhus, remsidan



Figur 3.4.4 Lagerhus, sida för klinga

Följande data gäller för lagerhus och vevhus:

Material	Magnesium ASTM AZ91D
Ytbehandling	Kromatering NH35 10 μm (+pulverlackering för vevhus)
Brottgräns	248 MPa
Sträckgräns	148 MPa
E-Modul, Drag	45 GPa
E-modul, Skjuv	17 GPa
Termisk längdutvidgningskoefficient	26 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot\text{K})$

4 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT FÖR UTVÄRDERING AV SKRUVFÖRBANDEN

I det här kapitlet presenteras tillvägagångssättet som använts till att utvärdera skruvförbanden på kaparmen. Kapitlet innefattar hela processen från informationssökning till utförande av prover. Genomgående gäller att benämningen provdel betecknar ett system bestående av två skruvar och två muttrar samt en bricka, vevhus och lagerhus.

4.1 Informationssökning om felfaktorer och provmetoder

För att införskaffa information om hur provning av skruvförband kan gå till var första steget att söka information på internet och via Chalmers bibliotekskatalog. Mycket information hämtades från Svenska Nätverket För Skruvförbands hemsida. Där fanns även några kontaktpersoner som ringdes upp och bokades studiebesök med.

En provmöjlighet på Chalmers var på materialtekniska laboratoriet på institutionen för material- och tillverkningsteknik där ett studiebesök med Christer Persson gjordes där han visade deras laboratorium med provutrustning. Det som var av intresse här var en drag- och tryckprovmaskin med en möjlig belastning på upp till 50 kN.

Ytterligare ett studiebesök gjordes på Chalmers där konstruktionstekniska laboratoriet på institutionen för bygg- och miljöteknik med Lars Wahlström besöktes. Där inhämtades information om vilken provutrustning som fanns och möjligheten att utnyttja den.

De studiebesök som gjordes hos kontaktpersoner på Svenska Nätverket För Skruvförbands hemsida var hos Filip Bergman (Volvo powertrain), Jan Skogsmo (Swerea IVF) samt Göran Toth (VICURA). Genom studiebesöken hämtades mycket information till hur skruvförband kan provas. Genom att presentera kaparmen med tillhörande skruvförband erhöles mycket hjälp till vad felet kunde vara och hur felfaktorerna kunde provas på ett bra sätt. Studiebesöken gav även möjlighet att se företagets olika provutrustningar och därmed information om vilka prov de skulle kunna utföra om Husqvarna skulle anlita dem. Dessutom införskaffades information om vilka prov som skulle kunna utföras på egen hand med olika mätutrustningar som fanns tillgängliga på Husqvarna och Chalmers.

Studiebesök gjordes även hos Husqvarna (i Huskvarna) där information hämtades om vilka provutrustningar som fanns tillgängliga. Dessutom gavs möjligheten att diskutera vilka möjligheter det fanns att simulera skruvförbandet i en FEM-analys. Det visade sig att de även hade en drag- och tryckprovmaskin som klarar en belastning på upp till 20 kN samt en utmattningsrigg som klarar pulserande laster på upp till 5 kN med en maximal frekvens på 5 Hz. Magnus Claesson, som visade provutrustningen, erbjöd även sin hjälpa att tillverka fixturer för att fästa kaparmen i provmaskinerna.

Efter studiebesöken sammanställdes informationen om olika provmetoder samt tillgängligheten till dessa. Det gjordes även en sammanställning av vilka som var de möjliga felfaktorerna utifrån informationen som studiebesöken gett. På så sätt skapades en överskådlig bild över vilka prov som kunde utföras på egen hand med hjälp av tillgänglig provutrustning och vilket material som behövde införskaffas till provutförandena.

4.2 Uppnådd klämkraft vid olika åtdragningsmoment och krypning i rumstemperatur

Klämkraften beräknades genom att först mäta skruvens förlängning vid åtdragning med olika moment och med hjälp av fjäderkonstanten, $c_s=256,713$ kN/mm som beräknats i bilaga 2. Provet utfördes med tre stycken provdelar där varje provdel bestod av två skruvar med tillhörande muttrar, en bricka, vevhus och lagerhus.

För varje provdel mättes först skruvarnas begynnelselängd då provdelarna är omonterade. Mätningen gjordes med en mikrometer med plana mätanslag på plansvarvade skruvar med referenskalibrering på 50 mm med hjälp av medföljande kalibreringsverktyg till mikrometern. För mer information om hur planslipning av skruvarna gick till kan ses bilaga 2 "Plansvarvning av skruvar". För varje mätning som gjordes utfördes tre stycken likadana skruvlängdsmätningar för att kontrollera att mätvärdena är nästan lika ifall mätanslagen hamnat på grader eller att smuts har kommit mellan och därmed ger utfall på mätvärdena.

Efter att skruvarnas begynnelselängd uppmätts monterades en provdel i taget, sedan drogs med momentnyckel båda skruvarna åt till först 20 Nm var. Därefter drogs skruvarna åt växelvis med 5 Nm intervall upp till 45 Nm utan lossning mellan dragningarna.

Provdellarna som var åtdragna till 45 Nm, lämnades sedan i rumstemperatur så att krypning kunde studeras genom mätning av klämkraft under en längre tid.

4.3 Undersökning av uppskattat rekommenderat åtdragningsmoment

Tio personer valdes slumpmässigt ut till att dra åt skruvförbanden med en momentdragare där åtdragning- och lossmoment kunde avläsas med hjälp av en analog mätklocka. Varje person fick i uppdrag att dra åt en skruv i taget på en provdel till 25-30 Nm vilket är Husqvarnas rekommenderade moment vid åtdragning av skruvförbanden. Provkandidaterna kunde inte se vilket moment de drog åt till under tiden de utförde provdragningen (mätklockan var täckt med en lapp under dragningarna) och efter det att varje skruv dragits åt noterades åtdragningsmoment. Detta för att få en bild av spridningen i åtdragningsmoment då remväxeln spänns vid användning av betongkapen ute i fält.

4.4 Värmeprov

Innan värmeprovet påbörjades gjordes en provplan med vad som skulle undersökas och hur. Tidigare temperaturmätvärden från Husqvarna bestämde vilken maximal temperatur provdelarna skulle värmas upp till. Varje provserie representerade fyra stycken provdelar som värmdes upp till en och samma temperatur och som därefter fick svalna av. Totalt testades fyra olika provserier vid således fyra olika uppvärmningstemperaturer.

För att uppnå rätt förspänningskraft mättes motsvarande förlängning av skruvarna med en mikrometer. Skruvarna drogs åt till en nominell förspänningskraft på 20 kN så alla provdelar hamnade inom felmarginalen på ± 3 μm vilket motsvarar $\pm 0,77$ kN i kraft. Ugnen som användes till att värma upp provdelarna var Husqvarna, Jonsers egen ugn i laboratoriet. Två stycken provdelar placerades i mitten av ugnen och värmdes upp i en timme. Provdellarna läts

sedan svalna under en timme och därefter mättes den förlorade klämkraften på grund av plasticering. En detaljerad provbeskrivning kan ses i bilaga 3.

4.5 Tvärkraftsprov

Eftersom skruvförbanden till kaparmen vid drift överför tvärkrafter från kapklingan bedömdes det relevant med tvärkraftsprov. Tvärkraftsprovet utfördes med hjälp av ett faktor försök för två faktorer, hög (20 kN) och låg (10 kN) förspänningskraft samt med och utan damm. Inga replikat för de totalt fyra provdelarna utfördes. Åtdragning till en låg och en hög förspänningskraft gjordes genom att dra åt bakre och främre skruven tills de förlängts så mycket att det uppmätta värdet på kraften låg inom felmarginalen på 0,7 kN.

Provdelen placerades därefter med hjälp av en fixtur i Husqvarnas drag- och tryckprovmaskin så att provdelen befann sig i ett vertikalt läge. Därefter lades en gradvis ökande dragkraft på, och därmed ökande tvärkraft genom skruvförbanden, genom manuell vevning. Förlängningen av kaparmen och kraften skrevs automatiskt över till ett Excel-dokument med hjälp av datorprogram som var kopplat till drag- och tryckprovmaskinen.

När de fyra provdelarna provats enligt faktor försöket kunde dragkraft som funktion av förlängning plottas i MATLAB. Där kurvorna upphörde att vara linjära, på grund av glidning i skruvförbanden, kunde det största värdet på tvärkraften avläsas. För en detaljerad beskrivning av provutförandet se bilaga 4.

4.6 Tryckprov

För att bestämma fjäderkonstanten c_k för de klämda delarna utfördes tryckprov hos Husqvarna. Tryckprovet utfördes genom att pressa två distanser mot ett skruvförbands två klämda delar, vevhus och lagerhus, där skruv och mutter ska sitta. Distanserna var helt homogena och gjorda utav stål och var formade för att representera trycket från flänsskruvskalle och mutter. Det vill säga ena distansen var utformad som en cylinder och den andra som en hexagon. Kraften som krävs för att trycka och sträcka som pressen färdats registreras varefter det var möjligt att ta fram en kraft och deformationskurva för klämda delar vid de två skruvförbanden.

En spridningsbild erhöles med hjälp av tre provdelar för bakre och främre skruvförbandsposition där bakre positionen pressades först. Därefter pressades främre positionen på samma provdel.

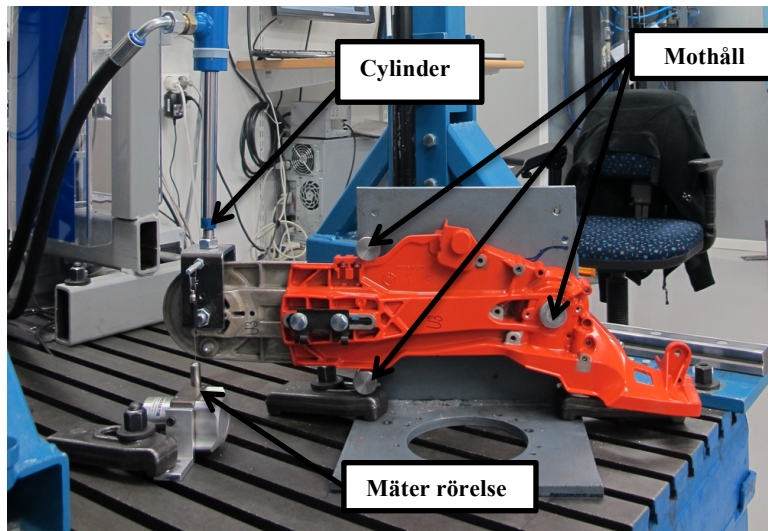
Datan lästes av automatisk och skrevs till Excel där kraft och deformation kan läsas av. Kraft- och deformationskurvorna plottades och analyserades sedan med hjälp av MATLAB. Där respektive kurva såg linjär ut användes minsta kvadratmetoden för att få fram en linjär kurva för varje provdel. Ett medelvärde för lutningen av samtliga kurvor vid främre respektive bakre skruvförbandets position togs fram. Lutningarna representerar fjäderkonstanten för seriekopplade klämda magnesiumdelar med distanser vid de två skruvförbanden.

Genom användning av homogena ståldistanser kunde distansernas styvhet lätt beräknas och sedan ”subtraheras” från de uppmätta fjäderkonstanterna. Därmed var magnesiumdelarnas fjäderkonstant känd vid respektive skruvförband. Brickan är mycket styv varför dess bidrag

kunde försummas. Därmed blev fjäderkonstanterna, c_k , för de klämda delarna i de två skruvförbanden kända. En mer detaljerad beskrivning kan ses i bilaga 5.

4.7 Utmattningsprov

Utmattningsprovet gjordes med hjälp av en tryckluftsdreven cylinder som gav en tryckkraft på ungefär 1860 N och en dragkraft på 960 N. Den cykliska rörelsen utfördes med en frekvens på 2,5 Hz. Riktningen på lasten var i vertikal riktning enligt figur 4.7.1 och applicerades vid lagerhusets axel. Provdelen satt fast i en fixtur med mothåll för stabilisering i tre punkter, vilka var placerade bakom skruvförbanden som figur 4.7.1 visar.



Figur 4.7.1 Detaljbeskrivning utmattningsrigg

En provdel kördes 100 cykler varefter maskinen stoppades tillfälligt för att mäta klämkraften. Därefter kördes ytterligare 100 cykler varefter förloppet upprepades tills totalt 500 cykler nåtts. Därefter mättes klämkraften vid 1000, 1500, 2000, 2500 och 4500 totalt körda cyklar för att få en bild över hur klämkraften minskar.

Totalt utfördes fyra prov i ett faktorförsök med två olika faktorer som undersöktes, 10 kN och 20 kN klämkraft samt med eller utan betongdamm. Betongdamm applicerades enligt bilaga 2 under ”Applicering av damm”. För mer information om hur utmattningsprovet gick till se bilaga 6.

5 RESULTAT & DISKUSSION AV KARTLAGDA FELFAKTORER, UTFÖRDA PROVER OCH MÄTMETODER

Här presenteras resultatet av möjliga felfaktorer, utförda prover och mätmetoder samt diskussion kring dessa.

5.1 Kartläggning av felfaktorer och valda provmetoder

Efter att informationsökningen var klar sammanställdes samtliga möjliga felfaktorer för kaparens skruvförband i en tankekartor, se figur 5.1.1.



Figur 5.1.1 Möjliga felfaktorer

Med hjälp av tabell 1.1 i bilaga 1 utvärderades vilka mät- och provmetoder som skulle användas. Det mätinstrument som valdes att använda till att mäta klämkraft med var en digital mikrometer med plana mätanslag. En digital mikrometer är lätt att läsa av samtidigt som den är mycket noggrann, enkel att lära sig använda samt att det fanns möjlighet att få snabb tillgång till en sådan.

De provmetoder som valdes att använda var tryckprov, tvärkraftsprov, utmattningsprov och värmeprov för att undersöka påverkan av värme och betongdamm som troddes orsaka

sättningar och därmed minska klämkraften. Samtliga prov kunde utföras på Husqvarna och Magnus Claesson hjälpte till att tillverka fixturer och distanser till de prover där det behövdes samt bygga om och justera deras utmattningsprovmaskin som enbart använts till att prova kedjor innan. Magnus Claesson var därmed en stor hjälp för att göra proven i Huskvarna möjliga. Fördelen med att kunna göra proverna hos Husqvarna är att arbetet kan fortsätta och proverna kan göras om och utvidgas i framtiden. Vid ytterligare prov kan därför kostnaderna för proven hållas nere då de utförs med Husqvarnas egen provutrustning och personal.

Personer som använder sig av betongkappar i sitt yrke är troligen relativt muskulösa så gjordes antagandet att det är troligare att de som drar åt skruvarna drar åt för hårt och inte för löst. Den punkten lades åt sidan men den skulle kunna undersökas genom besök ute på fält där ett antal användare får dra åt med en momentdragare med täckt display där momentet efteråt kan avläsas på momentdragaren. På så sätt kan en uppfattning skapas om vilket åtdragningsmoment skruvarna dras åt till ute på fält.

Vibrationer kan påverka att förbanden havererar men de laborationstester som Husqvarna gjort visar inte på något som tyder på att det är så. Eftersom att det är svårt att undersöka hur vibrationerna påverkar skruvförbanden valdes att lägga även den punkten åt sidan.

Felfaktorn med för liten anläggningsyta mellan skruvskalle/mutter och klämda delar är inget som har provats eftersom det skulle kräva omkonstruktion innan provet skulle kunna utföras.

5.2 Uppnådd klämkraft vid olika åtdragningsmoment och krypning i rumstemperatur

För att få en uppfattning om vilken klämkraft som uppnås vid ett visst pålagt vridmoment samt spridningen gjordes momentdragningar på tre stycken provdelar stegvis till olika moment. Vid olika åtdragningsmoment mättes klämkraften och resultatet kan ses i diagram 5.2.1 och diagram 5.2.2.

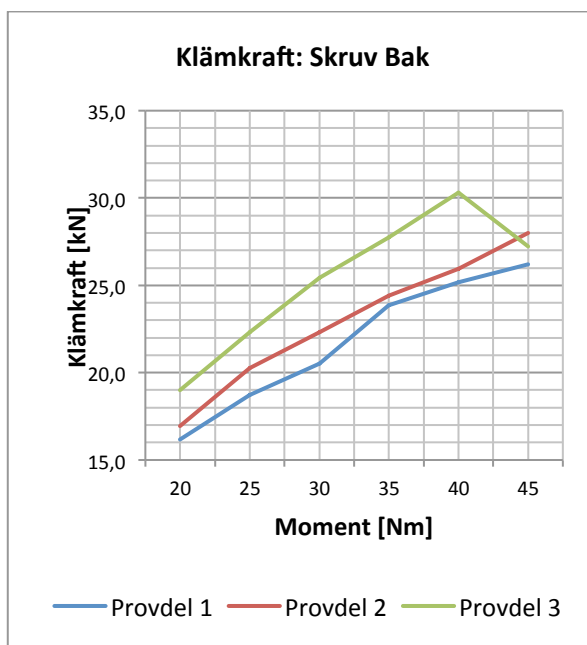


Diagram 5.2.1 Klämkraft bakre skruvförband

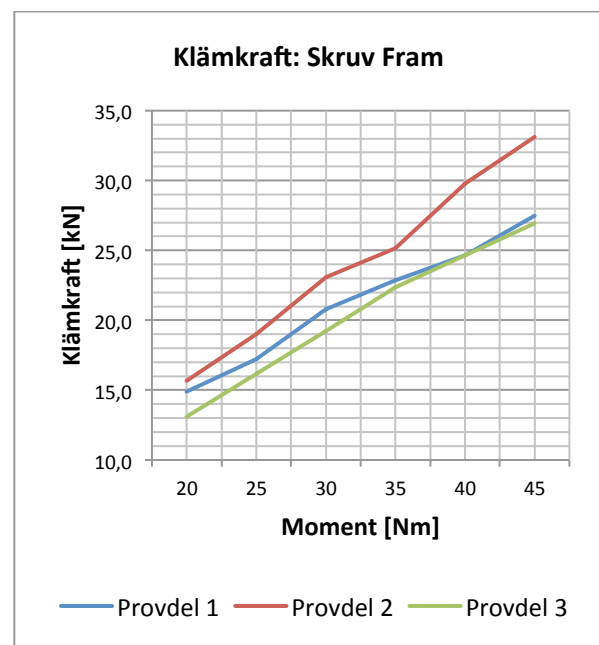


Diagram 5.2.2 Klämkraft främre skruvförband

Här kan ses att kurvorna är nästan linjära vilket stämmer väl överens med teorin. I diagram 5.2.1 hos provdel 3 syns en ”dipp” i klämkraft mellan åtdragningsmomentet 40 Nm och 45 Nm. Denna dipp tros bero på att vevhuset och lagerhuset av magnesium börjat plasticera.

Efter att provdelarna blivit åtdragna till 45 Nm mättes klämkraften ett antal dagar för att se hur krypningarna vid rumstemperatur ser ut. Resultatet, visat som medelvärdesbildad förlorad klämkraft i procent, kan ses i diagram 5.2.3. De svarta markeringarna vid varje mätpunkt är standardavvikelsen.

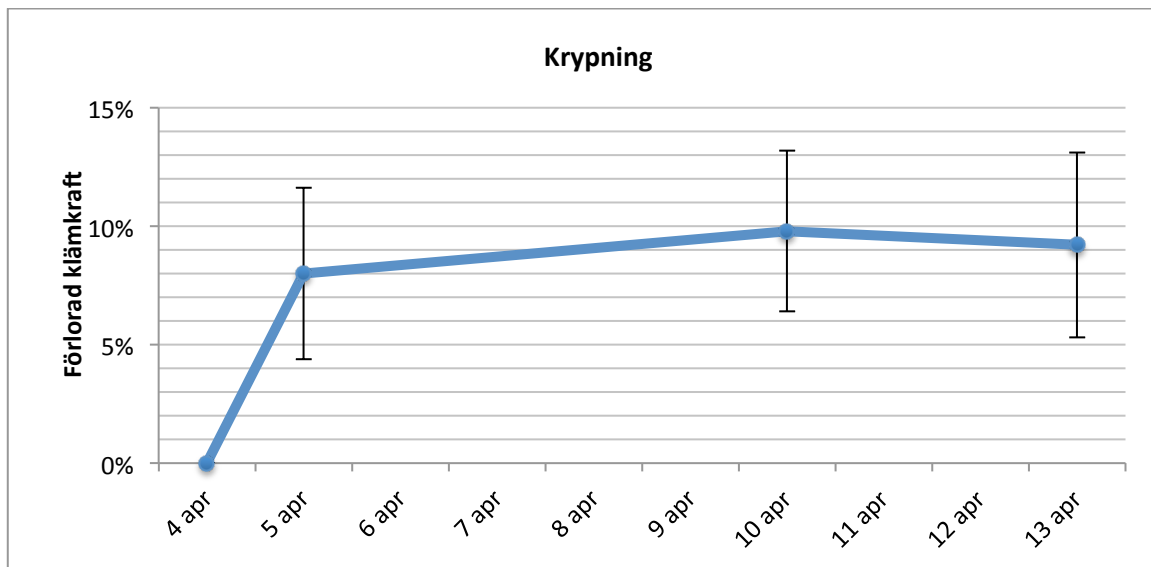


Diagram 5.2.3 Krypning i skruvförbanden vid rumstemperatur

5.3 Undersökning av uppskattat rekommenderat åtdragningsmoment

Syftet med undersökningen var att se hur svårt det är att dra kaparmens skruvförband ”på känn” till mellan 25 och 30 Nm. Därför utfördes en undersökning av åtdragningsmoment med hjälp av ett antal försökspersoner. Det genomsnittliga värde som erhöles efter undersökningen resulterade i ett åtdragningsmoment på 31,6 Nm med en standardavvikelse på 8,7 Nm.

Standardavvikelsen är relativt stor och medelvärdet på åtdragningsmomentet ligger lite över det rekommenderade på 25-30 Nm. Undersökningen gjordes med personer som arbetar på Husqvarna, Jonsereds kontor samt laboratoriet. Det verktyg som användes vid undersökningen var en kraftigare momentdragare med mätklocka som använts vid samtliga åtdragningar under hela arbetet. Det medföljande verktyget till betongkapen är mindre och svårare att dra åt hårdare med och kan ej visa åtdragningsmomentet.

5.4 Värmeprov

Resultaten från värmeproven visas i diagram 5.4.1 till diagram 5.4.4. Med ”Klämkraft, montering” menas den förspänningskraft som förbanden dragits åt till i rumstemperatur. Med ”Klämkraft, kvarvarande” menas den kraft som är kvar sedan förbanden varit utsatta för provtemperaturen och sedan svalnat av. Det svarta vertikala strecket på varje stapel i diagrammen visar standardavvikelsen som representerar spridningen och siffran ovanför visar medelklämkraften baserad på fyra provdelar.

Värmeprövet för de provdelar som värmts upp till 130°C under en timme och därefter svalnat till rumstemperatur under en timme gav en mycket stor förlust av klämkraften, se diagram 5.4.1. Resultatet visar att både främre och bakre skruvförband tappat mer än hälften av sin ursprungliga klämkraft.

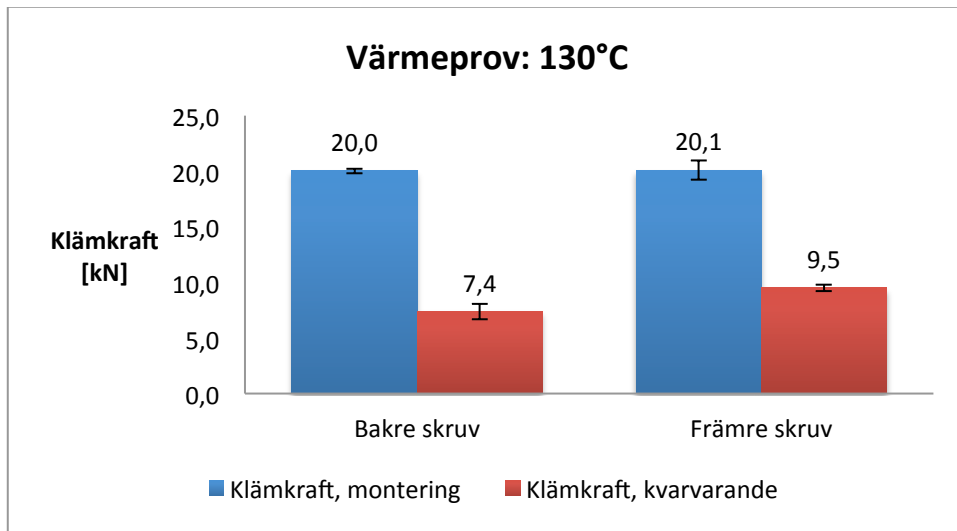


Diagram 5.4.1 Värmeprov: 130°C

För de provdelar som värmts upp till 95°C under en timme och därefter svalnat till rumstemperatur under en timme fanns mer än halva klämkraften kvar hos båda skruvförbanden. Däremot förlorade de mer än 25 % av sin ursprungliga klämkraft, se diagram 5.4.2.

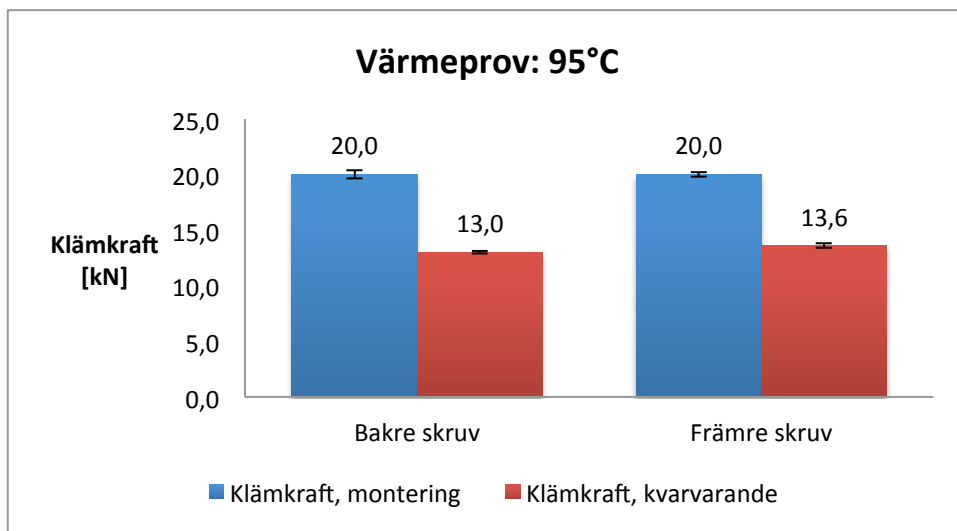


Diagram 5.4.2 Värmeprov: 95°C

Då fyra stycken provdelar värmdes upp till 65°C under en timme och sedan svalnat under en timme fanns en stor del av klämkraften kvar hos både främre och bakre skruvförband, se diagram 5.4.3.

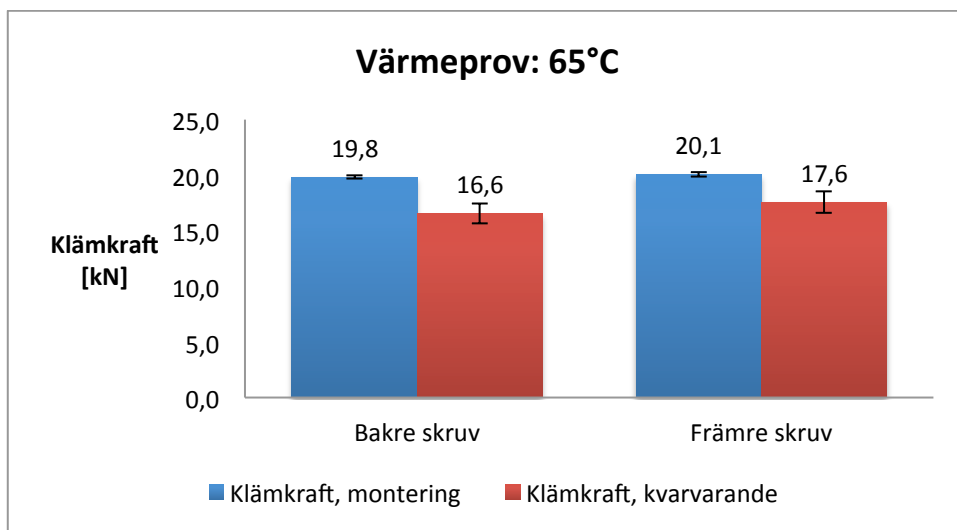


Diagram 5.4.3 Värmeprov: 65°C

Vid mätning på provdelar i rumstemperatur visade sig spridningen vara väldigt stor i förhållande till den förlorade klämkraften efter två timmar, se diagram 5.4.4. Det vill säga både främre och bakre skruvförband tappade väldigt lite klämkraft i förhållande till spridningen för mätningarna. Detta prov gjordes som kontroll av antagandet att ingen större klämkraftsförlust bör inträffa i rumstemperatur under den tiden. Provresultatet visar att antagandet var riktigt.

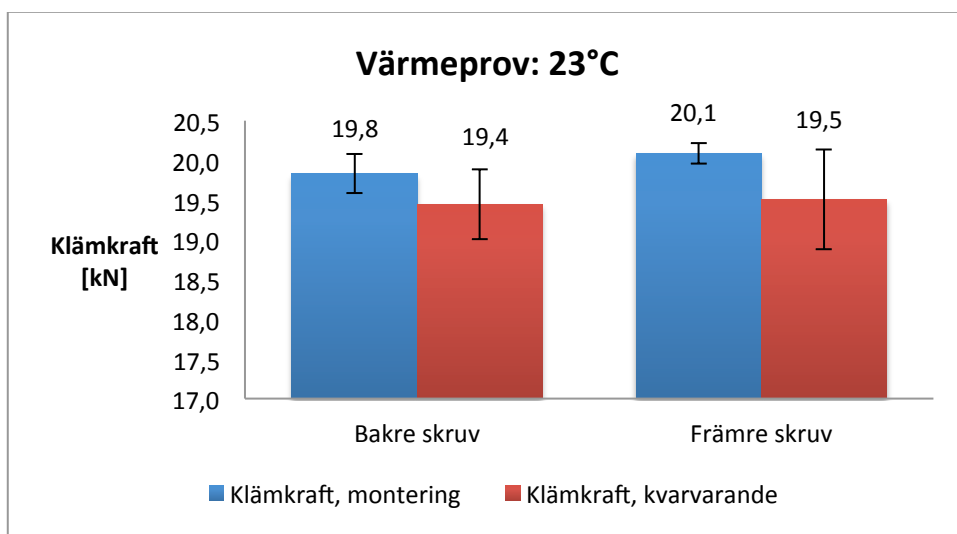


Diagram 5.4.4 Värmeprov: Rumstemperatur 23°C

I diagram 5.4.5 syns hur mycket klämkraft bakre och främre skruvförbanden förlorat då de värmts upp till 130°C, 95°C och 65°C för att sedan svalna till rumstemperatur. Förlusten av klämkraft är större ju högre temperatur provdelarna varit utsatta för.

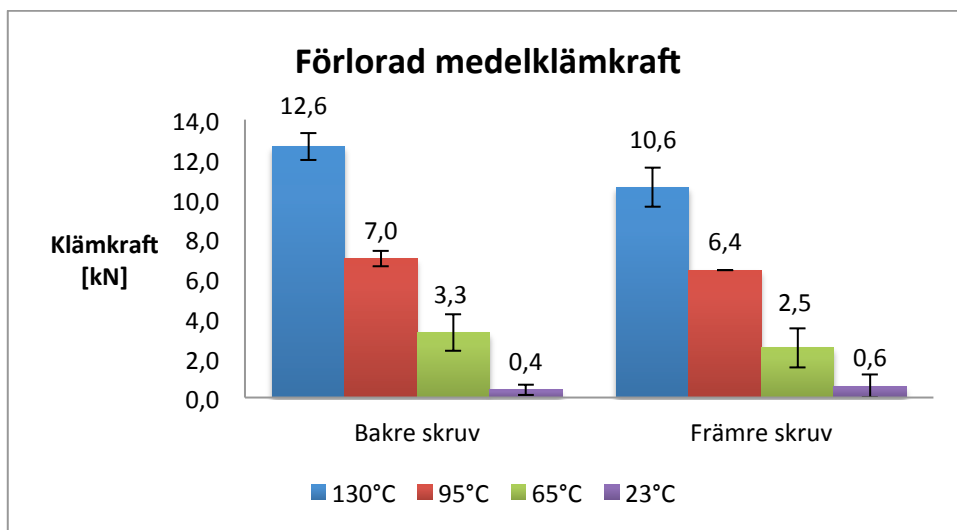


Diagram 5.4.5 Förlorad medelklämkraft

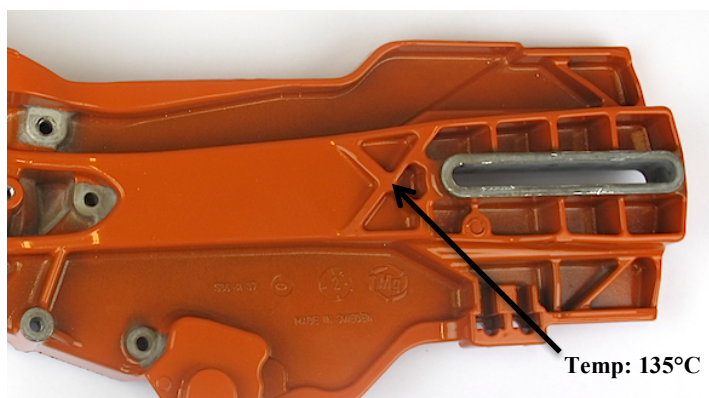
I tabell 5.4.1 syns spridningen i siffror för varje värmeprovstemperatur som representeras som svarta streck på varje stapel i diagram 5.4.1 till 5.4.4.

Tabell 5.4.1 Spridning av mätningar

Temperatur [°C]	Spridning klämkraft montering [kN]		Spridning kvarvarande klämkraft [kN]	
	Bak	Fram	Bak	Fram
23	0,2	0,1	0,4	0,6
65	0,1	0,2	0,9	1
95	0,4	0,2	0,1	0,2
130	0,2	0,9	0,7	0,3

Som det går att se i samtliga diagram har värmen en väldigt stor betydelse för skruvförbanden. Ju högre temperatur förbanden varit utsatt för desto större är förlusten av klämkraft, se diagram 5.4.5. Vid de här proven är förbanden enbart uppvärmda en gång och de har då legat i ugnen i en timme vilket är extremt jämfört med många verkliga fall. I arbetsförhållanden där lufttemperaturen är låg och tiden som betongkapen körs i sträck är kort kommer förbanden antagligen inte upp i så hög temperatur som 130°C. Däremot i varma länder som har en betydligt högre temperatur i den omgivande luften och belastningen på betongkaparna i vissa fall är större med längre körtider är det mycket möjligt att förbanden kommer upp i 130°C. Eftersom betongkaparna säljs i olika delar av världen med mycket varierande omgivningstemperatur och arbetsbelastning ökar kraven på dem.

Trovärdigheten av värmeproven är stor även om tiden som kaparmen befunnit sig i ugnen är väldigt lång och att det är oklart hur mycket tid i kombination med värme påverkar skruvförbandens förlust av klämkraft. Den högsta temperaturen som undersökts, som är 130°C, är inte orimligt hög då tidigare laborationstester av Husqvarna har visat en temperatur på 135°C i närheten av skruvförbanden vid hög belastning, se figur 5.4.1. Då magnesium leder värme bra så bör temperaturen vid skruvförbanden inte skilja sig markant från den uppmätta (135°C).



Figur 5.4.1 Temperaturmätställe på vevhus

Vid jämförande av förlust av klämkraft i lufttemperatur förlorar skruvförbanden väldigt lite klämkraft för samma tidsintervall. Vid skruvförbandstemperaturer 95°C eller högre går det dock med säkerhet säga att värme har en stor påverkan på förlust av klämkraft. Därför kan man påstå att haveri av skruvförbanden kan uppstå vid omständigheter där förbanden kommer upp i höga temperaturer.

5.5 Tvärkraftsprov

I tabell 5.5.1 syns förklaringar till de faktorer som undersöktes och i diagram 5.5.1 syns de uträknade effekterna, representerade i ett paretodiagram över tvärkraftsprovet, som varje faktor har. Som det går att se i diagrammet har endast positiva effekter erhållits vilket innebär att om man höjer faktorerna A och B från låg nivå (-) till hög nivå (+) krävs en större tvärkraft för att få glidning i förbanden.

Tabell 5.5.1 Faktorer som undersökts

Faktorer	Låg (-)	Hög (+)
A = Damm	Inget damm	Applicering av damm
B = Förspänningskraft	10 kN	20 kN

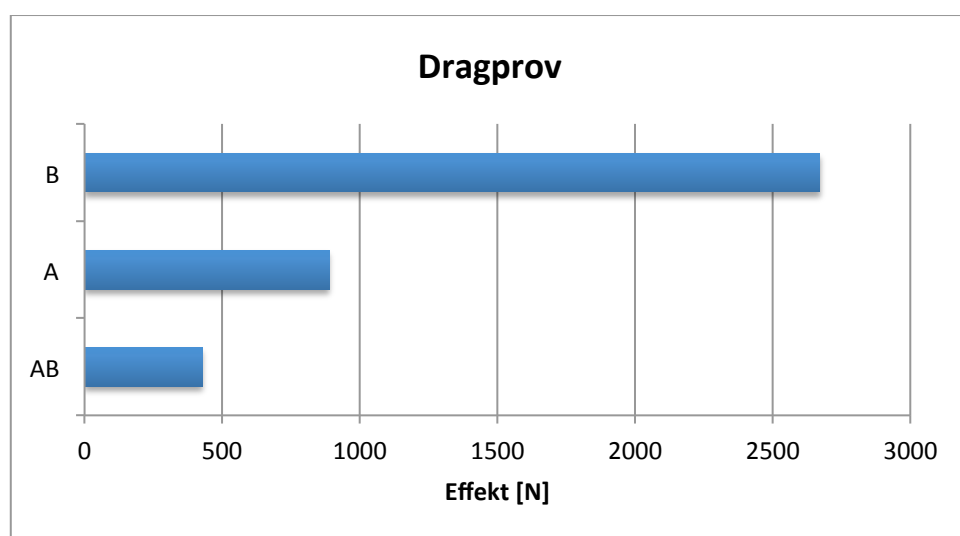


Diagram 5.5.1 Paretodiagram över tvärkraftsprov

Resultatet från tvärkraftsprovet enligt diagram 5.5.1 visar en indikation på att effekten av förspänningskraft är högst sen kommer effekten av damm och sist effekten av kombinationen förspänningskraft och damm. Anledningen till att dammet orsakat att det krävs en större tvärkraft för att få relativrörelse i förbanden är antagligen för att det tunna dammlagret har fungerat som en film eller ytbehandling som ökar friktionen mellan ytorna. I bilaga 4 redovisas resultaten från tvärkraftsprovet utförligare.

5.6 Tryckprov

Resultatet från tryckprovet resulterade i fjäderkonstanter för de klämda delarna hos främre och bakre skruvförband vilka kan ses i tabell 5.6.1. För utförligare information om tillvägagångssättet, se bilaga 5.

Tabell 5.6.1 Fjäderkonstanter för klämda delar i de två skruvförbanden

	Fram	Bak
Fjäderkonstant [kN/mm]	$c_{k,fram}=48,940$	$c_{k,bak}=22,232$

Dessa värden kan jämföras med tidigare uträknad fjäderkonstant för skruven, $c_s=256,7$ kN/mm. Plottar man skruvkraften F_s och klämkraften F_k som funktion av deformationen där lutningen för skruv är c_s , lutningen för klämda delar är $c_{k,fram}$ respektive $c_{k,bak}$ och låter samtliga linjer skära förspänningskraften $F_0 = 20$ kN i samma punkt får man ett $F - \delta$ diagram över skruvförbanden enligt diagram 5.6.1. På x-axeln syns den totala deformationen i hela förbandet och på y-axeln ses kraften som går genom varje skruv och kraften genom de klämda delarna.

För att få ett skruvförband som är bra ur skruvutmattningsynpunkt skall de klämda delarna vara styva och skruven vara vek (Swedish Fasteners Network, 2012; Mägi & Melkersson, 2011). Detta för att kraftamplituden som tas upp av skruven skall bli så liten som möjligt. Dock så har det inte varit något problem med skruvutmattning i kaparmens skruvförband varför någon större vikt vid detta inte har lagts.

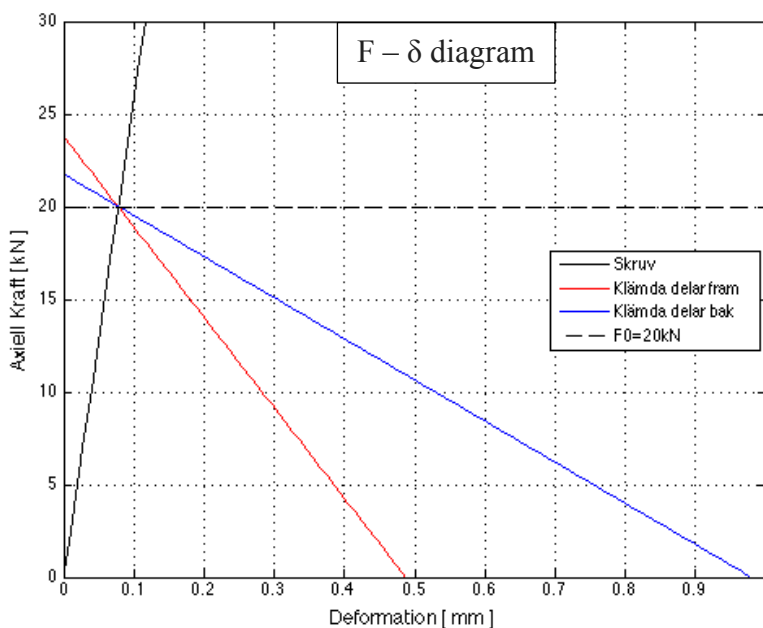


Diagram 5.6.1 F - delta diagram över skruvförband

Ur diagram 5.6.1 framgår att förbanden har en stor total deformation vid montering, speciellt det bakre. Det gör förbanden mindre känsliga för sättningar. Diagram 5.6.1 visar dock att främre skruvförbandet är känsligare för sättningar än bakre skruvförbandet.

5.7 Utmattningsprov

Resultatet från utmattningsprovet redovisas som ett Paretdiagram, se diagram 5.7.1, där man kan se storleken av effekterna från olika faktorer, som är beskrivna i tabell 5.7.1, och samspel av faktorer. För utförligare beskrivning av hur resultatet togs fram se bilaga 6. (Dahlbom, 2003).

Paretdiagrammet visar att effekten av faktor B, om man ökar förspänningskraften från 10 kN till 20 kN, innebär en minskning av den förlorade klämkraften med drygt 20 %. Det vill säga storleken av förlorad klämkraft minskar då den högre förspänningskraften appliceras.

Diagram 5.7.1 visar även att den största effekten kommer ifrån samspelet mellan faktorerna A och B, betongdamm respektive förspänningskraft, vilket kan studeras noggrannare i diagram 5.7.2 och diagram 5.7.3. Diagram 5.7.1 visar även att effekten för främre skruvförbandet är lite större än för bakre skruvförbandet och vid effekten för samspelet blir det en stor skillnad.

Tabell 5.7.1 Faktorer

Faktor	Låg (-)	Hög (+)
A	Inget damm	Applicering av damm
B	Förspänningskraft 10 kN	Förspänningskraft 20 kN

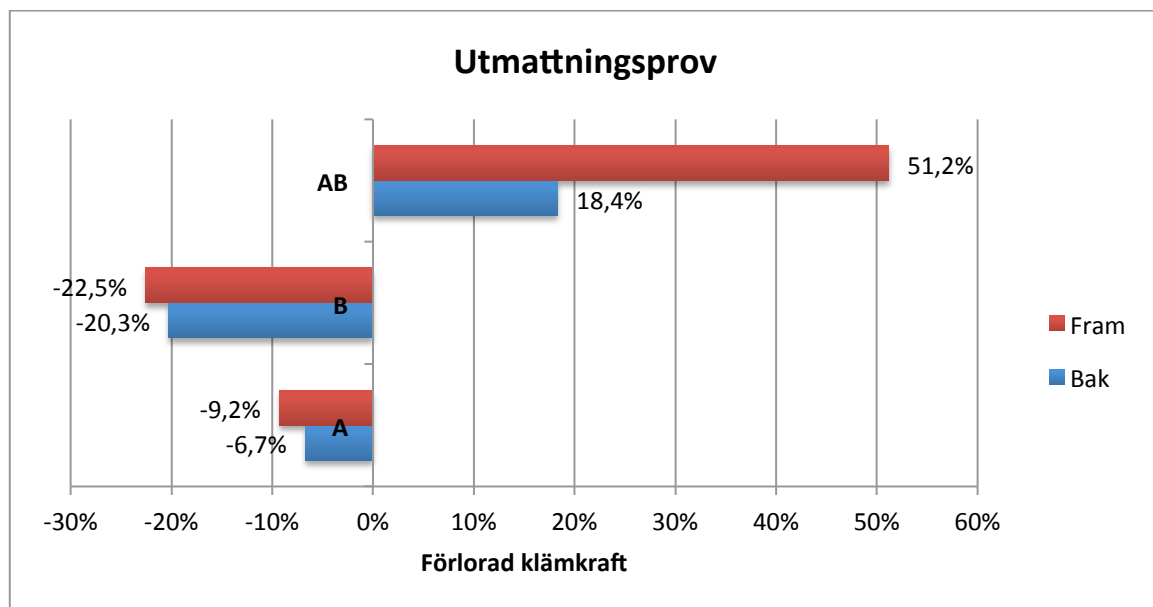


Diagram 5.7.1 Paretdiagram över utmattningsprov

Diagram 5.7.2 och diagram 5.7.3, som är mycket lika varandra, visar alltså att ökad förspänningskraft tillsammans med betongdamm minskar den förlorade klämkraften.

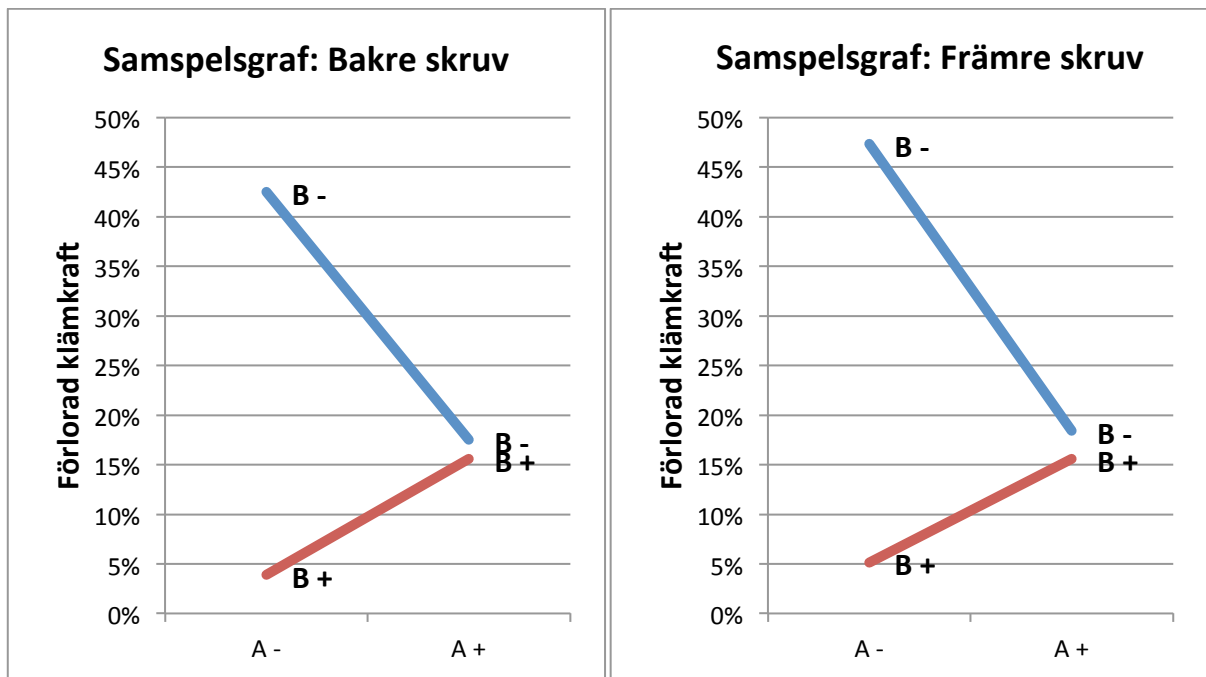


Diagram 5.7.2 Samspelsgraf bakre skruvförband

Diagram 5.7.3 Samspelsgraf främre skruvförband

Att applicering av betongdamm ger upphov till mindre förlorad klämkraft och därmed mindre slitage kan tyckas vara underligt. Dock är den faktorn i sig liten, 6,7 - 9,2 %, men samspelet mellan betongdamm och förspänningskraft är stort. Det är möjligt att dammet ökar friktionen och gör att förbandet får svårare att röra på sig och därmed minskar slitaget.

Resultaten som presenteras här i avsnitt 5.7 är tveksamma och bör inte tas som absoluta sanningar på grund av följande anledningar:

- Inga replikat är gjorda. Det gör att ingen spridning erhålls och det går inte att avgöra om det är utfall av slumpen eller inte.
- Så som faktorförsöket var upplagt blev de utförda proven alltför olika varandra på grund av för stor skillnad i uppkommen relativrörelse i skruvförbanden. Mer om detta i bilaga 6.
- Efter att utmattningsproven utförts upptäcktes en faktor som inte tagits hänsyn till under proven. Denna faktor var inverkan av temperaturstegring i skruvförbanden och som troligen har stor påverkan av resultaten, se bilaga 6.

Med dessa punkter i åtanke samt att några resultat inte stämmer överens med det förväntade bör försiktighet tas vid användande av dessa resultat.

5.8 Kommentarer angående utförda mätningar

Vid mätning med mikrometer då värmeprovet utfördes finns en spridning uträknad för varje provserie vilket går att avläsa i bilaga 3 samt i tabell 5.4.1. För utmattningsprovet och tvärkraftsprovet har inte någon spridningsbild kunnat tas fram eftersom inga replikat utfördes utan resultaten från dem kan enbart ses som en indikation.

Då provning av förlorad klämkraft utförts i rumstemperatur i samband med värmeprovet visar sig spridningen vara väldigt stor jämfört med resultatet och det är därmed svårt att säkerställa någon märkbar förlust av klämkraft i det fallet, se diagram 5.4.4.

För att få så noggranna resultat som det går och för att minska spridningen har samma person gjort alla mätningarna i samtliga prov som utförts. Att mäta med mikrometer kräver en del handhavande då ytan på de plana anslagen på mikrometern ska hamna korrekt mot skruvens plana ytor. Mikrometern får inte vara vinklad och det är viktigt att se till att hålla i plasthandtaget så att personen som mäter inte överför alltför mycket värme till mikrometern som kan inverka på resultatet. Det är också viktigt att placera mikrometern likadant mot skruven vid mätning som utförs så att mätanslagen inte trycks olika hårt mot skruven och ger felaktiga utslag.

För att göra mikrometermätningarna så noggranna som möjligt och ge personen som utförde mätningarna en chans att bekanta sig med mikrometern gjordes många testmätningar innan själva proven. Detta rekommenderas då en ny person ska göra mätningar med en noggrann mikrometer. Det är viktigt att se till att alla mätningar utförs med samma mikrometer då olika typer av mikrometrar har olika noggrannhet, är olika utformade och används på lite olika sätt för att få så bra resultat som möjligt. Replikat bör alltid utföras om det finns möjlighet till det för att erhålla en spridningsbild och säkra resultaten.

När det gäller mätning med temperaturmätinstrumenten som använts vid värmeproven är den största felfaktorn mätinstrumentets noggrannhet vilket tas upp i avsnitt 2.5.

6 FELFAKTORER OCH REKOMENDERADE FÖRBÄTTRINGSÅTGÄRDER

Här tas olika felfaktorer för kaparmens skruvförbandshaveri och möjliga förbättringar till dessa upp. Tanken att detta skall fungera som underlag för företaget när omkonstruktion äger rum.

6.1 Skruvar

På ett stort antal skruvar kunde spår ses under flänsen på skruvskallen enligt figur 6.1.1. Förekomsten till spår är förmodligen en oönskad del från tillverkningsprocessen. Skruvförband fungerar bäst med släta, väl definierade ytor eftersom dessa spår bidrar till sättningar vid montering och drift vilket gör att skruvförbandet tappar klämkraft. (Bergman, 2012; Toth, 2012)



Figur 6.1.1 Skruv

Då Husqvarna har bytt tillverkare av skruvarna syns dock inte längre några spår, utan undersidan på skruvskallen är mycket slätare.

Att skruven är gängad endast halva längden är troligen gjort av kostnadsskäl. En skruv som är gängad hela vägen upp mot skruvskallen får en lägre fjäderkonstant c_s vilket är bättre mot sättningar. Skruven blir inte svagare av detta ur brottsynpunkt då skruven ändå, med stor sannolikhet, kommer att gå av vid gängorna. Att helgänga skruvarna gör teoretiskt en minskning av fjäderkonstanten c_s med 18 % enligt utförd MATLAB beräkning från programmet i bilaga 7.

För att minska risken för uppglappning och glidning är det rekommenderat att ha en ytbehandling med lägre och mindre spridning på friktionen hos skruvarna. En mindre och mer kontrollerad friktion gör förbandet säkrare.

6.2 Muttrar

Att öka anläggningsytan mellan muttrar och lagerhuset och få ner hålpnantrycket kan vara ett sätt att minska plastiseringarna som förekommer i förbandens klämda delar. Detta genom att öka muttrarnas anläggningsyta eller genom att använda sig utav en stålbricka.

Det är rekommenderat att hålpnantrycket inte ska överstiga 180 MPa för den typ av magneisumlegering som godset består av i det här skruvförbandet (Swedish Fasteners Network, 2012). Beräkningar ger att hålpnantrycket under muttrarna kommer upp till ett värde på 301 MPa vid en klämkraft på 20,4 kN. Det innebär stora plastiska sättningar i magnesiummaterialet, det vill säga redan vid rekommenderat åtdragningsmoment börjar materialet under muttern att plasticeras. Effekten skulle kunna minskas genom planare ytor samt större anläggningsyta enligt ovan som därmed minskar kontakttrycket.

6.3 Betongdamm

Förbanden är inte helt stela, de flexar lite vid belastning och damm kan komma in mellan förbandens klämda delar. Detta gör att friktionen mellan de klämda delarna påverkas.

I utmattningsprovet och tvärkraftsprovet erhöles resultat som verkade tvärtemot hypotesen att damm skulle förvärra förhållandet för förbanden, det vill säga att förlusten av klämkraft skulle bli större samtidigt som det skulle krävas mindre yttre kraft för att få förbanden att röra sig. På det sättet som damm applicerades i proverna, som en tunn film av damm som penslades på, har det motsvarat en ytbehandling eller film som ökar friktionen. Applicering av damm på ett sätt som motsvarar verkligheten är mycket svårt samtidigt som det måste ske på ett sådant sätt att det blir repeterbart. I verkligheten är dessutom förhållandena ofta våta, på grund av kylvatten för kapklingan, vilket också kan påverka dammets inverkan.

Hypotesen om att dammet skulle få klämkraften att minska mer och öka slitaget har inte blivit besvarad av proverna även om det fortfarande är möjligt att hypotesen stämmer. För att studera dammets inverkan krävs ytterligare prover och applicering av damm på ett annat sätt. Det vill säga inverkan av betongdamm kan inte säkerställas utifrån gjorda prov och för att stänga ute dammet från skruvförbanden rekommenderas därför inte heller någon förbättringsåtgärd.

6.4 Värme

Resultatet från värmeprovet, se avsnitt 5.4, visar att värme har en mycket stor påverkan på skruvförbandens klämkraft. När förbanden värms expanderar magnesium mer än stål vilket gör att spänningarna i materialet ökar och därmed risken för plasticering. Då magnesium expanderar mer än dubbelt så mycket som stål, $\alpha_{\text{magnesium}} = 26 \mu\text{m}/(\text{mK})$ och $\alpha_{\text{stål}} = 11,5 \mu\text{m}/(\text{mK})$, är denna effekt stor.

Genom att använda skruvar av material med liknande längdutvidgningskoefficient som magnesium, till exempel aluminiumskruv, kan ökningen av spänningarna minskas då skruvförbandens temperatur ökar. Därmed minskas plasticeringen i magnesiummaterialen varvid förlusten av klämkraft vid rumstemperatur minskar då förbanden varit utsatta för värme. Nackdelen med en aluminiumskruv är den minskade hållfastheten.

Det är också relevant att undersöka om det går att begränsa uppvärmningen av förbanden vid drift via någon form av kylning, till exempel en fläkt. Ett kylsystem av något slag kommer dock att kosta mycket pengar och göra betongkapen tyngre och otympligare att använda eftersom ytterligare detaljer tillkommer som ska fästas på kaparmen. En annan lösning är att använda ett material i kaparmen med högre sträckgräns men det blir dyrare då mycket ska förändras i tillverkningsprocessen. Magnesium är även förhållandevis lätt jämfört med till exempel stål vilket gör betongkaparna mer användarvänliga.

7 FORTSATT ARBETE

Här presenteras fortsatt arbete som kan vara av intresse för Husqvarna AB. Tanken är att det fortsatta arbetet skall komplettera redan utförda prov där resultaten är bristfälliga eller där prov av intressanta felfaktorer saknas.

7.1 Värmeprov

Vid utförande av ytterligare värmeprov skulle det vara av intresse att vid olika tidsintervall studera hur tiden i ugnen påverkar förlusten av klämkraft hos provdelarna. Provet skulle till exempel kunna gå till så att fyra stycken olika provdelar värms upp till samma temperatur men plockas sedan ut vid fyra stycken olika tidsintervall i ugnen. Tidsintervallen i ugnen skulle kunna vara 15, 30, 45 minuter och 1 timme och sedan låta provdelarna svalna för att undersöka påverkan av tiden som skruvförbandet varit utsatt för värme.

Det skulle även vara intressant att värma upp skruvförbanden, med efterföljande svalning, några gånger för att simulera utsättning för temperaturcykler vilket förbanden utsätts för i verkligheten. Det kommer antagligen att leda till en större förlust av klämkraft i förbanden. Temperaturcyklerna sker då betongkapen dels varvas upp och ner vid användning samt då den är i drift och inte i drift.

Det finns antagligen fall då omspanning av remmen skett då betongkapen inte har hunnit svalna efter att ha befunnit sig i drift en tid. Om skruvarna dras åt då förbanden är varma kommer förlusten av klämkraft bli stor vid senare avsvälning då magnesiumet under åtdragningen är utvidgat mer än stålskruvarna. Detta förlopp är lätt att simulera i den ugn där övriga värmeprov gjorts. Med resultat av hur mycket klämkraft förbanden förlorar då de dras åt vid varmt tillstånd jämfört med då de är åtdragna vid rumstemperatur.

Förutom de nämnda proven ovan skulle det finnas stora möjligheter att undersöka värmens påverkan på en eller flera nya konstruktioner. Då kan olika nya konstruktioner och den gamla konstruktionen jämföras med varandra genom att repetera det värmeprov som är utfört i det här arbetet. På så sätt går det att se hur skruvförbandets värmestålighet förändras för olika konstruktioner.

7.2 Tvärkraftsprov

Vad det gäller tvärkraftsprovet finns ingen anledning att göra ytterligare prov så som det ser ut idag utifrån de provresultat som erhållits. Belastningsfallet är långt ifrån verkligheten och provet utfördes mestadels för att undersöka vilken tvärkraft som krävs för att få skruvförbanden att röra sig för de två undersökta faktorerna. När en ny konstruktion tas fram kan det dock bli relevant att jämföra vid vilken tvärkraft förbanden börjar röra sig jämfört med dagens befintliga konstruktion.

7.3 Tryckprov

Tryckprovet finns liten anledning att göra om ifall det inte är så att en spridningsbild önskas eller för framtida beräkningar på nya förband där fjäderkonstanter för klämda delar behövs. Dock skulle det vara intressant att kontrollera när och hur magnesiumet för dagens skruvförbandslösning börjar plasticera. Men risken är då att en annan tryckprovsmaskin krävs

än maskinen i Huskvarna då den enbart klarar 20 kN och dessutom är mätinstrumentet som mäter trycket endast kalibrerat till 15 kN.

Det går även att be beräkningsavdelningen att göra en FEM-modell på skruvförbanden om så önskas. En icke-linjär FEM-modell tar tid att genomföra men på så sätt skulle det gå att se hur förbanden beter sig under belastning och därigenom se möjligheter till att förbättra till exempel styvheten i de klämda delarna. För att bekräfta trovärdigheten av en FEM-modell kan resultaten som erhållits i det här arbetet användas som underlag.

Tryckprovet var däremot relativt enkelt att utföra och skulle det komma till användning igen går det att utföra i Huskvarna.

7.4 Utmattningsprov

Det finns många typer av utmattningsprov som skulle kunna vara relevanta att utföra.

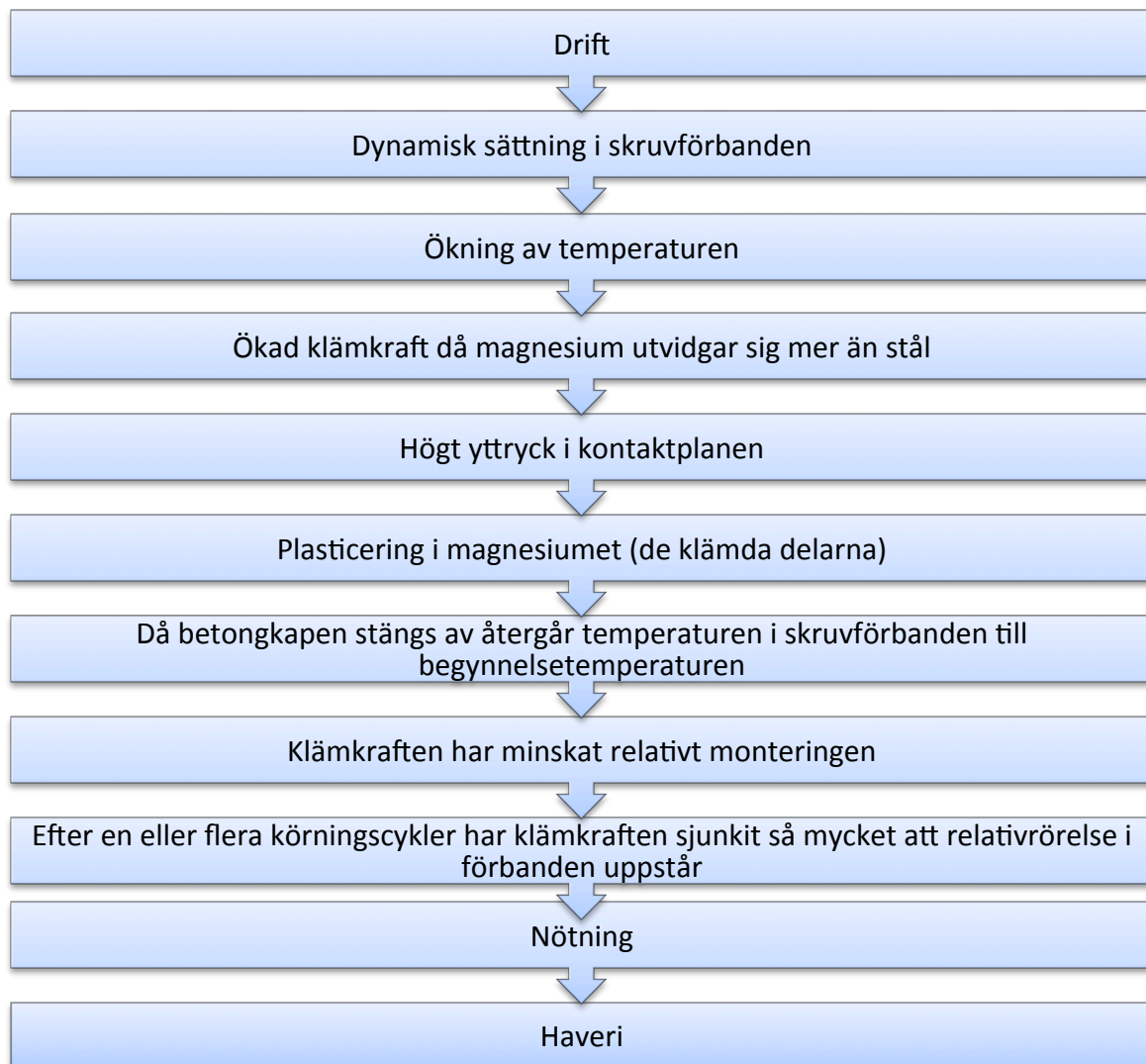
Med tanke på de tveksamheter i resultatet för utmattningsprovet som gjordes bör man, om liknande tester skall utföras, ha bättre kontroll på temperaturen i skruvförbanden så att mätning av klämkraft inte sker på varma förband eller att man kompenserar för den effekten. Lastfallet bör också regleras så man får provutföranden som är mer lika, till exempel så att samtliga provdelar oavsett klämkraft får relativrörelse i förbandet.

När det gäller att kontrollera betongdammets inverkan på skruvförbanden, så som dammet applicerats enligt bilaga 2, bör amplitudkraften väljas så att provdelar med den höga förspänningskraften också får relativrörelse i förbanden.

8 SLUTSATS

Den primära slutsats som kan dras utifrån proverna är att värme har en stor påverkan på hur stor klämkraft skruvförbanden förlorar. Ju högre temperaturen är, desto mer klämkraft tappar vardera skruven i skruvförbanden. Värme är därför en källa till varför livslängden av kaparmens skruvförband i vissa fall blivit förkortad.

Den tänkbara haverimekanismen vid användning av betongkapen då skruvförbandet är monterat i rumstemperatur och utsätts för höga temperaturer redovisas i figur 8.1.



Figur 8.1 Tänkbar haverimekanism

9 REFERENSER

Bergman, F. (den 16 03 2012). Volvo Powertrain. (M. Lengquist, & S. Sommarsjö, Intervjuare)

CIE. (den 17 04 2012). Hämtat från Unitest Instruments:
<http://www.unitestinstruments.com.au/>

Dahlberg, T. (2001). *Teknisk hållfasthetsdata*. Lund: Studentlitteratur AB.

Dahlbom, U. (2003). *Försöksplanering Faktor försök*. Göteborg: HB Matematiklitteratur i Göteborg.

FLIR. (den 17 04 2012). Hämtat från Tequipment: www.tequipment.net

Husqvarna AB. (u.d.). *Products: Husqvarna K1260*. Hämtat från Husqvarna Construction Products: <http://www.husqvarna.com/us/products/power-cutters/k-1260/> den 25 05 2012

Mägi, M., & Melkersson, K. (2011). *Lärobok i maskinelement*. Göteborg: EcoDev International AB.

Skogsmo, J. (den 19 03 2012). Swerea IVF AB. (M. Lengquist, & S. Sommarsjö, Intervjuare)

Swedish Fasteners Network. (03 2012). Hämtat från <http://www.sfnskruv.se/>

Toth, G. (den 19 03 2012). VICURA AB. (M. Lengquist, & S. Sommarsjö, Intervjuare)

10 BILAGOR

BILAGA 1: KARTLÄGGNING AV MÄTMETODER OCH PROVMASKINER

BILAGA 2: FÖRBEREDELSE INFÖR PROVNING

BILAGA 3: VÄRMEPROV

BILAGA 4: TVÄRKRAFTSPROV

BILAGA 5: TRYCKPROV

BILAGA 6: UTMATTNINGSPROV

BILAGA 7: MATLAB UTRÄKNINGAR

BILAGA 1: KARTLÄGGNING AV MÄTMETODER OCH PROVMETODER

I tabell 1.1 ses en sammanställning över de mätmetoder och provmetoder som utvärderats. I tabellen redovisas kort fördelar, nackdelar, tillgänglighet, svårighetsgrad och pris.

Tabell 1.1 Mätmetoder & provmetoder

Metod	Mäter	Fördelar	Nackdelar	Tillgänglighet Tid/Plats	Svårighetsgrad	Pris [kr]
Mikrometer	Skruvens förlängning varvid (med kännedom om skruvens fjäderkonstant) klämkraften beräknas. Mekaniskt genom att först körnslå, eller plansvarva skruvens ändtytor.	<ul style="list-style-type: none"> Lätt att använda Noggranna resultat Går att köpa in 	<ul style="list-style-type: none"> Behövs köpas in 	<ul style="list-style-type: none"> Går att få tag på snabbt i Göteborg 	<ul style="list-style-type: none"> Kräver en del handhavande 	8000-9000
Ultraljud	Tiden det tar att skicka en ljudpuls genom skruven varvid skruvens förlängning och sedan klämkraften kan beräknas.	<ul style="list-style-type: none"> Kan användas där mikrometer inte kommer åt 	<ul style="list-style-type: none"> Dyr om man ser till Husqvarnas framtida behov 	<ul style="list-style-type: none"> Eventuell leveranstid 	<ul style="list-style-type: none"> Kräver mycket handhavande 	150 000- 200 000
Tryckkänslig film	Mäter tryckfördelningen genom färgmättnad.	<ul style="list-style-type: none"> Ger bild av hur kontaktrycket varierar och storleken på det 	<ul style="list-style-type: none"> Dyrt att köpa in Förbrukningsvara 	<ul style="list-style-type: none"> Beställningsvara 	<ul style="list-style-type: none"> Behövs placeras rätt men annars relativt enkelt 	5000
Trådtöjningsgivare	Mäter resistansförändring (spänning) vilket ger att förlängningen i ett material kan beräknas.	<ul style="list-style-type: none"> Kan mäta små förändringar 	<ul style="list-style-type: none"> Kan inte mäta stora deformationer Svårt att applicera på varje skruv 	<ul style="list-style-type: none"> Beställningsvara 	<ul style="list-style-type: none"> Ganska stor 	-
FEM-modell	Förlorad klämkraft i förbanden p.g.a. yttre laster i FEM-modellen.	<ul style="list-style-type: none"> Kan ge en bra bild av vad som händer i skruvförbandet vid olika belastningar 	<ul style="list-style-type: none"> Svårt att utföra p.g.a. behovet av en icke linjär FEM-modell Behöver ändå verifieras med prov 	<ul style="list-style-type: none"> Program finns tillgängliga på Husqvarna och Chalmers 	<ul style="list-style-type: none"> Mycket stor relativt bakgrundkunskaperna Behöver hjälp av beräkningsingenjörer 	Arbetstid från beräkningsingenjörer
Mikroskop	Studera dammpartiklarna mha. koltejp i mikroskop.	<ul style="list-style-type: none"> Kan ge en bild av dammpartiklarna som kommer in i skruvförbandet och hur de påverkar de ingående materialen 	<ul style="list-style-type: none"> Kan vara svårt att få ut användbara resultat 	<ul style="list-style-type: none"> Tidbokning 	<ul style="list-style-type: none"> Behöver mycket hjälp, inget som kan utföras på egen hand. 	-
Friktionsmätning	Mäter friktion i gänga genom åtdragningsmoment och gängmoment.	<ul style="list-style-type: none"> Ger en bild av friktionen 	<ul style="list-style-type: none"> Inte relevant prov 	<ul style="list-style-type: none"> Speciell maskin behövs Tidbokning 	<ul style="list-style-type: none"> Kan enbart utföras med utomstående hjälp 	-
Spraymålning	Spraya färg på förbandet, utsätt förbandet för belastning och se hur sprickorna ser ut efteråt.	<ul style="list-style-type: none"> Kan ge en bild av rörelser som uppstår runt förbandet 	<ul style="list-style-type: none"> Svårt att analysera 	<ul style="list-style-type: none"> Eventuellt inköp av färg 	<ul style="list-style-type: none"> Kan göras helt på egen hand 	Låg

Tabell 1.1 fortsättning... Mätmetoder & Provmeter

Metod	Mäter	Fördelar	Nackdelar	Tillgänglighet Tid/Plats	Svårighetsgrad	Pris [kr]
Tryck i tryckprovmaskin	Kraft och deformation i tryck vilket ger en linjär kurva där fjäderkonstanten för de klämda delarna kan beräknas.	<ul style="list-style-type: none"> • Ett relativt lätt prov att utföra och komma igång med 	<ul style="list-style-type: none"> • Distanser & Fixtur behöver tillverkas • Maskinen och tillhörande datorprogram enbart kalibrerat till 15 kN 	<ul style="list-style-type: none"> • Finns på Chalmers • Finns på Husqvarna i Huskvarna 	<ul style="list-style-type: none"> • Starthjälp för att komma igång, annars relativt enkelt prov 	<ul style="list-style-type: none"> • Chalmers okänt • Huskvarna arbetstid från labbet
Drag i dragprovmaskin	Kraft och deformation då kaparmen utsätts för en vertikal belastning. Ger resultat på vilken kraft som krävs för att få förbandet att röra sig	<ul style="list-style-type: none"> • Ett relativt lätt prov att utföra och komma igång med 	<ul style="list-style-type: none"> • Maskinen och tillhörande datorprogram enbart kalibrerat till 15 kN • Fixtur behöver tillverkas 	<ul style="list-style-type: none"> • Finns på Chalmers • Finns på Husqvarna i Huskvarna 	<ul style="list-style-type: none"> • Starthjälp för att komma igång, annars relativt enkelt prov 	<ul style="list-style-type: none"> • Chalmers okänt • Huskvarna arbetstid från labbet
Utmattningsprovmaskin	Klämkraft kan mätas som funktion av antal cykler vid en viss kraftamplitud	<ul style="list-style-type: none"> • Ger resultat av hur olika faktorer påverkar klämkräften då kaparmen utsätts för utmattning • Går att repetera och utföra igen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kan bli svårt att få ut bra resultat • Svårt att ställa in en lämplig kraftamplitud • Svårt att veta hur länge provningen ska pågå • Fixtur behövs tillverkas 	<ul style="list-style-type: none"> • Finns hos Husqvarna i Huskvarna • Finns på institutionen för bygg- och miljöteknik (dock fanns inte möjlighet att få tid till provning) 	<ul style="list-style-type: none"> • Maskin behövs justeras • Starthjälp att komma igång behövs 	<ul style="list-style-type: none"> • Chalmers okänt • Arbetstid från anställd i Huskvarna
Ugn	Klämkraft då skruvförbandet utsätts för värme	<ul style="list-style-type: none"> • Enkelt prov som ger bra resultat som är lätt att repetera • Temperatur kan mätas med termoelement och/eller värmekamera 	<ul style="list-style-type: none"> • Inga 	<ul style="list-style-type: none"> • Finns på Husqvarna i Jonsered • Husqvarna har mätinstrument för att mäta temperaturen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lätt, kan utföras helt på egen hand 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen förutom drift av ugnen
Junkersprov	Provocerar fram förbanden till att skruva upp sig. Mäter antalet cykler tills urgängning	<ul style="list-style-type: none"> • Inga 	<ul style="list-style-type: none"> • Inte relevant prov 	<ul style="list-style-type: none"> • Tid måste bokas in där en maskin finns 	<ul style="list-style-type: none"> • Görs av utomstående personer 	-

BILAGA 2: FÖRBEREDELSE INFÖR PROVNING

FÖRBEREDELSE

Innan proven kunde påbörjas var första steget att studera vad för materiel som behövs för att kunna utföra provena. Det material som Husqvarna inte hade från början var en digital bygelmikrometer med tillräckligt mätdjup och mätbredd som behövdes för att mäta skruvlängder och därmed kunna beräkna förbandets klämkraft. Husqvarna bestämde sig för att beställa en mikrometer eftersom det fanns behov av det både nu och för framtida bruk. MG-verktyg i Göteborg kontaktades och ett besök hos dem gjordes för inköp av en mikrometer. Det visade sig inte vara helt lätt att hitta en mikrometer med spetsar inom mätintervallet 45-55 mm med ett bygeldjup på minst 60 mm som behövdes för att kunna mäta skruvlängder då skruvarna sitter fastskruvade på kaparmen. Resultatet blev till slut en mikrometer med plana mätanslag och lösa sfäriska spindelmätytor, även kallade ”spetsar” i rapporten, vilka går att trä på mätanslagen.

Hål behövde göras i skruvarnas ändtytor och skruvskallar där spetsarna förs in vid mätning. Det är viktigt att hålen hamnar på skruvens centrumaxel för att mätvärdena ska bli korrekta. Hålen valdes att utföras med hjälp av en svarv och ett dubbhålsverktyg på 30°. Ett problem som uppstod med spetsarna var att de ramlade av så fort de stöttes till vilket inte är hållbart för att få noggranna mätresultat. Därför bestämdes det att spetsarna skulle limmas fast. Då första värmeprovet skulle utföras visade det sig att limningen inte hjälpte utan spetsarna ramlade av igen. Det gjorde att mätningarna istället valdes att utföras med plansvarvade skruvar och plana mätanslag istället. Mer information om det första värmeprovet finns i bilaga 3 ”Försök till värmeprov”. Hur skruvarna plansvarvades kan ses nedan.

PLANSVARVNING AV SKRUVAR

För att kunna mäta skruvarnas längd med hjälp av en mikrometer i ett skruvförband då det utsätts för olika belastningar och andra faktorer är det nödvändigt att plansvarva dem först vid användning av plana mätanslag. Svarvning gjordes i en manuell svarv med ett kraftigare skär. Slipning efteråt gjordes för att få bort grader och få en finare yta, slipduk av typ P120 och P240 användes.

Slipa kan man göra med antingen en planslipmaskin så att ytorna blir plana eller med en slipduk för hand. Med en slipduk finns det dock risk för att ytorna kan bli en aning konvexa. Men det ansågs ändå som den mest lämpliga metoden då tidsåtgången per skruv blir mindre jämfört med planslipning. I figur 2.1 och figur 2.2 kan skillnaderna ses på slipad och endast svarvad skruvskalle.



Figur 2.1 Plansvarvad skruvskalle



Figur 2.2 Plansvarvad och slipad skruvskalle

BERÄKNING AV SKRUVENS FJÄDERKONSTANT

Skruvens fjäderkonstant c_s , även kallat styvhet, är en viktig parameter i beräkningar på skruvförbandet. Med den kan man beräkna klämkrafter, effekten av sättningar mm. I tabell 2.1 visas data och beteckningar för M8-skraven som används vid beräkning av fjäderkonstanten (Mägi & Melkersson, 2011).

Tabell 2.1 Skruvdata för M8

Mått	Symbol	Värde
E-Modul	E_s	205 [GPa]
Gängans innerdiameter	D_i	6,67 [mm]
Ytterdiameter	D_y	8,0 [mm]
Ogängad längd av skruv	L_o	20,0 [mm]
Klämlängden	L_k	34,0 [mm]
Gängad tvärsnittsarea	A_g	
Ogängad tvärsnittsarea	A_o	
Fjäderkonstant för ögängad skruvdel	c_o	
Fjäderkonstant för gängad skruvdel	c_g	
Skruvens fjäderkonstant	c_s	

Här följer uträkningarna av fjäderkonstanten c_s :

$$A_o = \frac{\pi D_y^2}{4} = 50,265 \text{ [mm}^2\text{]} \dots (8), A_g = \frac{\pi D_i^2}{4} = 34,942 \text{ [mm}^2\text{]} \dots (9)$$

$$c_o = \frac{A_o \cdot E_s}{L_o} = \frac{50,265 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^{-3}} = 515,216 \cdot 10^6 \left[\frac{N}{m} \right] = 515,216 \left[\frac{kN}{mm} \right] \dots (10)$$

$$c_g = \frac{A_g \cdot E_s}{L_k - L_o} = \frac{34,942 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^9}{(34 - 20) \cdot 10^{-3}} = 511,651 \cdot 10^6 \left[\frac{N}{m} \right] = 511,651 \left[\frac{kN}{mm} \right] \dots (11)$$

Ekvation (10) och (11) ger då skruven kan ses som två seriekopplade fjädrar med styvheter c_o respektive c_g :

$$c_s = \frac{c_o \cdot c_g}{c_o + c_g} = \frac{515,216 \cdot 511,651}{515,216 + 511,651} = 256,713 \left[\frac{kN}{mm} \right] \dots (12)$$

ÅTDRAGNING TILL EN GIVEN FÖRSPÄNNINGSKRAFT

Åtdragning till en viss förspänningskraft F_0 i skruvförbanden görs genom att först och främst kalibrera mikrometern med hjälp av medföljande inställningsmått. I det här fallet kalibrerades mikrometern på 50 mm. För att underlätta färgkodades även skruvarna med märkpenna, blå på bakre skruven och svart på främre.

Åtdragning till en specifik klämkraft F_s görs genom att dra åt skruvarna med momentnyckel tills det att de uppnått en viss förlängning δ_{0s} :

$$F_s = c_s \delta_{0s} \dots (13) \text{ samt } F_s = F_0 \dots (14)$$

där index s står för skruv (Mägi & Melkersson, 2011). F_0 är den förspänningskraft som önskas att dra åt till, c_s är fjäderkonstanten för skruven och δ_{0s} är skruvens förlängning efter montering.

Vilken längd $L_{\text{efter}} = L_{\text{före}} + \delta_{0s}$ som vardera skruven skulle ha efter åtdragning bestämdes därmed enligt:

$$L_{\text{efter}} = L_{\text{före}} + \frac{F_0}{c_s} \dots (15)$$

där $L_{\text{före}}$ är skruvlängden innan åtdragning, det vill säga skruvens begynnelselängd. Först mäts skruvens längd $L_{\text{före}}$ i sitt begynnelsestillstånd innan montering, det vill säga vid obelastat tillstånd. Tre mätningar gjordes för varje skruv för kontroll av att mätningarna hamnade inom felmarginalen på $\pm 3 \mu\text{m}$. Det är viktigt att mäta några gånger på varje skruv för att försäkra sig om att mikrometern är korrekt placerad och det inte uppkommit någon grad från plansvarvningen som påverkar mätresultatet. Om en allt för stor spridning fås mellan de tre mätningarna bör det undersökas om det förekommer grader på skruven eller smuts så som till exempel färgavlagringar på mikrometern. Vid utförande av mätningar som är så här små kan grader, ytojämnheter på skruven och smuts påverka mätresultatet utan att det är synligt för ögat.

Efter att de olika proven utförts beräknades klämkraften F_s från respektive skruv på samma sätt genom tre stycken mätningar med mikrometern. Med den här metoden är det därmed möjligt att studera hur olika faktorer påverkar klämkraften hos ett skruvförband.

APPLICERING AV DAMM

För att undersöka dammets effekt på skruvförbandets klämkraft och nötning behövdes en metod att applicera damm på. Appliceringen gjordes genom att med hjälp av en pensel pensla på ett tunt täckande lager av betongdamm på vevhusets kontaktyta, se figur 2.3 och figur 2.4.



Figur 2.3 Applicering av betongdamm



Figur 2.4 Jämförelse med damm (vänster) och utan damm

Betongdammet hämtades från en uppsamlingspåse till en golvslip på produktcentret i Jonsered. Detta damm är mycket finkornigt och motsvarar troligen det damm som kan leta sig in mellan de klämda delarna. Metoden att applicera damm på användes för att få en repeterbar metod där ett tunt och jämnt dammskikt eftersträvades.

BERÄKNING AV SPRIDNING

Där standardavvikelsen beräknades som ett mått på spridningen användes ekvationen $s = \sqrt{VAR(y_1 + \dots + y_n)}$ där VAR står för Excels inbyggda funktion för beräkning av variansen för värde y_1 till y_n (Dahlbom, 2003).

BILAGA 3: VÄRMEPROV FÖRSÖK TILL VÄRMEPROV

Lösa spetsar (sfäriska spindelматыtor) hade införskaffats vilka kunde fästas på mikrometers plana mätanslag. Motivering till användande av spetsar var en rekommendation via studiebesök (Bergman, 2012). Spetsarna fungerade dock inte riktigt som planerat utan det visade det sig att spetsarna ramlade av trots försök till limning efter bara några mätningar. Det var spetsen som var fäst på den roterande mikrometerspindeln som ramlade av. Anledningen till att spetsen på spindeln ramlade av är osäker men det kan bero på att spetsen inte fastnat lika bra som den andra, att spindeln roterar samt att spetsen tagit emot fler och kraftigare stötar vid mätning än den andra. I vilket fall så innebär det att mätmetoden inte är hållbar då spetsarna är limmade med snabblim. Hur mätningarna med mikrometer skulle utföras fick studeras ytterligare.

Resultatet till de lösningar som fanns på problemet:

- Planslipa skruvarna och använda plana mätanslag
- Limma spetsar med starkare lim – kommer det i så fall förstöra mätanslagen på mikrometern?
- Beställa spetsar som är specialtillverkade - kostar och tar tid

Utifrån de alternativ som fanns för att lösa problemet, bestämdes att mätningarna skulle göras med planslipade skruvar och plana mätanslag. En metod för planslipning av skruvarna togs fram, se bilaga 2 ”Plansvarvning av skruvar”, varefter värmeprov kunde förberedas och genomföras.

VÄRMEPROV

Som förberedelse innan värmeprovet påbörjades gjordes en utvärdering av hur provet skulle gå till och vilka faktorer som skulle undersökas. Resultatet blev att förlusten av klämkraft vid rumstemperatur på 23°C skulle undersökas efter uppvärmning till fyra olika temperaturer, det vill säga fyra provserier bestående av fyra provdelar var. Varje provdel bestod av två skruvar och två muttrar samt en bricka, ett vevhus och ett lagerhus. De monterades med en lika stor förspänningskraft på 20 kN. Som hjälp till provningen gjordes en provplan.

Material och utrustning som användes till proven:

- 16 st provdelar + 2 st i reserv
- Digital bygelmikrometer med utbytbara mätanslag nr 340-251-10
- Svarv för att planslipa skruvskalle och ändyta på skruvar
- Märkpenna blå och svart till att märka skruvarna samt provdelarna med
- Momentdragare med mätklocka för momentavläsning
- Ugn med inställbar temperatur
- Termoelement med termometer för uppmätning respektive avläsning av ugnens temperatur
- Värmekamera för mätning av skruvförbandens temperatur
- Dator med Excel

Ett termoelement placerades i mitten av ugnen så att änden på termoelementets skalade ände inte låg emot någon yta i ugnen och andra änden fästes i termometern. Detta för att kontrollera ugnens lufttemperatur jämfört med den inställda temperaturen på ugnens reglage. Varje provdel i den första provserien märktes med ett v och ett provordningsnummer på både lagerhus och vevhus. Den första provdelen monterades ihop och skruvarna drogs åt, med bakre skruven först, till en förspänningskraft på 20 kN. Momentet som främre och bakre skruvförband dragits åt till samt klockslag som provdelen sattes in i ugnen noterades. Provdelen placerades i ugnen en i taget direkt efter avslutad montering. Detta för att undvika en eventuellt oönskad effekt av krypning i rumstemperatur som skulle påverka resultatet. Två stycken provdelar var inne i ugnen samtidigt på samma höjd för att minska den totala tiden för värmeproven. Temperaturen för provserie ett var 130°C och samtliga delar var inne i ugnen i en timma.

Provserie två och tre utfördes på samma sätt genom åtdragning till rätt förspänningskraft, notering av klockslag samt åtdragningsmomentet på skruvarna. Ugnstemperaturen, som mättes upp med termoelementet, ställdes in på 95°C respektive 65°C för provserie två och tre. Båda provserierna var sedan i ugnen i en timme.

En provserie utfördes även i rumstemperatur på 23°C. Lufttemperaturen i rummet mättes med hjälp av termoelement och termometer på samma sätt som de andra tre provserierna. På samtliga provdelar mättes skuvlängden en gång i halvtimmen upp till två timmar. Syftet var att se hur mycket klämkraft skruvförbanden eventuellt förlorar med tiden, det vill säga krypning, i rumstemperatur. Detta för att jämföra det med den förlorade klämkraften för de provdelar som värmts upp.

Värdena som mättes upp och beräknades innan det att provdelarna värmdes upp presenteras i tabell 3.1. Beräkningar utifrån mätvärdena som visas i tabellerna beräknades med hjälp av Excel. Den provserie som är grönmärkt är den provserie som utförts i rumstemperatur och därmed inte utsatts för någon uppvärmning. De rutor som är markerade med "Ej avläst" är värden som inte kunnat läsas av på grund av att lossning av skruvar behövs göras för att åstadkomma rätt klämkraft.

Tabell 3.1 Värden innan uppvärmning

Provtemperatur [°C]	Provdela	Skruvlängd innan åtdragning $L_{före}$ [mm]		Skruvförlängning efter montering δ_0 [mm]		Uppnådd förspänningskraft F_0 [kN]		Åtdragningsmoment [Nm]		Uppnådd medel-förspänningskraft [kN]		Standardavvikelsen i uppnådd förspänningskraft [kN]	
		Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv
130	V1	47,638	47,706	0,079	0,075	20,3	19,3	23	23	20,0	20,1	0,2	0,9
	V2	47,649	47,646	0,078	0,083	20,0	21,3	26,5	26,5				
	V3	47,631	47,424	0,077	0,077	19,8	19,8	26	26				
	V4	47,466	47,472	0,078	0,078	20,0	20,0	27	25				
65	V5	47,614	47,601	0,078	0,078	20,0	20,0	40,5	33	19,9	19,8	0,1	0,2
	V6	47,581	47,595	0,077	0,077	19,8	19,8	35	Ej avläst				
	V7	47,554	47,587	0,078	0,076	20,0	19,5	30	Ej avläst				
	V8	47,665	47,617	0,077	0,077	19,8	19,8	30	34,5				
23	V9	47,599	47,594	0,077	0,078	19,8	20,0	30	32	19,8	20,1	0,2	0,1
	V10	47,524	47,335	0,076	0,078	19,5	20,0	35,5	34				
	V11	47,578	47,529	0,078	0,078	20,0	20,0	35	32,5				
	V12	47,633	47,584	0,078	0,079	20,0	20,3	30	30				
95	V13	47,664	47,562	0,079	0,077	20,3	19,8	Ej avläst	29	20,0	20,0	0,4	0,2
	V14	47,720	47,558	0,076	0,078	19,5	20,0	28	36,5				
	V15	47,617	47,581	0,079	0,078	20,3	20,0	33,5	30,5				
	V16	47,630	47,498	0,078	0,079	20,0	20,3	29,5	Ej avläst				

Efter att en timme passerat för en provdela togs den ut ur ugnen och temperaturen samt skruvarnas längd mättes och klockslaget noterades. Därefter fick provdelen svalna av i en timme, varefter temperaturen och skruvlängden mättes igen samtidigt som tiden noterades. Processen upprepades för varje provdela. Anledningen till att provdelarna läts vara i ugnen i en timme och avsvalna under en timme var för att hela provdelen ska hinna komma upp i en homogen temperatur.

I tabell 3.2 visas de uppmätta värdena samt de uträknade värdena efter att provdelarna svalnat en timme. För provserien som enbart varit utsatt för rumstemperatur (markerat med grönt i tabellen) visas värdena efter två timmar. Detta eftersom de provdelar som värmts upp varit i ugnen en timme och sedan avsvalnat i en timme varmed två timmar passerat totalt mellan skruvlängdsmätvärdena. Eftersom den grönmärkade provserien ej utsatts för någon uppvärmning saknas vissa värden för dessa prov i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Värden vid uttagning ur ugn och efter avsvälning

Provtemperatur [°C]	Provdela	Yttemperatur vid uttagning [°C]	Tid för avsvälning [h:min:s]	Sättning i skruvförbanden		Förlorad klämkraft [kN]		Kvarvarande klämkraft F_s^+ [kN]	
				$\delta_{\text{plasticering}}$ [mm]		Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv
				Bakre skruv	Främre skruv				
130	V1	130	01:00:00	0,047	0,039	12,1	10,0	8,2	9,2
	V2	130	00:59:00	0,052	0,047	13,3	12,1	6,7	9,2
	V3	130	01:00:00	0,047	0,039	12,1	10,0	7,7	9,8
	V4	130	01:01:30	0,051	0,040	13,1	10,3	6,9	9,8
65	V5	63	01:01:00	0,012	0,010	3,1	2,6	16,9	17,5
	V6	63	01:03:00	0,008	0,006	2,1	1,5	17,7	18,2
	V7	65	01:00:30	0,015	0,008	3,9	2,1	16,2	17,5
	V8	64	01:00:00	0,016	0,015	4,1	3,9	15,7	15,9
23	V9			0,002	0,005	0,5	1,3	19,3	18,7
	V10			0,002	0,003	0,5	0,8	19,0	19,3
	V11			0,000	0,000	0,0	0,0	20,0	20,0
	V12			0,002	0,001	0,5	0,3	19,5	20,0
95	V13	95	01:01:00	0,028	0,025	7,2	6,4	13,1	13,3
	V14	95	01:00:00	0,025	0,025	6,4	6,4	13,1	13,6
	V15	94	01:00:40	0,028	0,025	7,2	6,4	13,1	13,6
	V16	96	01:00:00	0,028	0,025	7,2	6,4	12,8	13,9

Tabell 3.2 Fortsättning... Värden vid uttagning ur ugn och efter avsvälning

Provtemperatur [°C]	Provdela	Kvarvarande medelklämkraft, $F_{s,med}$ *, [kN]		Förlorad medelklämkraft [kN]		Spridning kvarvarande klämkraft [kN]		Spridning förlorad klämkraft [kN]	
		Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv
130	V1	7,4	9,5	12,6	10,6	0,7	0,3	0,7	1,0
	V2								
	V3								
	V4								
65	V5	16,6	17,6	3,3	2,5	0,9	1,0	0,9	1,0
	V6								
	V7								
	V8								
23	V9	19,4	19,5	0,4	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6
	V10								
	V11								
	V12								
95	V13	13,0	13,6	7,0	6,4	0,1	0,2	0,4	0
	V14								
	V15								
	V16								

BILAGA 4: TVÄRKRAFTSPROV

Som förberedelse innan tvärkraftsprovet av skruvförbanden kunde påbörjas gjordes en provplan på ett faktorförsök över de faktorer som skulle undersökas. Alla skruvar till provdelarna plansvarvades med hjälp av Husqvarna, Jonsereds svarv och betongdamm införskaffades från produktcentret på Husqvarna, Jonsered. Två olika faktorer inverkan på klämkraften i skruvförbanden valdes att utvärderas: förspänningskraftens storlek och smuts i förbanden.

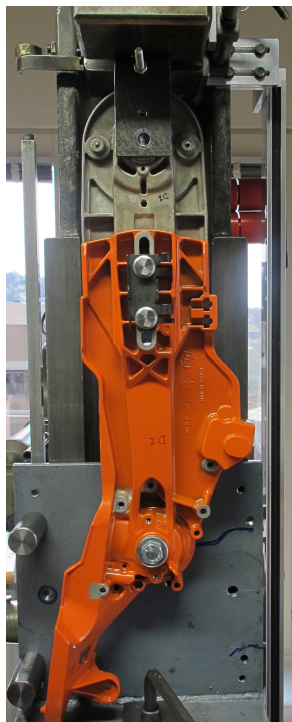
Material och utrustning som användes till provet:

- 4 st provdelar + 2 st i reserv bestående av bricka, 2 st skruvar, 2 st muttrar 1 st lagerhus och 1st vevhus per provdel
- Digital bygelmikrometer med utbytbara mätanslag nr 340-251-10
- Svarv för att planslipa skruvskalle och ändyta på skruvar
- Märkpenna blå och svart till att märka skruvarna samt provdelarna med
- Momentdragare med mätklocka för momentavläsning
- Drag- och tryckprovmaskin ± 20 kN
- Dator med datorprogram DAISYLab

Fixturen till tvärkraftsprovet tillverkades med hjälp av Magnus Claesson, Husqvarna (i Huskvarna). Fixturen kan ses i figur 4.1 och den var samma som till utmattningsprovet. Det som är viktigt att tänka på vid fixturtillverkning är att provdelarna kan placeras i fixturen så att skruvförbanden inte påverkas på ett felaktigt sätt och att eventuella svagheter i konstruktionen får stöd så att provdelarna inte brister på andra ställen än där det är tänkt vilket i det här fallet är vid skruvförbanden. Uppsatt provdel i dragprovmaskinen med hjälp av den tillverkade fixturen kan ses i figur 4.2.



Figur 4.1 Fixtur i dragprovmaskin



Figur 4.2 Uppsatt provdel för tvärkraftsprov

I tabell 4.1 ges en förklaring till vad faktorerna A och B representerar och vilka värden som representerar hög och låg nivå för de båda faktorerna.

Tabell 4.1 Faktorer

Faktorer	Låg (-)	Hög (+)
A = Damm	Inget damm	Applicering av damm
B = Förspänningskraft	10 kN	20 kN

Då provdelarna monterades enligt faktoröversöket drogs skruvarna åt med momentdragare tills det att önskad förspänningskraft erhöles. Varje provdel monterades precis innan provet för att undvika eventuell förlust av klämkraft som uppstår med tiden, det vill säga krypning, som kan bli en störfaktor för provresultatet.

För att kunna särskilja alla provdelar märktes provdelarna med ett D och ett nummer. Faktoröversöket består av två faktorer utan replikat. Utan replikat fås ingen spridningsbild och ingen statistisk säkerhet utan enbart en indikation. Anledningen till att inga replikat utfördes var på grund av tidsbegränsning.

För varje monterad del fylldes tabell 4.2 i där information om förspänningskraft och även erforderlig tvärkraft för att få relativrörelse i skruvförbanden presenteras. Erforderlig tvärkraft presenteras också i tabell 4.3 i form av resultatvariabeln Y. Åtdragningsmomentet registrerades för de fall det gick, för rutorna ”Ej avläst” har inte något åtdragningsmoment kunnat avläsas på grund av att skruvarna behövs lossas för att erhålla rätt klämkraft. De rader som är rödmarkerade representerar de prover som gått fel och behövs göras om för att få ut ett mer riktigt resultat.

Tabell 4.2 Information om provdelar för tvärkraftsprov

Provdela	Omonterad skruvlängd $L_{före}$ [mm]		Skruvförlängning efter montering δ_{0s} [mm]		Uppnådd Förspänningskraft F_0 [kN]		Åtdragningsmoment [Nm]		Erforderlig tvärkraft för relativrörelse [kN]
	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	Bakre skruv	Främre skruv	
D1	47,554	47,628	0,041	0,040	10,5	10,3	Ej avläst	Ej avläst	8,8
D2	47,543	47,537	0,041	0,040	10,5	10,3	14,0	15,0	9,8
D3	47,576	47,561	0,077	0,075	19,8	19,3	40,0	39,5	13,0
D4	47,647	47,609	0,077	0,077	19,8	19,8	29,5	30,0	13,5
D3.2	47,563	47,518	0,078	0,077	20,0	19,8	30,5	27,0	13,4
D4.2	47,627	47,620	0,077	0,080	19,8	20,5	34,5	30,0	16,0

I tabell 4.3 kan upplägget på faktoröversöket över tvärkraftsprovet ses. Här presenteras provordningen och vilka faktorer som undersöktes för varje provdela samt erforderlig tvärkraft Y för att få relativrörelse i skruvförbanden.

Tabell 4.3 Upplägg på faktorförsök över tvärkraftsprov och erforderlig tvärkraft i form av resultatvariabeln Y

Nr:	Provordning:	A	B	AB	Y [N]
D1	1	-	-	+	8873,377
D2	3	+	-	-	9796,509
D3.2	5 (D3=2)	-	+	-	13360,57
D4.2	6 (D4=4)	+	+	+	15993,24

I diagram 4.1 ses resultat från tvärkraftsprovet plottat som yttre dragkraft (= tvärkraft genom skruvförbanden) som funktion av den dragbelastade delen av kaparmens deformation. Datan från provningen registrerades automatiskt i ett Excel-dokument med hjälp av datorprogrammet som var kopplat till dragprovmaskinen.

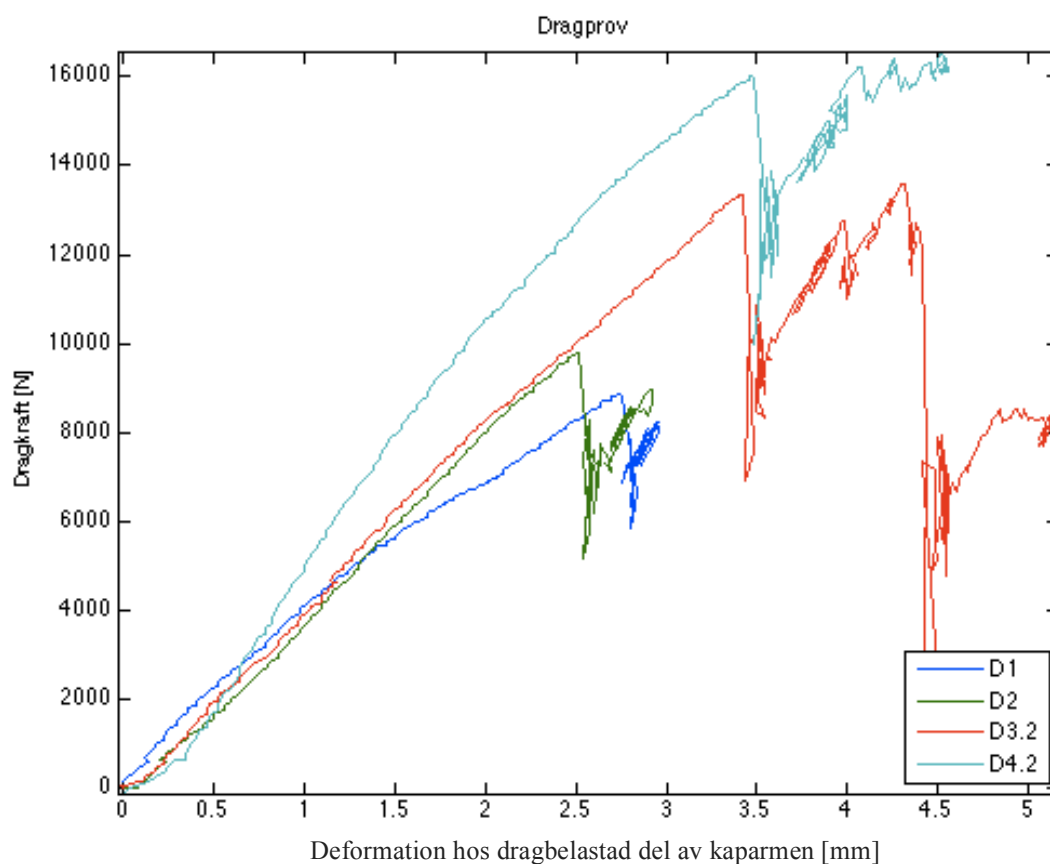


Diagram 4.1 Tvärkraftsprovkurvor

Så långt som kurvorna är approximativt linjära är det enbart materialen i kaparmen som deformerats elastiskt medan där kurvan dyker nedåt uppstår glidning i skruvförbanden. Det är motsvarande tvärkrafter som införts som variabeln Y i tabell 4.2. Anledningen till att kurvorna inte är helt linjära kan bero på sättningar i materialet, ytojämnheter och glapp från dragprovmaskinen. D3.2 och D4.2 är replikat av D3 respektive D4 på grund av att den första provningen inte blev korrekt. Kurvorna uppnådde ett tak i dataprogrammet som var kopplat

till dragprovmaskinen och därmed klipptes kurvorna innan glidning i förbanden hann uppstå. Detta korrigerades och proverna kunde göras om.

För att studera effekternas storlek plottades de i paretodiagrammet, diagram 5.5.1 under kapitel 5.5. Effekterna beräknades enligt nedanstående ekvationer med hjälp av dragkrafterna i tabell 4.2. Det gjordes genom att ta resultatvariablerna Y då faktorerna är på hög nivå dividerat på antal subtraherat med resultatvariablerna på låg nivå dividerat på antal (Dahlbom, 2003).

$$A = l_A = l_A^+ - l_A^- = \frac{9796,509 + 15993,24}{2} - \frac{8873,377 - 13360,57}{2} \dots (17)$$

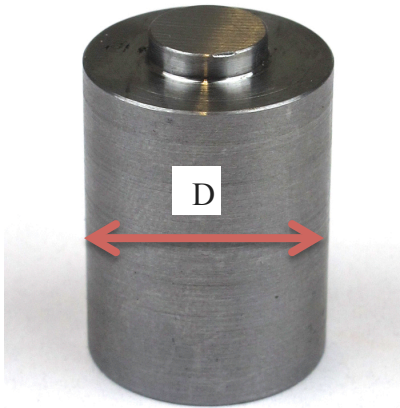
$$B = l_B = l_B^+ - l_B^- = \frac{13360,57 + 15993,24}{2} - \frac{8873,377 - 9796,509}{2} \dots (18)$$

$$AB = l_{AB} = l_{AB}^+ - l_{AB}^- = \frac{8873,377 + 15993,24}{2} - \frac{9796,509 - 13360,57}{2} \dots (19)$$

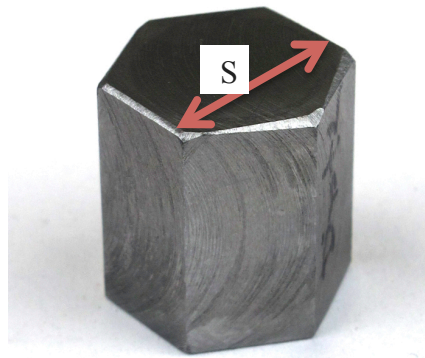
BILAGA 5: TRYCKPROV

För att kunna räkna på de båda skruvförbanden och för att få en uppfattning om förbandens egenskaper behövs även fjäderkonstanter för de klämda delarna. Genom att lägga på trycklaster där skruvar och muttrar ursprungligen sitter och mäta dess deformation fås kurvor där man ser linjära delar ur vilket det kan beräknas fjäderkonstanter för klämda delar i skruvförbanden.

Det var viktigt att provet gjordes så likt det verkliga belastningsfallet som möjligt. Därför gjordes två distanser för att representera trycket från flänsskruvskallen och mutter, se figur 5.1 respektive figur 5.2. Dessa distanser tillverkades så att måtten motsvarar de verkliga fallen med en hexagonisk distans motsvarande nyckelvidd $S = 13$ mm och en cirkulär distans motsvarande flänsdiameter $D = 17,7$ mm.

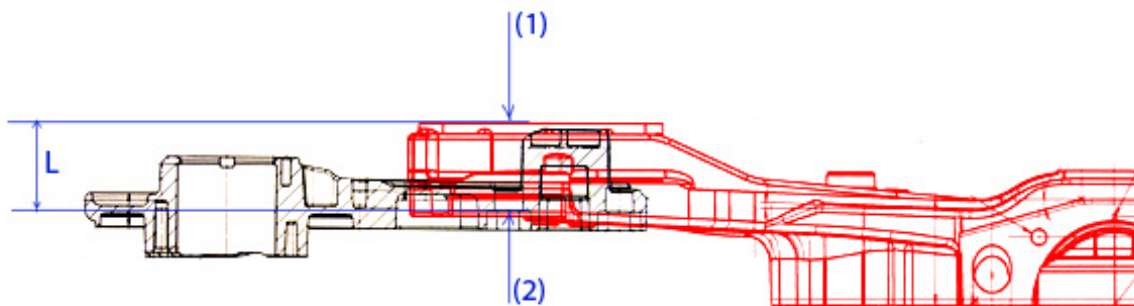


Figur 5.1 Cylindrisk distans



Figur 5.2 Hexagonisk distans

Tryckprovet utfördes enbart på vevhus och lagerhus varefter distansernas fjäderkonstanter ”subtraherades”. Brickans fjäderkonstant var mycket stor och kunde därför bortses ifrån. Distanserna placerades enligt figur 5.3 och så centrerat under pressen som möjligt. Den cylindriska distansen placerades vid (1) och den hexagoniska distansen i mutterhålet vid (2), motsvarande gjordes också för de bakre skruvhålen. En skruvhålsposition i taget prövades och tre prover gjordes vid vardera positionen för att få en uppfattning om spridningen. Bakre skruvförbandspositionen trycktes först och därefter främre positionen.



Figur 5.3 Placering av distanser vid främre skruvhålen

Provet resulterade i data enligt diagram 5.1.

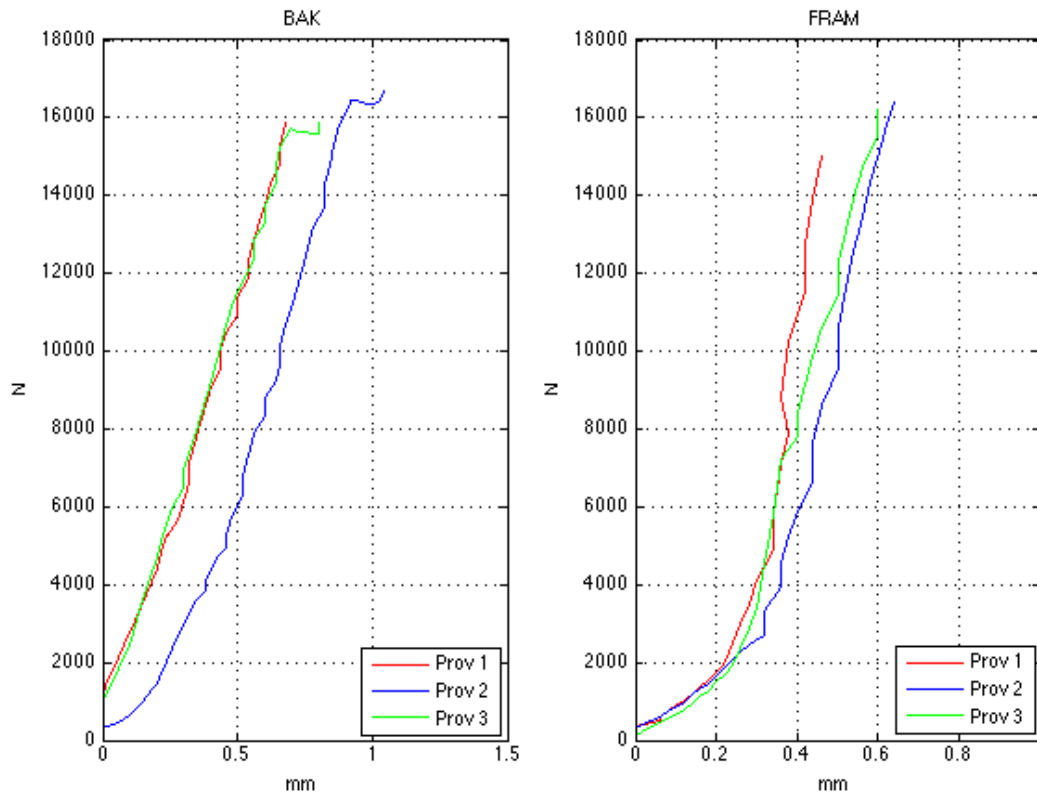


Diagram 5.1 Kraft som funktion av förlängning för klämda provdelar bak respektive fram

I båda fallen kan man se beteendet hos linjära kurvor, dock mer spridning på kurvornas lutning för främre skruvhålspositionen. Hos datan för främre positionen kan också ses att de tre kurvorna fram till ungefär 0,24 mm har en annan lutning än övriga värden. Att lutningen är mindre till en början beror troligtvis på sättningar och/eller maskinens olika glapp som förekommer.

I prov 2 och prov 3 för bakre positionen kan man i slutet av kurvan se en utplaning. Detta är också en avvikelse från det linjära som troligen beror på plastisk deformation. Dessa avvikelser tas inte med vid linjäriseringen av kurvorna som görs med hjälp av matlab, se bilaga 7 för fullständig MATLAB kod. Linjäriseringen följer minsta kvadratmetoden och anpassar en rät linje för ett givet intervall så att minsta möjliga avstånd till mätvärdena erhålls.

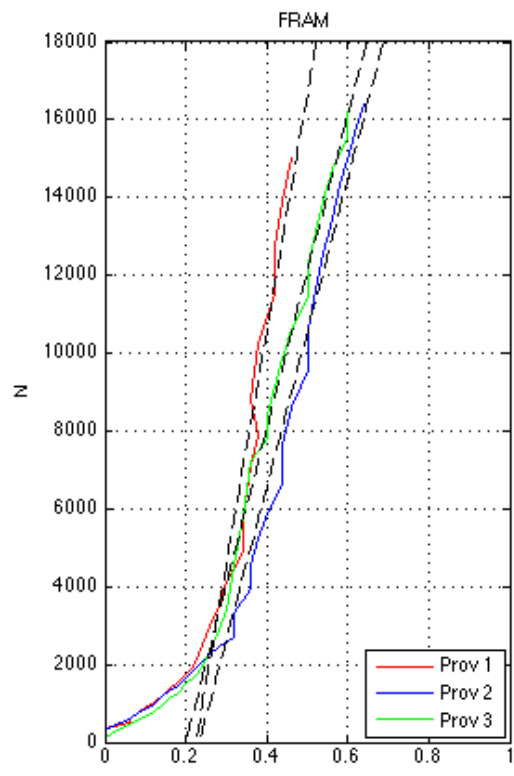


Diagram 5.2 Linjärisering som streckade linjer av de tre provkurvorna

Exempel på linjäriseringen kan ses i diagram 5.2 för främre positionen för skruvhålen.

Lutningen av dessa linjer motsvarar varje provs fjäderkonstant vilket även inkluderar distanserna av stål. Dessa distanser räknas bort manuellt från medelvärdet av lutningarna från proven, se bilaga 7. Fjäderkonstanten för brickan måste också läggas till men då brickans styvhet är mycket stor relativt de övriga klämda delarna kan effekten av brickan försummas. Detta resulterade i en fjäderkonstant för klämda delar fram på $c_{k,fram}=48,940$ kN/mm och för klämda delar bak på $c_{k,bak}=22,232$ kN/mm.

Från början var det tänkt att fjäderkonstanter för de klämda delarna skulle beräknas genom en förenklad FEM-analys i datorprogrammet Pro/Mechanica. På grund av problem med konvertering av filformat gick det inte utföra. Istället gjordes försök med att beräkna fjäderkonstanter i GPS via Catia V5. Där definierades lagerhuset och vevhuset som en del och tilldelades magnesiums materialdata. Randvillkor via fastsättning under muttrarna samt en pålagd trycklast som representerar belastningen från skruvskallen på 5 kN lades på vid respektive skruv. Resultatet som erhöles skulle sedan jämföras med tryckprovet men på grund av så pass stor skillnad i resultat då GPS gav en fjäderkonstant som approximativt var 10 gånger större än tryckprovet samt bristande kunskap om programmet ansågs resultatet från beräkningarna i GPS inte trovärdiga. Bristen av trovärdighet har gjort att den delen av arbetet inte presenterats ytterligare i rapporten.

BILAGA 6: UTMATTNINGSPROV

För att se hur olika klämkrifter och betongdamm påverkar skruvförbandens förslitning och därmed dess klämkraft gjordes ett faktorförsök med hjälp av en ombyggd utmattningsrigg, vilket kan ses i figur 6.1.

Som förberedelse innan utmattningsprovet kunde påbörjas gjordes en provplan på ett faktorförsök över de faktorer som ska undersökas. Fixtur till utmattningsprovmaskinen behövde även tillverkas vilket gjordes med hjälp av Magnus Claessons hjälp i Huskvarna på Husqvarna. Alla skruvar till provdelarna plansvarvades med hjälp av Husqvarna, Jonsereds svarv och betongdamm införskaffades från produktcentret på Husqvarna, Jonsered.

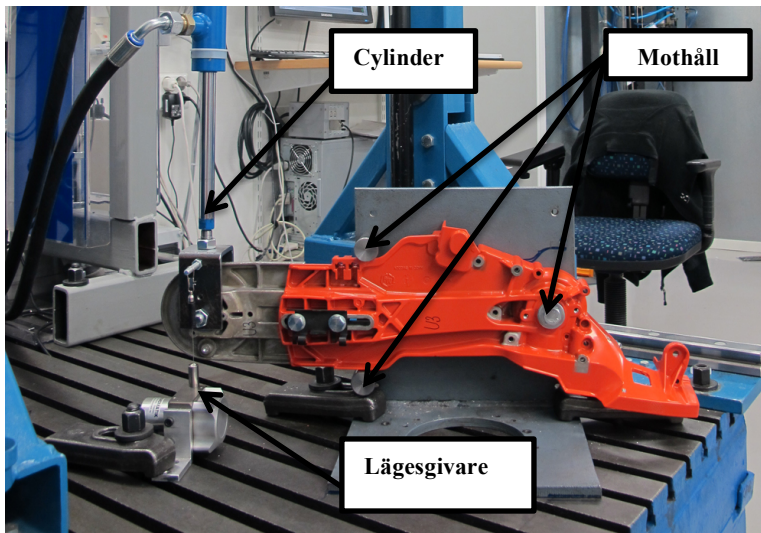


Figur 6.1 Översikt utmattningsrigg

Material och utrustning som användes till provet:

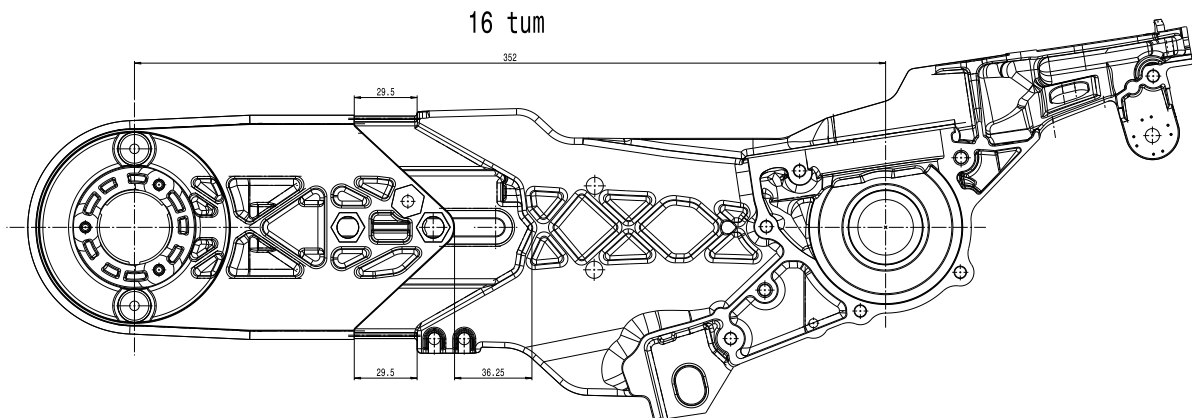
- 4 st provdelar + 2 st i reserv bestående av bricka, 2 st skruvar, 2 st muttrar, 1 st lagerhus och 1 st vevhus per provdel
- Digital bygelmikrometer med utbytbara mätanslag nr 340-251-10
- Svarv för att planslipa skruvskalle och ändyta på skruvar
- Märkpenna blå och svart till att märka skruvarna samt provdelarna med
- Momentdragare med mätklocka för momentavläsning
- Utmattningsprovmaskin
- Dator med Excel

I utmattningsprovmaskinen kan man mäta bland annat tryckkraft, dragkraft och rörelse. Den yttre kraften anbringas via en cylinder och rörelsen mäts av en lägesgivare enligt figur 6.2. Mothållen är tvungna att sitta så långt fram som möjligt för att minska risken att något av vevhuset går sönder före förbanden. Lagerhuset i vevhuset utnyttjades som ett mothåll och två andra sattes nära skruvarna utan att i sig påverka skruvförbanden. Belastningen via cylindern anbringades vid lagerhusets axel då det var det mest lämpade stället att montera cylindern vid.



Figur 6.2 Detaljbeskrivning utmattningsrigg

Det är möjligt att variera amplitudkraften upp till ca 5 kN och frekvensen upp till 5 Hz. I proven som utfördes användes ca 960 N i dragkraft och ca 1860 N i tryckkraft växelvis med 2,5 Hz. Monteringen av lagerhuset på vevhuset med hjälp av skruvförbanden gjordes enligt monteringsritningen för 16 tums placering enligt figur 6.3. Varför det valdes att montera i 16 tums positionen är för att den har störst kraftpåverkan på skruvförbanden i fält.



Figur 6.3 Monteringsritning över 16 tums position

Totalt kördes varje provdel 4500 belastningscykler och klämkraften mättes med jämna mellanrum för att kontrollera förlorad klämkraft. Två olika faktorer undersöktes, förspänningskraft och betongdamm, för att se hur de påverkade varandra. Detta faktorförsök krävde alltså fyra prover totalt. Det hade varit önskvärt att göra replikat av varje försök så att en spridningsbild kunde tas fram men på grund av tidsbrist var inte detta möjligt.

Fortsättningen visar figurer på provdelar efter 4500 cykler samt diagram på klämkraften som funktion av antalet belastningscykler.

RESULTAT U1

Prov U1 genomfördes utan betongdamm och med 10 kN förspänningskraft. I diagrammet 6.1 kan ses en kraftigt förlorad klämkraft de första 500 cyklerna varefter kurvan sedan planar ut något.

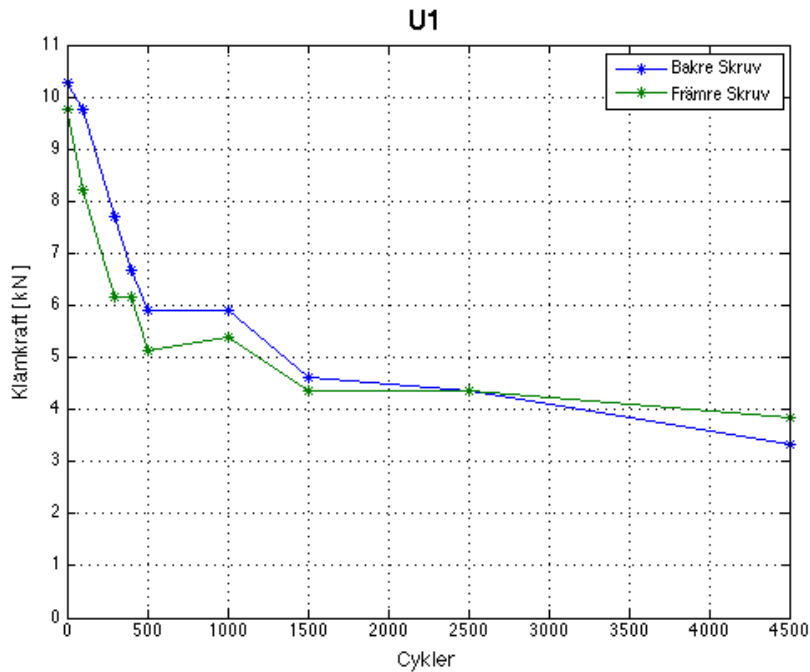


Diagram 6.1 Klämkraft som funktion av antal belastningscykler för prov U1

I figur 6.4 och figur 6.5 syns även kraftigt slitage av skruvförbandets klämda magnesiumdelar.



Figur 6.4 Slitagebild på vevhus U1



Figur 6.5 Slitagebild på lagerhus U1

RESULTAT U2

Prov U2 genomfördes med betongdamm och med 10 kN förspänningskraft. I diagram 6.2 kan förlorad klämkraft ses de första 500 cyklerna varefter kurvan sedan planar ut. Den förlorade klämkraften de första 500 cyklerna är inte ens hälften av vad U1 åstadkom under samma antal cykler.

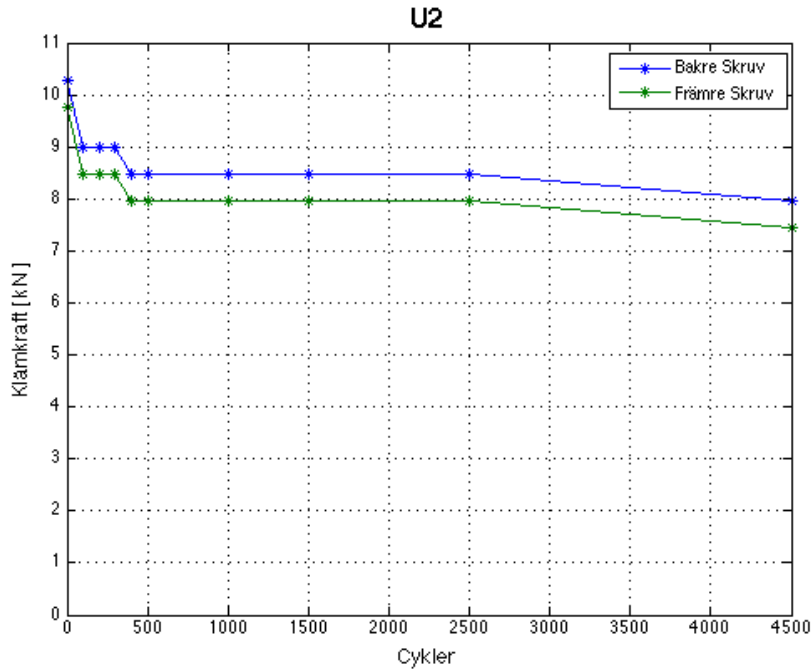
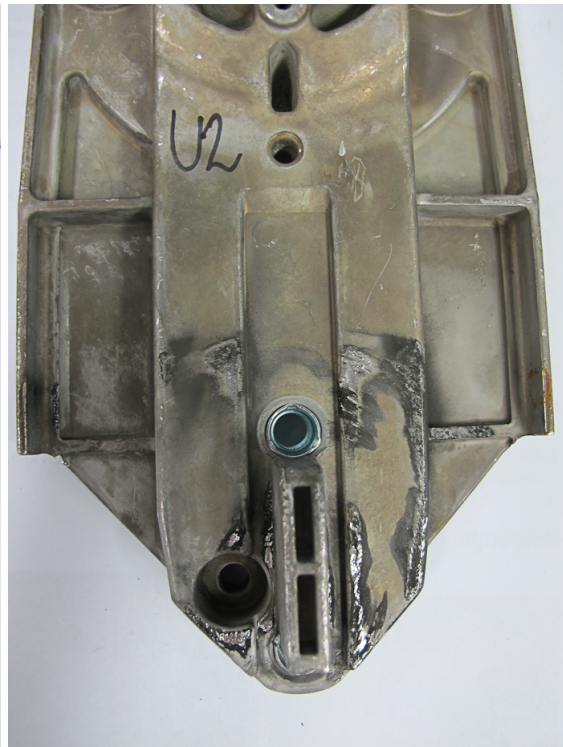


Diagram 6.2 Klämkraft som funktion av antal belastningscykler för prov U2

I figur 6.6 och figur 6.7 syns även där kraftigt slitage.



Figur 6.6 Slitagebild på vevhus U2



Figur 6.7 Slitagebild på lagerhus U2

RESULTAT U3

Prov U3 genomfördes utan betongdamm och med 20 kN förspänningskraft. I diagram 6.3 syns ostabila kurvor i början där främre och bakre skruvförband inte följs åt. Kurvan planar sedan ut och mot 4500 cykler syns ingen förlorad klämkraft i bakre skruvförbandet men vid främre skruvförbandet halverades klämkraften.

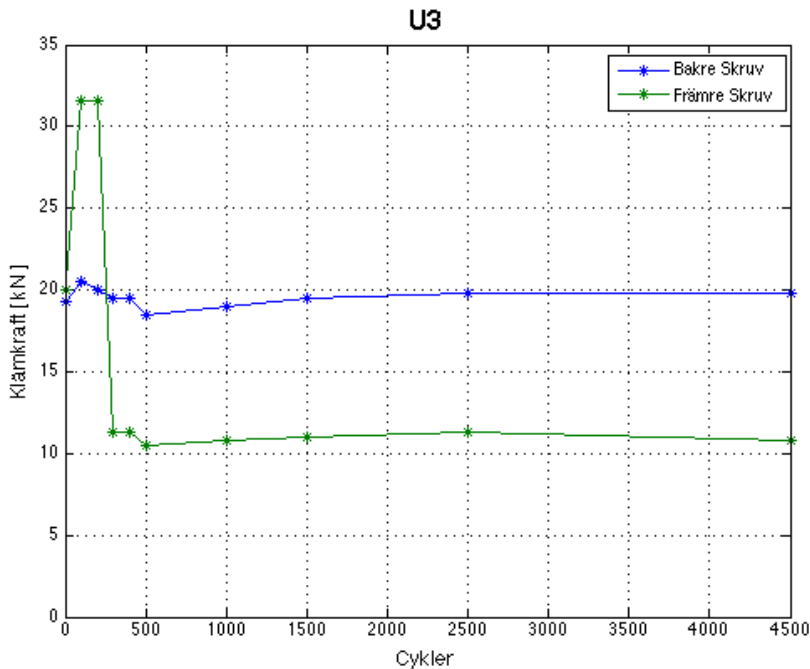


Diagram 6.3 Klämkraft som funktion av antal belastningscykler för prov U3

I figur 6.8 och figur 6.9 syns slitage vid kontaktpunkterna. Prov U3 gjordes om som prov U3.2 då detta var det första provet i ordningen som genomfördes och provriggen ställdes in under detta prov. Detta kan vara en anledning till osäkerhet av mätvärdena i början av kurvorna.



Figur 6.8 Slitagebild på vevhus U3



Figur 6.9 Slitagebild på lagerhus U3

RESULTAT U3.2

Prov U3.2 genomfördes som U3, det vill säga utan betongdamm och 20 kN förspänningskraft. I diagram 6.4 syns en förlorad klämkraft de första 500 cyklerna för att sedan plana ut och öka i klämkraft mot slutet av testet. Förlusten av klämkraft i både bakre och främre skruvförband är mycket liten.

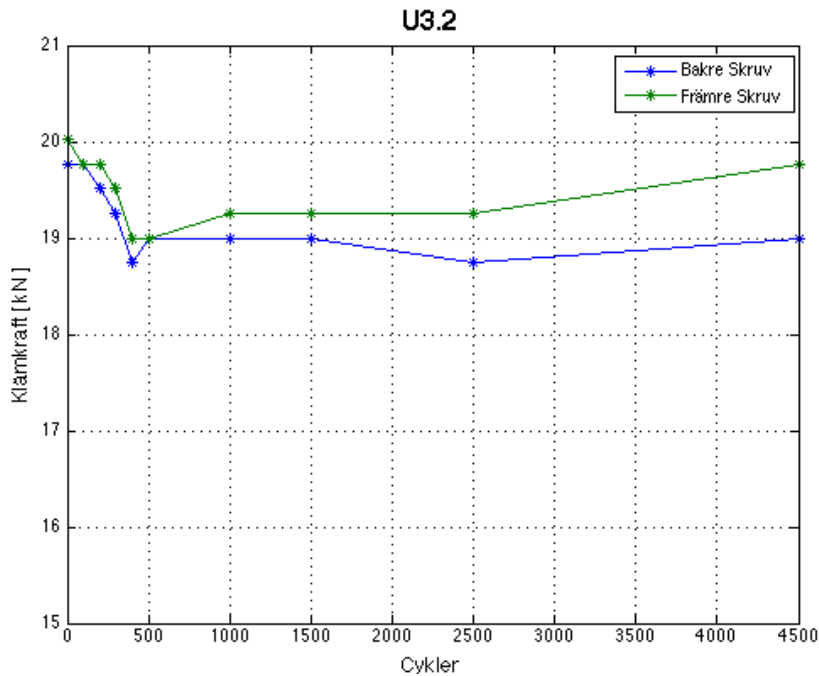


Diagram 6.4 Klämkraft som funktion av antal belastningscykler för prov U3.2

I figur 6.10 och figur 6.11 syns lågt slitage vid kontaktpunkterna.



Figur 6.10 Slitagebild på vevhus U3.2



Figur 6.11 Slitagebild på lagerhus U3.2

RESULTAT U4

Prov U4 genomfördes med betongdamm och 20 kN förspänningskraft. I diagram 6.5 syns en relativt kraftigt förlorad klämkraft de första 500 cyklerna för att sedan vända och öka i klämkraft.

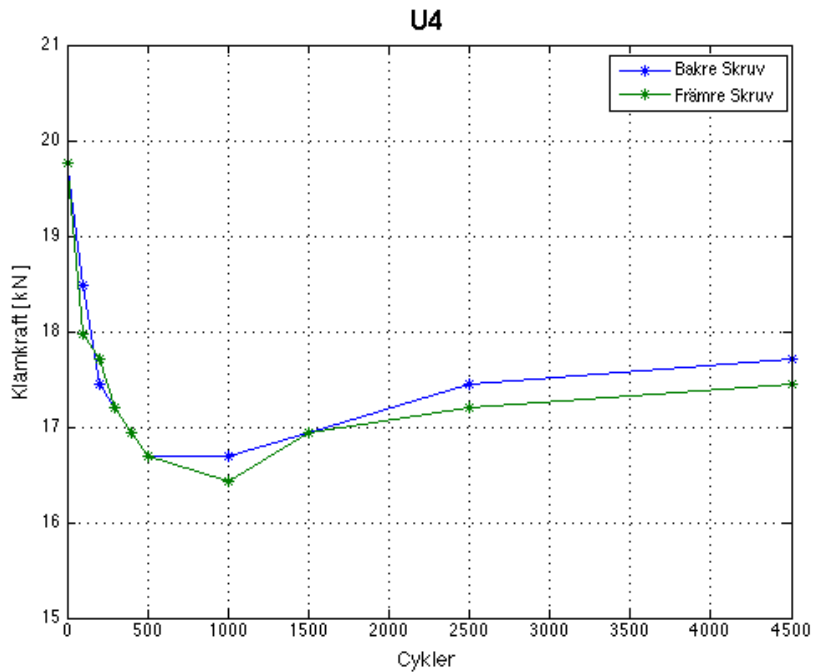


Diagram 6.5 Klämkraft som funktion av antal belastningscykler för prov U4

I figur 6.12 och figur 6.13 syns lågt slitage vid kontaktpunkterna.



Figur 6.12 Slitagebild på vevhus U4



Figur 6.13 Slitagebild på lagerhus U4

DIAGRAM OCH JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT

Då grafernas trovärdighet kan ifrågasättas vid cykler över 500, vilket diskuteras under ”Diskussion” i denna bilaga, togs jämförelser mellan testen vid 500 cykler.

I tabell 6.2 som följer faktorbeteckningarna i tabell 6.1 är YB resultatet för bakre skruvförband visat i två former, som förlorad klämkraft i kN och som procentuellt förlorad klämkraft. YF gäller för samma resultat fast för främre skruvförband

Tabell 6.1 Faktorer

Faktor	Låg (-)	Hög (+)
A	Inget damm	Applicering av damm
B	Förspänningskraft 10 kN	Förspänningskraft 20 kN

Den procentuella förlusten av klämkraft beräknades med hjälp av MATLAB enligt:

$$\text{Procentuell förlust} = \frac{(\text{Begynnelseklämkraft} - \text{Klämkraft vid 500 cykler}) \cdot 100}{\text{Begynnelseklämkraft}} \quad \dots(20)$$

Förlorad klämkraft beräknades enligt täljaren i ekvation 20.

Tabell 6.2 Faktorförsök utmattningsprov

Nr:	Provordning:	A	B	AB	YB [kN]	YB [%]	YF [kN]	YF [%]
U1	4	-	-	+	4,365	42,51	4,621	47,37
U2	2	+	-	-	1,797	17,50	1,797	18,42
U3.2	5, (U3=1)	-	+	-	0,770	3,90	1,027	5,13
U4	3	+	+	+	3,081	15,59	3,081	15,59

Nedan följer beräkning av effekter för bakre skruvförband (Dahlbom, 2003). Det ansågs mest lämpligt att beräkna effekterna för det procentuella resultatet då det blir en mer rättvis jämförelse mellan faktorn låg och hög förspänningskraft.

$$l_A = l_{A^+} - l_{A^-} = \frac{YB_{U2} + YB_{U4}}{2} - \frac{YB_{U1} + YB_{U3.2}}{2} = \frac{17,50 + 15,59}{2} - \frac{42,51 + 3,90}{2} \\ = 16,545 - 23,205 = -6,66$$

$$l_B = l_{B^+} - l_{B^-} = \frac{YB_{U3.2} + YB_{U4}}{2} - \frac{YB_{U1} + YB_{U2}}{2} = \frac{3,90 + 15,59}{2} - \frac{42,51 + 17,50}{2} \\ = 9,745 - 30,005 = -20,26$$

$$l_{AB} = l_{AB^+} - l_{AB^-} = \frac{YB_{U1} + YB_{U4}}{2} - \frac{YB_{U2} + YB_{U3.2}}{2} = \frac{42,51 + 15,59}{2} - \frac{17,50 + 3,90}{2} \\ = 29,05 - 10,7 = 18,35$$

Nedan följer beräkning av effekter för främre skruvförband (Dahlbom, 2003):

$$l_A = l_{A^+} - l_{A^-} = \frac{YF_{U2} + YF_{U4}}{2} - \frac{YF_{U1} + YF_{U3.2}}{2} = \frac{18,42 + 15,59}{2} - \frac{47,37 + 5,13}{2}$$

$$= 17,005 - 26,25 = -9,245$$

$$l_B = l_{B^+} - l_{B^-} = \frac{YF_{U3.2} + YF_{U4}}{2} - \frac{YF_{U1} + YF_{U2}}{2} = \frac{5,13 + 15,59}{2} - \frac{47,37 + 18,42}{2}$$

$$= 10,36 - 32,895 = -22,535$$

$$l_{AB} = l_{AB^+} - l_{AB^-} = \frac{YF_{U1} + YF_{U4}}{2} - \frac{YF_{U2} + YF_{U3.2}}{2} = \frac{47,37 + 15,59}{2} - \frac{18,42 + 5,13}{2}$$

$$= 62,962 - 11,775 = 51,187$$

Effekterna åskådliggörs med hjälp av ett paretdiagram i diagram 6.6. Det kan inte sägas hur mycket av effekterna som är utfall av slumpen då inga replikat gjordes. Det kan ses att i detta fall har samspelet mellan förspänningskraft och betongdamm en stor inverkan i jämförelse med var och en för sig. Faktor B och faktor A var för sig gör att den förlorade klämkraften minskar.

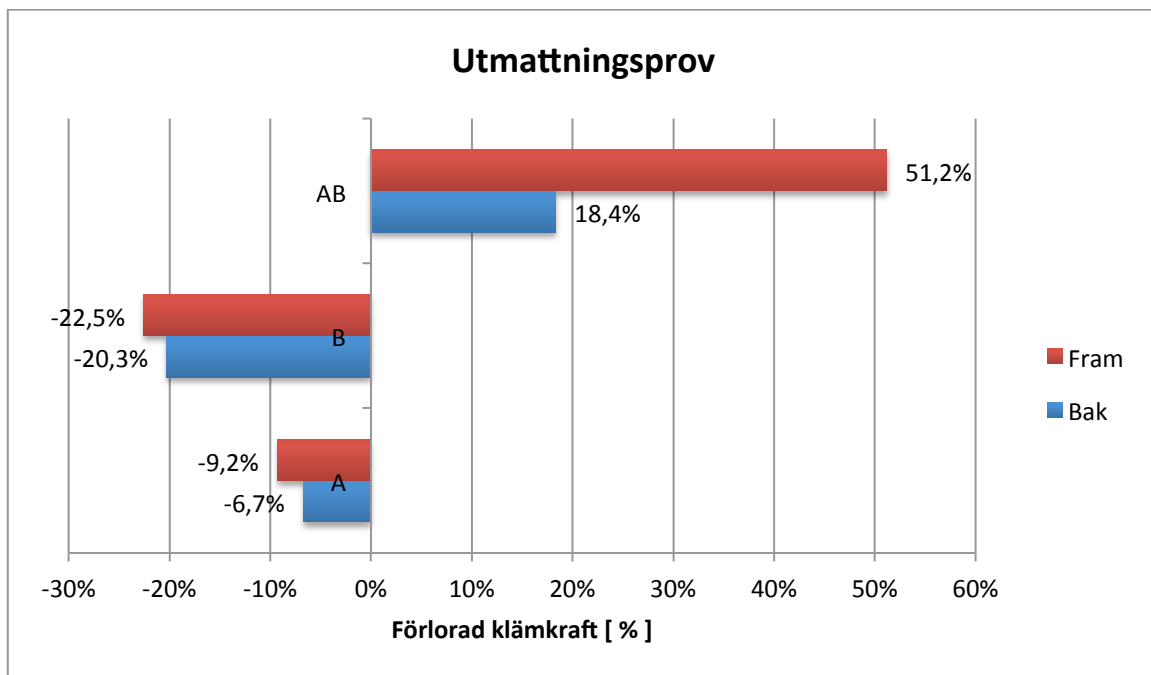


Diagram 6.6 Paretdiagram utmattningsprov

För att noggrannare studera samspelet mellan faktorerna gjordes två samspelsgrafer för bakre, figur 6.7, och främre, figur 6.8, skruvförband. Desto brantare vinkeln är mellan dessa linjer ju mer samspel har man och i båda diagrammen kan man se att de har skarp lutning samt att de är väldigt lika varandra. Enligt diagrammen får man störst förlust av klämkraft om man har låg förspänningskraft och inget damm. Att inget betongdamm ger störst förlust i klämkraft kan tyckas vara underligt då betongdammet kan tänkas agera som ett slipmedium och bör ge motsatta effekten.

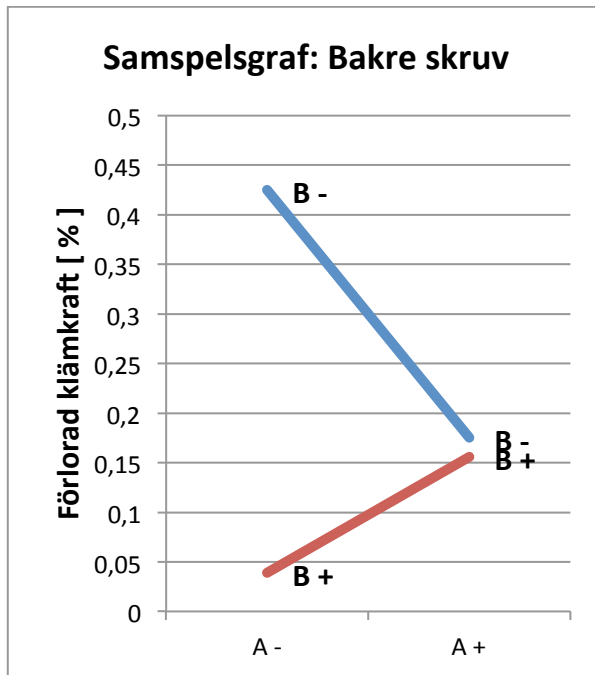


Diagram 6.7 Samspelsgraf bakre skruvförband

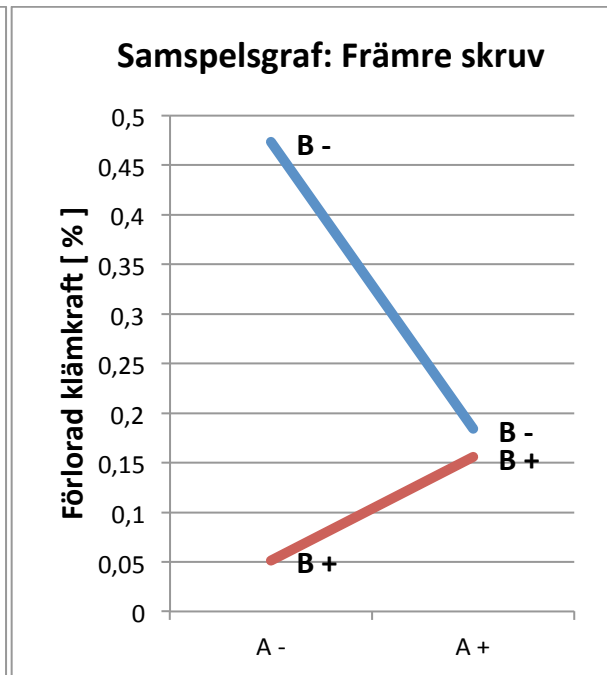


Diagram 6.8 Samspelsgraf främre skruvförband

DISKUSSION

I diagram 6.5 kan man tydligt se att man får en ökning i klämkraft då antalet belastningscykler ökar från 1000 till 4500. En teori kring vad detta beror på kan vara inverkan av värme. När en stor klämkraft ligger på skruvförbanden och förbandens delar rör sig mot varandra bildas termisk energi på grund av den friktion som finns. Värmen gör att magnesiumet utvidgas mer än stålskruvarna och trycker på skruvarna vilket resulterar i ökad klämkraft. De första mätningarna gjordes med ett intervall vid var 100:e cykel. Då hade förbanden tid att kylas av och hann inte få upp temperaturen. Efter att förbanden belastats totalt 500 cykler ökades stegvis intervallet mellan mätningarna och förbandet belastades längre utan stopp för mätning varvid temperaturen ökade. Denna effekt av temperaturen blir förmodligen större desto mer belastningscykler per mätintervall man kör.

Denna effekt är alltså inget som har bevisats utan är enbart antaganden utifrån grafens utseende och ett försök till att förstå varför grafen ser ut som den gör. Det är möjligt att grafen har detta utseende på grund av mätfel. Dock så är detta inte troligt då båda kurvorna följer varandra samt att liknande tendens kan ses hos prov U3.2. i diagram 6.4.

En annan aspekt varför provresultaten kan ifrågasättas är att ingen synlig relativrörelse skedde mellan de klämda delarna hos de som var åtdragna till den höga förspänningskraften. Stor synlig rörelse skedde i förbanden med låg förspänningskraft. Detta gjorde att proven med hög och låg förspänningskraft resulterade i ganska olika prov.

BILAGA 7: MATLAB UTRÄKNINGAR

FJÄDERKONSTANT, KLÄMKRAFT, PÅFRESTNINGAR

```

clear all
clc

Es=205e9; % E modul stål
Em=45e9; %E modul magnesium

% Data Klämda delar
Lk=(1.5+24.5+8)*10^(-3); % Total klämlängd

% SkruvData M8
d1=6.67e-3; % Innerdiameter gängan (K.Melksersson - Maskin Element)
d2=7.188e-3;% Gängans medeldiameter
D=8e-3;      % Ytterdiameter
L1=20e-3;    % Ogängad längd av skruv
L2=Lk-L1;    % Gängad del av skruv som är sträckt.
As1=pi*D^2/4; % Ogängad snittarea
As2=pi*d1^2/4; %Gängad snittarea

% Mutter Data
Am=sqrt(3)/2*0.013^2 - pi/4*0.010^2; % Area mutter (Hexagonisk)

% Fjäderkonst skruv (Mad antagande stel skruvskalle och stel mutter)
c1=As1*Es/L1; %Ogängad del av skruv
c2=As2*Es/L2; %Gängad del
cs=c1*c2/(c1+c2); %Totala fjäderkonstanten

disp('Fjäderkonstant Skruv [kN/mm]')
disp(cs/1000/1000)

% Om helgängad skruv
cs_hel=As2*Es/Lk;

disp('Procentuell minskning av fjäderkonstant med helgängad skruv
[%]: ')
disp((cs-cs_hel)/cs*100)
clear c1 c2 cs_hel
cs=cs/1000; %för kN/m
cs=cs/1000; %för kN/mm

%% Kraft baserad på tester

%Åtdragningsmoment
M=[0, 20, 25, 30, 35, 40, 45];

%Prov 1
L1F=[0, 0.058, 0.067, 0.081, 0.089, 0.096, 0.107]; %Förlängning
skruv fram
F1F=L1F*cs;

L1B=[0, 0.063, 0.073, 0.08, 0.093, 0.098, 0.102]; %Förlängning skruv
bak

```

```

F1B=L1B*cs;

%Prov 2
L2F=[0, 0.061, 0.074, 0.09, 0.098, 0.116, 0.129];
F2F=L2F*cs;

L2B=[0, 0.066, 0.079, 0.087, 0.095, 0.101, 0.109];
F2B=L2B*cs;

%Prov 3
L3F=[0, 0.051, 0.063, 0.075, 0.087, 0.096, 0.105];
F3F=L3F*cs;

L3B=[0, 0.074, 0.087, 0.099, 0.108, 0.118, 0.106];
F3B=L3B*cs;

FF=mean([F1F(3:4) F2F(3:4) F3F(3:4)]);
FB=mean([F1B(3:4) F2B(3:4) F3B(3:4)]);
F0=(FB+FF)/2;
disp('Medel förspänningskraft [kN]:')
disp(F0)
clear FF FB

disp('Medel hålplantryck under mutter [MPa]:')
disp(F0/1000/Am)

% --- PLOTTNING AV DATA ---
handle=figure(2);
clf
set(handle,'Name','Klämkraft'), clear handle

subplot(2,1,1), plot(M,F1F,'black', M,F2F,'blue', M,F3F,'red')
hold on, grid on
title('Klämkraft över moment, främre skruv')
legend('Prov 1','Prov 2','Prov 3','Location','SouthEast')
axis([20 45 10 35])
xlabel('Moment [ Nm ]'), ylabel('Kraft [ kN ]')
hold off

subplot(2,1,2), plot(M,F1B,'black', M,F2B,'blue', M,F3B,'red')
hold on, grid on
title('Klämkraft över moment, bakre skruv')
legend('Prov 1','Prov 2','Prov 3','Location','SouthEast')
axis([20 45 10 35])%tight
xlabel('Moment [ Nm ]'), ylabel('Kraft [ kN ]')

fprintf('Klämkraften som visas i figuren baseras på\n förlängningen
i skruven och på ett linjärt elastiskt beteende.\n Någon deformation
av skruven kommer inte att synas i denna figur.\n Dock deformation av
de klämda magnesiumdelarna kommer synas\n\n')

```

FJÄDERKONSTANT KLÄMDA DELAR

```

clear all
clc

% Ladda in data från tryckprov:
load data.mat

% b1(:,1) längd för bakre skruv prov 1
% b1(:,2) kraft för bakre skruv prov 1

% b2(:,1) längd för bakre skruv prov 2
% ...OSV...
% f1(:,1) längd för främre skruv prov 1
% f1(:,2) kraft för främre skruv prov 1

% f2(:,1) längd för främre skruv prov 2
% ...OSV...

%Linjärisera
% Polyfit med nivå 1 gör en linjär kurva enligt minsta
kvadratmetoden.
% Man klipper i kurvorna för att linjärisera endast den linjära
delen av
% kurvan.
pb1=polyfit(b1(:,1),b1(:,2),1);
pb2=polyfit(b2(11:size(b2,1)-7,1),b2(11:size(b2,1)-
7,2),1); %Kortades pga startfel
pb3=polyfit(b3(1:size(b3,1)-6,1),b3(1:size(b3,1)-6,2),1); %Plastisk
deform slut

pb_mean=mean([pb1(1) pb2(1) pb3(1)]);
pb_std=std([pb1(1) pb2(1) pb3(1)]);

pf1=polyfit(f1(16:size(f1,1),1),f1(16:size(f1,1),2),1);
pf2=polyfit(f2(14:size(f2,1),1),f2(14:size(f2,1),2),1);
pf3=polyfit(f3(13:size(f3,1),1),f3(13:size(f3,1),2),1);

pf_mean=mean([pf1(1) pf2(1) pf3(1)]);
pf_std=std([pf1(1) pf2(1) pf3(1)]);

x=linspace(0,0.8);
Lb=@(x)pb_mean*x;
Lf=@(x)pf_mean*x+mean([pf1(2) pf2(2) pf3(2)]);

%Hjälplinjer fram för att visualisera så man hamnar rätt med
gränserna
Lf1=@(x)pf1(1)*x+pf1(2);
Lf2=@(x)pf2(1)*x+pf2(2);
Lf3=@(x)pf3(1)*x+pf3(2);

% Plotta data
figure(1), clf

subplot(1,2,1)
h=plot(b1(:,1),b1(:,2),'red', b2(:,1), b2(:,2),'blue',...

```

```

    b3(:,1),b3(:,2),'green');
set(h,'LineWidth',1.5)
xlabel('mm'),ylabel('N'),title('BAK'), grid on
legend('Prov 1','Prov 2','Prov 3','Location','SouthEast')
hold on
clear h

subplot(1,2,2)
h=plot(f1(:,1),f1(:,2),'red', f2(:,1),f2(:,2), 'blue',...
    f3(:,1),f3(:,2),'green');
set(h,'LineWidth',1.5)
legend('Prov 1','Prov 2','Prov 3','Location','SouthEast')
hold on
clear h
plot(x,Lf1(x),'--black', x,Lf2(x),'--black',...
    x,Lf3(x),'--black')
xlabel('mm'),ylabel('N'),title('FRAM')
axis([0 1 0 18e3]), grid on

clear b1 b2 b3 f1 f2 f3 Lf1 Lf2 Lf3 Lb x

% Dra bort distanserna
E=205e9;
Lr=22.7e-3;
D=17.15e-3;
Ar=pi*D^2/4;
Cr=E*Ar/Lr/1000; %N/mm: genom tusen för mm
clear Lr D Ar

Lh=15.1e-3;
S=12.95e-3;
Ah=sqrt(3)/2*S^2;
Ch=E*Ah/Lh/1000; %N/mm: genom tusen för mm
clear S Ah Lh E

% Resultat
Cmb=1/(1/pb_mean-1/Ch-1/Cr);
disp('Fjäderkonstant klämda delar bak [kN/mm]:')
disp(Cmb/1000)
Cmf=1/(1/pf_mean-1/Ch-1/Cr);
disp('Fjäderkonstant klämda delar fram [kN/mm]:')
disp(Cmf/1000)

```